

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**REDUÇÃO DE PRECURSORES DE TRIHALOMETANOS
POR COAGULAÇÃO OTIMIZADA**

Mara Teresa De Salvo

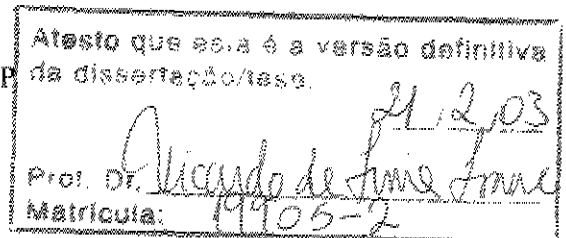
Orientador: Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac

Dissertação de Mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Saneamento e Ambiente.



Campinas, SP
2002

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL



UNIDADE	62
Nº CHAMADA	
V	EX
TOMBO DC	53263
PROC.	124103
C	☐
D	☒
PREÇO	12511,00
DATA	23/04/03
Nº CPO	

124103 12511,00

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

D451r De Salvo, Mara Teresa
 Redução de precursores de trihalometanos por
 coagulação otimizada / Mara Teresa De Salvo. --
 Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Ricardo de Lima Isaac.
 Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de
 Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Abastecimento de água. 2. Desinfecção e
 desinfetantes. 3. Água - Purificação - Coagulação. 4.
 Água - Purificação - Filtração. 5. Matéria orgânica. I.
 Isaac, Ricardo de Lima. II. Universidade Estadual de
 Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

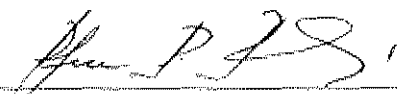
**REDUÇÃO DE PRECURSORES DE TRIHALOMETANOS POR
COAGULAÇÃO OTIMIZADA**

AUTORA: Mara Teresa de Salvo

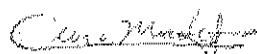
Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac
Presidente e Orientador
FEC-UNICAMP**

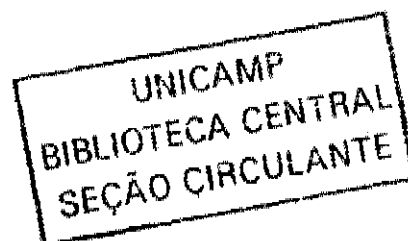


**Prof. Dr. Roque Passos Piveli
EP-USP**



**Profa. Dra. Dione Mari Morita
FEC - UNICAMP**

Campinas
2002



2002.03.673

Dedicatória

A meus pais, Salvatore e Neyde, que sempre me apoiaram para a realização de todos meus projetos de vida e que agora compartilham a alegria pelo sucesso desta etapa da minha caminhada.

AGRADECIMENTOS

A **Deus** — Pai, Filho e Espírito Santo — de quem procedem todas as bênçãos e fontes de experiências de minha vida.

A meus pais, que souberem compreender os momentos de nervosismo, mas que sempre me mostraram que as dificuldades encontradas pelo caminho só enaltecem a meta a ser alcançada.

Aos docentes da Faculdade de Engenharia da FAAP, onde começou minha formação profissional.

Aos docentes da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP — Área de Concentração: Saneamento e Ambiente —, onde aprimorei meus conhecimentos e recebi apoio para continuar minha caminhada.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ricardo de Lima Isaac, por sua amizade, apoio e estímulo em todas as etapas deste trabalho.

A Dr.^a Dione Mari Morita por todos os apoios diretos e indiretos que me ofereceu, no decorrer da preparação deste estudo.

Ao Dr. Luiz Roberto Sobreira de Agostini — Diretor da FEFAAP — pela autorização ao uso do Laboratório de Química da FAAP.

Aos funcionários do Laboratório de Química da FAAP pelo apoio em todas as pesquisas experimentais.

Ao Prof. Dr. José Roberto Guimarães, pelo apoio dado para a realização das análises de TOC na UNICAMP.

Aos estagiários do Laboratório de Saneamento da FEC, pela ajuda na fase experimental.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica e Sanitária da POLI – USP, Fábio, Laerte e Ângela, pelos recursos colocados à minha disposição durante a fase experimental.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) e, em especial ao Engenheiro Dr. Américo O. Sampaio e ao Sr. José Roberto Nali por terem permitido a investigação experimental com a água do Sistema Alto Cotia.

À Sociedade de Abastecimento de Saneamento S/A (SANASA), principalmente aos químicos Rogério Santa Maria e Ivânio Alves Rodrigues pela execução das análises de THMs.

À Prof.^a Josefa Alvarez Alvarez, pelo apoio na realização das análises estatísticas.

A todos que ousaram a inovar e me deram forças para chegar até aqui.

Tentar é arriscar-se ao fracasso. Mas os riscos têm que ser corridos, pois o maior perigo na vida é não arriscar nada. A pessoa que não arrisca nada, não faz nada, não tem nada e não é nada ... não pode aprender, sentir, mudar, crescer, viver ou amar.

(Leo Buscaglia)

SUMÁRIO

	Página
Lista de Abreviaturas e Siglas	x
Lista de Figuras	xiii
Lista de Símbolos	xvii
Lista de Tabelas	xix
Resumo	xxii
Abstract	xxiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
3.1. IMPORTÂNCIA DOS EFEITOS DA DESINFECÇÃO DA ÁGUA E OS REFLEXOS NA SAÚDE PÚBLICA	5
3.2. MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS ATUANTES SOBRE A SAÚDE PÚBLICA	7
3.3. DESINFETANTE COMUMENTE USADOS NAS ETAs E SUAS AÇÕES	13
3.4. FORMAÇÃO DOS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO	19
3.4.1. Efeito da variação dos valores de pH	23
3.4.2. Efeito do tempo de contato	24
3.4.3. Efeito da temperatura	26
3.4.4. Efeito da concentração da MON	26
3.4.5. Efeito da dosagem de cloro	27
3.4.6. Efeito da concentração do íon brometo	28

3.5.	PRECURSORES DOS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO	30
3.6.	ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA FORMAÇÃO DOS SPDs	45
3.6.1.	Controle do Manancial	45
3.6.2.	Remoção dos Precursores	46
3.6.2.1.	Coagulação/Sedimentação	46
3.6.2.2.	Coagulação Otimizada/Filtração Direta	60
3.6.2.3.	Adsorção em Carvão Ativado	72
3.6.2.4.	Flotação por Ar Dissolvido	78
3.6.3.	Seleção de Desinfetantes Alternativos	79
3.6.3.1.	Cloraminas	80
3.6.3.2.	Dióxido de Cloro	87
3.6.3.3.	Ozônio	91
3.6.3.4.	Permanganato de Potássio	98
3.6.3.5.	Peroxônio	102
3.6.3.6.	Radiação Ultravioleta	105
3.6.3.7.	Desinfetantes Interativos	109
3.6.4.	Remoção dos Subprodutos da Desinfecção	114
3.6.4.1.	Arraste com Ar ou Vapor (Aeração – Air Stripping)	114
3.6.4.2.	Filtração em Membranas	115
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	119
4.1.	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	119
4.2.	ETAPAS DA PESQUISA	121
4.2.1.	Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial	121
4.2.2.	Ensaio de coagulação química (Teste dos Jarros)	122
4.3.	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	124
4.3.1.	Equipamentos para determinação dos parâmetros de qualidade das águas bruta e tratada	124
4.3.2.	Equipamento para ensaio de coagulação/floculação	125
4.4.	MATERIAIS UTILIZADOS	125
4.5.	PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS	126
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	127
5.1.	Caracterização da Água Bruta do Manancial	127
5.2.	Ensaio de Coagulação Química	133
5.2.1.	Ensaio realizado com $Al_2(SO_4)_3$ no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas	133
5.2.2.	Ensaio realizado com $Al_2(SO_4)_3$ no mecanismo de varredura	137
5.2.3.	Ensaio realizado com $FeCl_3$ no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas	151
5.2.4.	Ensaio realizado com $FeCl_3$ no mecanismo de varredura	155

	Página
5.3. Determinação do potencial de formação dos trihalometanos	171
5.4. Consideração sobre a Avaliação dos Erros Experimentais	175
6. CONCLUSÕES	176
7. RECOMENDAÇÕES	178
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	179
9. ANEXOS	187
9.1. Análises da Água Bruta	187
9.2. Análises da Água Tratada por $Al_2(SO_4)_3$ na Adsorção-Neutrali – zação de Cargas	188
9.3. Análises da Água Tratada por $Al_2(SO_4)_3$ na Varredura	189
9.4. Análises da Água Tratada por $FeCl_3$ na Adsorção-Neutralização de Cargas	190
9.5. Análises da Água Tratada por $FeCl_3$ na Varredura	191

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHAs	ácidos haloacéticos
APHA	<i>American Public Health Association</i>
AUVE	absorção ultravioleta específica
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
CAG	carvão ativado granular
CAP	carvão ativado em pó
CDC	<i>Centre of Disease Control</i>
CETESB	Companhia de Tecnologia e Saneamento
CFU	condições de formação uniforme
CIT	carbono inorgânico total
COA	carbono orgânico assimilável
COD	carbono orgânico dissolvido
CODB	carbono orgânico dissolvido biodegradável
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	carbono orgânico total
CPA	cloreto de polialumínio
ETA	estação de tratamento de água
ETAs	estações de tratamento de água
EUA	Estados Unidos da América
FAAP	Fundação Armando Álvares Penteado
FAD	flotação por ar dissolvido
FMG	filtração em meio granular

HANs	haloacetonitrilas
INST-THM	trihalometano inicial
MCWD	<i>Mesa Consolidate Water District</i>
MF	microfiltração
MOB	matéria orgânica biodegradável
MOD	matéria orgânica dissolvida
MON	matéria orgânica natural
NF	nanofiltração
NMC	nível máximo contaminante
NMDR	nível máximo de desinfetante residual
OCWD	<i>Orange County Water District</i>
OH•	radical hidroxila livre
OR	osmose reversa
PCE	percloroetileno
PFSPDs	potencial de formação de subprodutos da desinfecção
PFTHMs	potencial de formação de trihalometanos
PFTOXs	potencial de formação de compostos organohalogenados
POA	processo oxidativo avançado
ppm	parte por milhão
PVC	cloreto de polivinila
SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A
SDS	sistema de distribuição simulado
SM	<i>Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater</i>
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sanitárias
SPDs	subprodutos da desinfecção
TCE	tricloroetileno
TCLV	tempo de contato do leito vazio
TERM-THM	trihalometano terminal
THMs	trihalometanos
TOXs	compostos organohalogenados

TTHMs	total de trihalometanos
uC	unidade colorimétrica (mg/L de Pt-Co)
UF	ultrafiltração
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UPA	densidade algal (unidade de partículas de algas/mL)
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
USP	Universidade de São Paulo
uT	unidade de turbidez (mg/L SiO₂)
UV	ultravioleta
WEF	<i>Water Environmental Federation</i>

LISTA DE FIGURAS

	Página
Fig. 1: Médias anuais de surtos de doenças de veiculação hídrica entre 1910 e 1960, relacionadas ao número de ETAs com cloração, nos EUA	6
Fig. 2: Estrutura molecular dos quatro principais THMs	19
Fig. 3: Efeito do valor do pH sobre a formação do total de THMs	23
Fig. 4: Efeito do tempo de contato na formação do total de THMs	25
Fig. 5: Influência do tempo de contato e pH na formação dos THMs	25
Fig. 6: Produção do clorofórmio em três temperaturas diferentes da água natural, pH igual a 7,0 e dosagem de cloro de 10 mg/L	26
Fig. 7: Efeito da concentração de substâncias húmicas na formação do total de THMs	27
Fig. 8: Efeito da dosagem de cloro na formação do total de THMs	28
Fig. 9: Concentrações de THMs, após cloração de água contendo 0,05 mg/L de Br ⁻	29
Fig. 10: Concentrações de THMs, após cloração de água contendo 0,4 mg/L de Br ⁻	29
Fig. 11: Distribuição do tamanho molecular aparente da MOD de duas fontes de água diferentes.....	32
Fig. 12: Propriedades químicas das substâncias húmicas	33
Fig. 13: Estrutura hipotética dos ácidos húmicos e ácidos fúlvicos	36
Fig. 14: Estrutura simplificada da molécula de material húmico	37
Fig. 15: Formação e técnicas de controle dos SPDs	45

Fig. 16: Diagrama de projeto e operação para coagulação com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	48
Fig. 17: Diagrama de coagulação para água Tipo I (200 uT e 5 uC) e água Tipo II (5 uT e 100 uC)	50
Fig. 18: Efeito do pH na coagulação de ácidos húmicos com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	51
Fig. 19: Remoção dos precursores do total de THMs em função do pH e da dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	51
Fig. 20: Curva da variação da turbidez residual mínima em função do período de floculação para os mecanismos de adsorção e varredura	52
Fig. 21: Características associadas à região de remoção de MOD por FeCl_3	55
Fig. 22: Comparação das dosagens de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ requeridas para a remoção das concentrações de ácidos húmicos e fúlvicos, em massas equivalentes	57
Fig. 23: Relações estequiométrica e não estequiométrica para as regiões de remoção de cor	58
Fig. 24: Potencial de formação do total de THMs na água filtrada em função da dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	59
Fig. 25: Correlações entre COT e UV-254 (A) e PFTTHMs e UV-254 (B) para águas naturais e tratadas por filtração direta	66
Fig. 26: Efeito do tratamento da filtração direta para águas australianas fortemente coloridas (cor média da água natural: 31,26 uC); cor média da água filtrada: 6,63 uC).....	67
Fig. 27: Remoções de diferentes espécies de algas por filtração direta ; coagulante: 1,0 mg Fe/L; filtros de dupla e tripla camada filtrante	69
Fig. 28: THMs formados durante a filtração direta e tratamento convencional	71
Fig. 29: Concentração do total de THMs residuais após adsorção em CAG, em Cincinatti, Ohio (EUA)	74
Fig. 30: Curva de saturação do total de THMs, observada na coluna 1, durante a carreira de filtração 2	75

Fig. 31: Curva teórica de “ <i>breakpoint</i> ” das cloraminas	81
Fig. 32: Diagrama de distribuição das espécies de cloraminas em função da variação do valor do pH	82
Fig. 33: Principais reações de ozonização que formam subprodutos	96
Fig. 34: Processo de filtração em membranas e os tamanhos relativos dos compostos removidos da água.....	117
Fig. 35: Remoção dos precursores de THMs e AHAs, no SDS, por MF, tratamento convencional e NF	118
Fig. 36: Represa Cachoeira da Graça	120
Fig. 37: ETA Morro Grande – Sistema Alto Cotia	120
Fig. 38: Aparelho Floc Control II	125
Fig. 39: Correlações entre os parâmetros de qualidade da água bruta (turbidez x cor aparente; turbidez x COT; cor verdadeira x UV-254; cor verdadeira x COD; COD x UV-254; COD x AOVE)	129
Fig. 40: Análises de THMs da ETA Morro Grande, Sistema Alto Cotia	131
Fig. 41: Correlações entre os parâmetros substitutos da água clarificada por $Al_2(SO_4)_3$ no mecanismo de adsorção-neutra- lização de cargas	136
Fig. 42: Correlações entre os parâmetros substitutos da água clarificada por $Al_2(SO_4)_3$ no mecanismo de varredura	142
Fig. 43: Curvas de isoremoção da turbidez por $Al_2(SO_4)_3$	143
Fig. 44: Curvas de isoremoção da cor por $Al_2(SO_4)_3$	144
Fig. 45: Curvas de isoremoção do UV-254 por $Al_2(SO_4)_3$	145
Fig.46: Curvas de isoremoção do AOVE por $Al_2(SO_4)_3$	146
Fig. 47: Remoção da turbidez por sulfato de alumínio	147
Fig. 48: Remoção da cor por sulfato de alumínio	148
Fig. 49: Remoção do UV-254 por sulfato de alumínio	149
Fig. 50: Remoção do AOVE por sulfato de alumínio	150

Fig. 51: Correlações entre os parâmetros substitutos da água clarificada por FeCl_3 no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas	154
Fig. 52: Correlações entre os parâmetros substitutos da água clarificada por FeCl_3 no mecanismo de varredura.....	162
Fig. 53: Curvas de isoremoção da turbidez por FeCl_3	163
Fig. 54: Curvas de isoremoção da cor por FeCl_3	164
Fig. 55: Curvas de isoremoção do UV-254 por FeCl_3	165
Fig. 56: Curvas de isoremoção do AOVE por FeCl_3	166
Fig. 57: Remoção da turbidez por cloreto férrico	167
Fig. 58: Remoção da cor por cloreto férrico	168
Fig. 59: Remoção do UV-254 por cloreto férrico	169
Fig. 60: Remoção do AOVE por cloreto férrico	170
Fig. 61: Correlações entre os parâmetros substitutos e potencial de formação dos trihalometanos	172
Fig. 62: Melhores correlações para o parâmetro substituto AOVE	174

LISTA DE SÍMBOLOS

antilogaritmo da constante do ácido	pK _A
centímetro	cm
diâmetro efetivo	Ø _{ef}
elétron	e ⁻
gradiente de velocidade	G
grama	g
graus centígrados	°C
hectare	ha
hora	h
quilograma	kg
quilômetro	km
quilowatt-hora	KWh
litro	L
logaritmo	log
metro	m
micrograma	µg
micrômetro	µm
micromol	µM
micron (10 ⁻⁶ m)	µ
miligrama	mg
mililitro	mL
milímetro	mm

min	minutos
mol	M
nanômetro	nm
normal	N
potencial de eletrodo	E₀
rotações por minuto	rpm
segundos	s
watt	W

LISTA DE TABELAS

	Página
Tab. 1: Atendimento segundo a natureza do prestador de serviço, em 1998	2
Tab. 2: Principais microrganismos causadores de doenças de veiculação hídrica	10
Tab. 3: Atributos dos patógenos causadores de doenças de veiculação hídrica, em termos de tratamento de água	12
Tab. 4: Pontos de aplicação e usos típicos do cloro	17
Tab. 5: Usos e dosagens do cloro	17
Tab. 6: Características da desinfecção por cloração	18
Tab. 7: Subprodutos da desinfecção e residuais dos desinfetantes	21
Tab. 8: Categorias da substâncias químicas, de acordo com seu potencial carcinogênico	22
Tab. 9: Informações dos SPDs em relação às condições para a saúde	22
Tab. 10: Condições de formação de alguns SPDs	24
Tab. 11: Classificação das substâncias húmicas, segundo ODEN (1919).....	31
Tab. 12: Composição percentual média dos ácidos húmicos e fúlvicos	31
Tab. 13: Frações e grupos funcionais relacionados a MON	34
Tab. 14: Principais precursores de SPDs	35
Tab. 15: Parâmetros substitutos para monitorar MON e precursores de THMs	38

Tab. 16: Resultados dos ensaios do Teste dos Jarros para águas com qualidade variável: Tipo I: elevada turbidez (200 uT) e baixa cor (5 uC); Tipo II: baixa turbidez (5 uT) e elevada cor	49
Tab. 17: Porcentagens de remoção de MON observadas com várias dosagens de coagulantes e valores de pH, para diferentes amostras de água bruta	54
Tab. 18: Remoção de COT necessária para a aplicação da coagulação otimizada em ETAs que usam tratamento convencional	57
Tab. 19: Experiências operacionais norueguesas em ETAs para remoção de substâncias húmicas em água bruta com cor variando de 35 a 50 uC	65
Tab. 20: Redução do PFTTHMs da água do Lake Erie (EUA)	70
Tab. 21: Locais de adição da suspensão CAP	77
Tab. 22: Dosagens mínimas requeridas para remoção de 90% de algumas substâncias orgânicas voláteis e THMs	78
Tab. 23: Dosagens requeridas de cloro gasoso para a reação $\text{Cl}_2 - \text{NH}_3$	82
Tab. 24: Tempo para conversão de 99% de cloro em cloramina	83
Tab. 25: Características da desinfecção por cloraminas	86
Tab. 26: Características da desinfecção por dióxido de cloro	90
Tab. 27: Critérios de seleção dos pontos de aplicação do ozônio para pequenos sistemas	94
Tab. 28: Principais subprodutos conhecidos formados da aplicação do ozônio	95
Tab. 29: Características da desinfecção por ozônio	97
Tab. 30: Características da desinfecção por permanganato de potássio	101
Tab. 31: Características da desinfecção por peroxônio ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$)	104
Tab. 32: Características da desinfecção por radiação UV	108
Tab. 33: Subprodutos da desinfecção associados aos vários processos de oxidação/desinfecção combinados	110
Tab. 34: Características da desinfecção por desinfetantes combinados	113

Tab. 35: Condições operacionais de coagulação/floculação usadas na pesquisa	123
Tab. 36: Produtos químicos empregados nos ensaios	126
Tab. 37: Valores médios dos parâmetros de qualidade da água bruta entre setembro/2001 e maio/2002	128
Tab. 38: Análise dos THMs da ETA Morro Grande, Sistema Alto Cotia	132
Tab. 39: Valores obtidos nos ensaios de coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas com $Al_2(SO_4)_3$	133
Tab. 40: Valores obtidos nos ensaios de coagulação no mecanismo de varredura com $Al_2(SO_4)_3$	137
Tab. 41: Valores obtidos nos ensaios de coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas com $FeCl_3$	151
Tab. 42: Valores obtidos nos ensaios de coagulação no mecanismo de varredura com $FeCl_3$	155
Tab. 43: Resultados da análise da água bruta da Represa Cachoeira da Graça, junto à captação da ETA Morro Grande (Sistema Alto Cotia)	171

RESUMO

Em 1974, pesquisadores holandeses e norte-americanos documentaram a formação de trihalometanos (THMs), após a cloração de águas de abastecimento, em presença de precursores orgânicos. Estudos realizados pela *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) comprovaram o caráter mutagênico e carcinogênico dos THMs em animais de laboratório, suspeitando-se que o mesmo possa ocorrer com o Homem.

O padrão de potabilidade vigente no Brasil estabelece o valor máximo permitido dos THMs em 100 µg/L.

O Sistema Alto Cotia, por ser um manancial protegido e ter muita cobertura vegetal no em torno, apresenta problemas na formação dos trihalometanos.

As tecnologias alternativas para o controle dos THMs incluem a remoção dos precursores orgânicos por coagulação otimizada, com o uso de sulfato de alumínio e cloreto férrico como coagulantes. Nesta pesquisa, foram estudadas as regiões de adsorção necessária à filtração direta e de varredura usada para o tratamento convencional através de ensaios de coagulação, em aparelho de *Jar Test*, verificando-se a dosagem ótima dos coagulantes e o pH ótimo de coagulação.

Os resultados indicaram que, no mecanismo de adsorção, obteve-se remoções de até 90% da cor, quando se usou sulfato de alumínio e até 100% da cor, quando se usou cloreto férrico. No mecanismo de varredura, obteve-se 100% de remoção da cor para ambos os coagulantes. Os parâmetros substitutos utilizados na determinação dos precursores (cor, UV-254, COD e AOVE) mostraram-se válidos para a água estudada, na qual predominam substâncias húmicas presentes na matéria orgânica natural (MON).

Conclui-se que a Estação de Tratamento de Água do Alto Cotia, na RMSP, onde foi realizado o estudo, pode operar por filtração direta em determinados períodos do ano, como alternativa ao tratamento convencional.

ABSTRACT

By 1974, North American and Hollander researchers documented the trihalomethanes (THMs) formation, after the chlorination of drinking water, with organic precursors being present. Studies conducted by the *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) confirmed the mutagenic and carcinogenic character of THMs in laboratory animals, with the suspicion that the same would happen to humans.

The potability standards in force in Brazil establish the maximum permitted value of THMs to be 100 µg/L.

As a protected with much vegetal cover environmental, the Alto Cotia System presents problems in trihalomethanes formation

Alternative technologies to control THMs include remotion of organic precursors by optimized coagulation, using aluminum sulphate and ferric chloride like coagulants. In this research regions of adsorption needed for direct filtration and sweeping used for conventional treatment by experiments of coagulation were studied, with Jar Test machine, verifying the optimum dosage of coagulants and the optimum coagulation pH.

Results indicate that, in adsorption mechanism, remotions of up to 90% of color with the use of aluminum sulphate and until 100% of color with ferric chloride were achieved. In the sweeping mechanism, 100% of remotion was obtained with both coagulants. Substitute parameters used to determine precursors (color, UV-254, DOC and SUVA) seem valid for the studied water, in which humic substances are present in natural organic matter (NOM).

The conclusion is that the water plant of Alto Cotia, in RMSP, Brazil, where this study was completed may operate with direct filtration during determined periods of the year, as an alternative to conventional treatment.

1. INTRODUÇÃO

A água sempre foi importante para o Homem; os primeiros assentamentos, as primeiras civilizações e as grandes cidades foram fundadas e se desenvolveram ao longo de rios como Tigre, Eufrates, Nilo, Ganges, Tibre, Tâmesa, Sena e tantos outros espalhados pelo mundo. Desde a Antigüidade, o Homem compreendeu que uma água para ser bebida deveria ser incolor, inodora e insípida, ou, simplesmente, ser cristalina. Porém, deve-se dizer que, nem sempre, uma água cristalina é bacteriologicamente adequada.

Apesar da relação epidemiológica entre água e doença ter sido sugerida por volta de 1850, ela não foi aceita até que, em 1880, PASTEUR, LISTER e outros pesquisadores estabeleceram a teoria que os germes provocavam doenças e entenderam que a água poderia veicular doenças provocadas por esses microrganismos patogênicos. Em 1855, enquanto Londres sofria a epidemia de cólera conhecida como “*Bond Street Well*”, o Dr. JOHN SNOW verificou que a fonte de água do bairro era a causadora da doença. A cólera foi uma das primeiras doenças reconhecidas como sendo capaz de ser veiculada pela água. Provavelmente, este incidente também foi o primeiro relato, bem documentado, de uma epidemia atribuída ao uso de água não desinfetada.

Com o estabelecimento da relação entre as doenças de veiculação hídrica e a água, passou-se a fazer a desinfecção através da cloração. Portanto, a desinfecção é o processo de purificação, cuja finalidade é inativar microrganismos patogênicos que podem infectar o Homem, quando este consome água contaminada. Desde a introdução da filtração e desinfecção nas

Estações de Tratamento de Água (ETAs), as doenças de veiculação hídrica, como o tifo e a cólera têm sido virtualmente eliminadas. Hoje, no mundo considerado avançado e industrial, a maioria das cidades, mesmo em países pequenos, têm ETAs que fornecem água potável à população. No Brasil, em 1998, o tratamento de água era feito em 72,3% do total dos municípios, abrangendo 85,4% da população urbana nacional, conforme dados presentes na Tabela 1.

TAB. 1: Atendimento segundo a natureza do prestador de serviço, em 1998.
FONTE: Sistema Nacional de Informações Sanitárias, 2000, adaptado.

PRESTADOR DE SERVIÇO		POPULAÇÃO ATENDIDA (milhões)	QUANTIDADE DE MUNICÍPIOS ATENDIDOS
Abrangência	Quantidade	Tratamento de Água	Tratamento de Água
Regional ⁽¹⁾	27	91,2	3.851
Microrregional	3	0,1	5
Local	125	18,0	125
Total	155	109,3	3.981

(1): Inclui 26 companhias estaduais e 1 autarquia

Por outro lado, os mesmos processos de tratamento de potabilização são, em parte, responsáveis pelo aparecimento de compostos danosos e indesejáveis. Em 1974, pesquisadores holandeses e norte-americanos demonstraram a formação de trihalometanos (THMs), após a cloração de águas de abastecimento, em presença de precursores orgânicos (ROOK, 1974; BELLAR et al., 1974). Existem diversos subprodutos da desinfecção (SPDs) formados a partir do uso do cloro para a desinfecção de águas de abastecimento; um dos mais conhecidos é o clorofórmio (HARMS, 1999). Vários pesquisadores têm documentado que a matéria orgânica natural (MON) presente em águas naturais, especialmente os ácidos húmicos e fúlvicos, é a principal responsável pela formação dos SPDs (STEVENS et al., 1976; BABCOCK & SINGER, 1979; CHRISTMAN et al., 1983).

Os resultados de testes em animais conduzidos pela “United States Environmental Protection Agency” (USEPA) comprovaram o caráter mutagênico e carcinogênico dos THMs,

suspeitando-se que o mesmo possa ocorrer com o Homem, o que levou aquela Agência, em 1979, a fixar o nível máximo de THMs em 100 µg/L, para águas de abastecimento; atualmente, este limite é 80 µg/L [USEPA, 1999 (b)]. Outros países seguiram os Estados Unidos em relação à legislação, sendo, atualmente, adotados os limites de 350 µg/L no Canadá, 75 µg/L na Holanda, 25 µg/L na Alemanha e 10 µg/L na França. No Brasil, somente a partir de 1990, ficou estabelecido que o valor máximo permitido era de 100 µg/L; o padrão de potabilidade vigente mantém o nível máximo de THMs em 100 µg/L (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000).

Os riscos para a saúde parecem ser pequenos, mas, a longo prazo, o consumo desses SPDs por parte da população deve ser seriamente considerado. A possibilidade de ocorrência de efeitos colaterais dessa gravidade sobre a saúde dos consumidores tem levado inúmeros profissionais, atuantes em todo o mundo no campo da Engenharia Sanitária, a procurar uma maior compreensão sobre a formação de tais SPDs, processos e procedimentos tecnicamente eficientes e economicamente viáveis para a solução de tão sério problema (ISAAC, 1993).

Existem quatro opções disponíveis para controlar a formação dos SPDs produzidos a partir da cloração. São elas:

- 1) Remover os precursores, antes da adição do cloro;
- 2) Otimizar o tratamento, limitando o tempo e as condições de reação de formação dos SPDs;
- 3) Usar um desinfetante alternativo;
- 4) Remover os SPDs, depois de sua formação.

Neste trabalho, a escolha do manancial para a aplicação dos parâmetros substitutos a fim de avaliar a formação dos trihalometanos foi feita de maneira precisa, pois o Sistema Alto Cotia está em reserva florestal protegida contendo muita matéria orgânica natural precursora de THMs. O mesmo estudo não poderia ser aplicado, por exemplo, à Represa de Guarapiranga, na cidade de São Paulo, onde a matéria orgânica presente é proveniente do despejo de esgotos sanitários. O que se espera de um sistema de tratamento e abastecimento de água é que esta seja distribuída população em quantidade suficiente, de qualidade insuspeita e sem fornecer riscos à saúde a longo prazo.

2. OBJETIVOS

Os objetivos desse trabalho foram:

- 1) Caracterizar e quantificar os parâmetros de qualidade da água do manancial protegido da Represa Pedro Beicht, que abastece a ETA Morro Grande (Sistema Alto Cotia);
- 2) Desenvolver estudos de coagulação química, em escala laboratorial (Teste dos Jarros), visando a otimização do tratamento convencional e por filtração direta do manancial Alto Cotia;
- 3) Avaliar o uso da filtração direta na ETA Morro Grande, que opera por tratamento convencional.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. IMPORTÂNCIA DOS EFEITOS DA DESINFECCÃO DA ÁGUA E OS REFLEXOS NA SAÚDE PÚBLICA

É muito conhecido — e divulgado — o conceito segundo o qual a distribuição de água potável representa fator essencial de proteção à saúde pública.

Todas as águas naturais suportam comunidades biológicas. Como alguns microrganismos podem ser responsáveis por problemas de saúde pública, as características biológicas das águas de mananciais são uns dos mais importantes parâmetros do tratamento de água. Além dos problemas de saúde, os microrganismos podem interferir nas operações das ETAs, afetando as qualidades físicas e químicas da água tratada.

Para o tratamento de água, os fatores primários que controlam a eficiência da desinfecção são [MONTGOMERY (1985) *apud* USEPA, 1999 (a)]:

- 1) A habilidade do desinfetante em oxidar ou romper a parede celular do microrganismo;
- 2) A habilidade do desinfetante em se difundir na célula microbiana, interferindo nas atividades celulares.

Segundo AZEVEDO NETO (1984), a aplicação de compostos de cloro para a oxidação da MON presente na água, a fim de eliminar sabor e odor, iniciou-se no final do século XIX. O conceito da desinfecção só foi confirmado pela redução da incidência de moléstias de origem hídrica nas cidades, quando se começou a praticar a desinfecção por cloração como é mostrado na Figura 1.

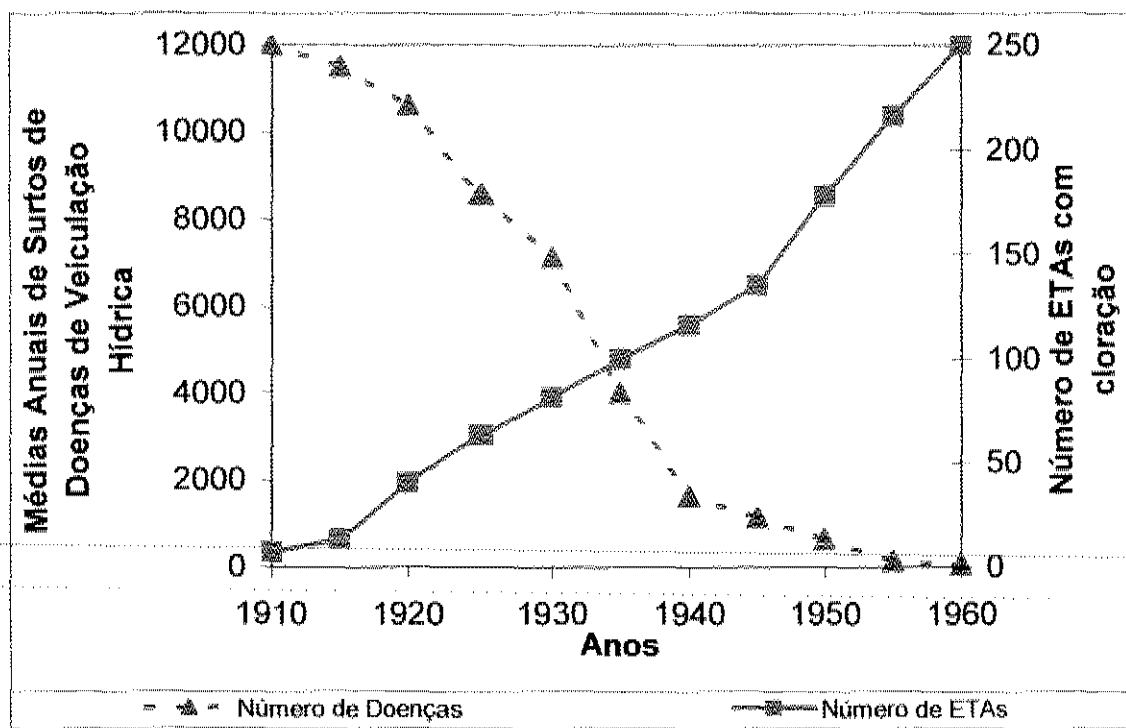


FIG. 1: Médias anuais de surtos de doenças de veiculação hídrica entre 1910 e 1960, relacionadas ao número de ETAs com cloração, nos EUA.
FONTE: LEME, 1979, adaptado.

A cloração é o método de desinfecção mais comumente usado nas estações de tratamento de águas superficiais, nos EUA [USEPA (1997) *apud* USEPA, 1999 (a)] e no Brasil (SNIS, 2000). O objetivo mais importante da desinfecção para o tratamento de água é limitar as doenças de veiculação hídrica, inativando os microrganismos patogênicos.

A distribuição de água potável de boa qualidade representa fator essencial de proteção à saúde pública. É ponto pacífico que uma comunidade atendida por um sistema público de abastecimento de água tem seu padrão de saúde melhorado.

3.2. MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS ATUANTES SOBRE A SAÚDE PÚBLICA

Segundo USEPA [1999 (a)], no final do século XIX, muitas polêmicas foram travadas entre os que defendiam mais a origem química das doenças e os que reconheciam a importância dos microrganismos patogênicos. Aos poucos, entretanto, foram sendo evidenciados fatos essenciais, que constituem o fundamento de toda a microbiologia aquática. São eles:

- 1) As doenças de veiculação hídrica (com exceção das intoxicações produzidas por substâncias químicas, as quais geralmente, provêm de atividades industriais e de vegetais aquáticos e algas tóxicas) são provocadas por microrganismos tais como bactérias, vírus, protozoários e vermes;
- 2) Tais organismos patogênicos não fazem parte do conjunto de seres que, normalmente, habitam e se reproduzem no meio aquático.

A presença de microrganismos patogênicos na água depende, necessariamente, da sua introdução nesse meio, a partir de organismos portadores. Na maioria das vezes, a transferência de microrganismos patogênicos do ser humano parasitado para a água é realizada através das fezes que este elimina. Isso constitui uma premissa de importância fundamental, pois, então, o controle da concentração de tais microrganismos, na água, pode ser feito através do controle do acesso de matéria fecal, ou seja, esgoto, aos mananciais. O principal indicador bacteriológico de qualidade das águas estipulado pela legislação é dado pelo índice de bactérias coliformes, especificamente a *Escherichia coli*. As águas destinadas ao consumo humano devem obedecer às seguintes características bacteriológicas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000):

- a) Ausência de coliformes fecais em 100 mL de amostra;
- b) Ausência de bactérias do grupo coliformes totais em 100 mL de amostra, quando esta é coletada na entrada da rede de distribuição;

- c) Nas amostras procedentes da rede de distribuição, 95% deverão apresentar ausência de coliformes totais em 100 mL. Nos 5% restantes, serão tolerados até três (3) coliformes totais em 100 mL, desde que isso não ocorra em duas amostras consecutivas, coletadas sucessivamente no mesmo ponto;
- d) Nos sistemas de distribuição de água sem tratamento, 98% das amostras deverão apresentar ausência de coliformes totais em 100 mL. Nos 2% restantes, serão tolerados até três (3) coliformes em 100 mL, desde que isso não ocorra em duas amostras consecutivas, coletadas sucessivamente no mesmo ponto;
- e) Em águas não canalizadas, usadas comunitariamente e sem tratamento, desde que não haja disponibilidade de água de melhor qualidade, 95% das amostras deverão apresentar ausência de coliformes totais em 100 mL. Nos 5% restantes, serão tolerados até dez (10) coliformes totais em 100 mL, desde que isso não ocorra em duas amostras consecutivas, coletadas sucessivamente no mesmo ponto.

O CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA, 1996) estabeleceu que as águas doces, pertencentes à Classe Especial, são destinadas ao abastecimento doméstico sem ou com desinfecção simples. Para abastecimento sem prévia desinfecção, os coliformes totais deverão estar ausentes em qualquer amostra.

Existem três mecanismos para inativar os microrganismos causadores de doenças de veiculação hídrica. São eles:

- Destruir ou enfraquecer a estrutura orgânica celular por ataque à maioria dos constituintes celulares, assim como por destruição da parede celular ou enfraquecimento das funções das membranas semipermeáveis;
- Interferir no mecanismo de produção energética através dos substratos enzimáticos em combinação com grupos protéicos de enzimas, o que as torna não funcionais;
- Interferir com a biossíntese e crescimento dos microrganismos, por prevenção das sínteses normais de proteínas, ácidos nucleicos e com a função da parede celular.

Dependendo do desinfetante e do tipo de microrganismo, combinações desses mecanismos também podem ser responsáveis pela inativação dos microrganismos patogênicos. Esses patógenos também podem ser removidos em outros processos de tratamento, com diferentes eficácias, tais como:

- Ação física combinada: coagulação-floculação, sedimentação e filtração;
- Morte natural, como ocorre com água armazenada por determinado período, antes ou após o tratamento;
- Ação da radiação ultravioleta, de origem solar ou artificial;
- Ação de produtos químicos desinfetantes, que podem ser oxidantes;
- Ação de produtos químicos combinados introduzidos na água para diversos fins da desinfecção.

De acordo com estudos da “*American Water Works Association*” [AWWA (1995) *apud* USEPA, 1999 (a)], os organismos passíveis de serem encontrados na água podem sobreviver durante semanas ou meses, se mantidos em temperaturas inferiores a 20°C. Além da temperatura, a sobrevivência depende de fatores ambientais, fisiológicos e morfológicos, tais como pH, a concentração de oxigênio dissolvido (OD), e de nutrientes, a competição com outros organismos e a capacidade de formar esporos, entre outros. A possibilidade do patógeno provocar enfermidades no homem depende da sua virulência, da concentração, do modo de ingestão e da resistência do hospedeiro; as infecções e as doenças podem ocorrer após uma única exposição ao patógeno encontrado na água potável. Nos últimos quarenta anos, inúmeros agentes patogênicos, nunca antes associados com doenças de veiculação hídrica têm aparecido. O *E.coli* enteropatogênico e a *Giardia lamblia* foram os primeiros identificados como agentes etiológicos responsáveis por doenças veiculadas pela água, nos anos 60. O primeiro relato de infecção humana causada por *Cryptosporidium* ocorreu na metade dos anos 70; na mesma época, foi documentada a primeira pneumonia causada por *Legionella pneumophila* (WHITERELL et al., 1988; “*Centre of Disease Control*” — CDC, 1988). Recentemente, têm sido documentadas inúmeras doenças causadas por esses microrganismos. Os principais microrganismos causadores de doenças estão relacionados na Tabela 2. Na Tabela 3, são visualizados os atributos dos patógenos que veiculam doenças através da água.

TAB. 2: Principais microrganismos causadores de doenças de veiculação hídrica.
FONTE: USEPA 1999 (a), adaptado.

MICRORGANISMO	ESPÉCIE	DOENÇA	SINTOMAS	RESERVATÓRIOS
BACTÉRIAS	<i>Salmonella typhi</i>	Febre tifóide	Dor de cabeça, náuseas, perda de apetite, constipação ou diarreia, dor de garganta, bronquite, dores abdominais, sangramento nasal, tremores e febre crescente. Podem aparecer manchas róseas no tronco. Período de incubação: 7 – 14 dias	Fezes e urina dos hospedeiros e pacientes
	<i>Salmonella paratyphi</i>	Febre paratifóide	Infecção generalizada caracterizada por febre contínua, diarreia e, às vezes, manchas róseas no tronco. Período de incubação: 1 – 10 dias	Fezes e urina dos hospedeiros e pacientes
	<i>Shigella dysenteriae</i>	Disenteria bacilar	Ataque agudo com diarreia, febre, fezes contendo muco e sangue, frequentemente. Período de incubação: 1 – 7 dias	Descargas intestinais de hospedeiros e pessoas infectadas
	<i>Vibrio Cholerae</i>	Cólera	Diarreia, vômitos, fezes aquosas, sede, dores, coma. Período de incubação: poucas horas a 5 dias	Fezes e vômitos dos hospedeiros
	<i>Leptospira</i>	Leptospirose	Febre, enrijecimento, dor de cabeça, náuseas, dores musculares, vômitos, sede. Pode ocorrer prostração e icterícia	Urina e fezes de ratos, porcos, cães, gatos, camundongos, raposas e ovelhas
	<i>E. coli</i> enteropatogênico	Gastroenterite	Diarreia aquosa, náuseas, prostração e desidratação	Fezes do hospedeiro
VÍRUS	Poliovírus	Poliomielite	Ataque aos neurônios motores	Mucosa intestinal, medula espinhal e cérebro
	Coxsackievírus	Febres bucais	Invasão viral da mucosa com inflamação secundária	Boca
	Adenovírus	Conjuntivite aguda	Invasão viral da mucosa com inflamação secundária	Células da conjuntiva e vasos sanguíneos
	Hepatite	Hepatite infecciosa	Invasão das células parênquimas	Fígado

TAB. 2: Principais microrganismos causadores de doenças de veiculação hídrica (Continuação).

MICROORGANISMO	ESPÉCIE	DOENÇA	SINTOMAS	RESERVATÓRIOS
PROTOZOÁRIOS	<i>Cryptosporidium</i>	Criptosporidiose	Diarréia aguda, dor abdominal, vômito, febre baixa. Pode afetar o sistema imunológico	Cistos em humanos e animais
	<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase (gastroenterite)	Diarréia intermitente	Cistos em humanos e animais
	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebíase	Diarréia alternada com constipação, disenteria crônica com muco e sangue	Cistos em humanos
VERMES	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariíase	Vômitos, larvas vivas nas fezes	Fezes
	<i>Taenia solium</i>	Cisticercose	Dores abdominais, distúrbios digestivos, perda de peso. Em casos extremos, os ovos instalam-se no cérebro	Cistos em humanos
	<i>Schistosoma mansoni</i>	Esquistossomose	Inchaço abdominal, infecção da vesícula e fígado	Caramujos terrestres

TAB. 3: Atributos dos patógenos causadores de doenças de veiculação hídrica, em termos de tratamento de água.
FONTE: MONTGOMERY, 1985; AWWA (1995) apud USEPA 1999 (a).

MICROORGANISMO	TAMANHO (μm)	MOBILIDADE	PONTOS DE ORIGEM	RESISTÊNCIA À DESINFECÇÃO	REMOÇÃO POR COAGULAÇÃO, SEDIMENTAÇÃO E FILTRAÇÃO
BACTÉRIAS	0,1 – 10	Móveis, não móveis	Humanos, animais, água e comida contaminada	Bactérias cocos têm maior resistência que as bactérias bastonetes	Remoção boa: 2 – 3 log
VÍRUS	0,01 – 0,1	Não móveis	Humanos, animais, água poluída e comida contaminada	Mais resistentes que as bactérias bastonetes	Remoção pobre: 1 – 2 log
PROTOZOÁRIOS E VERMES	1,0 – 20,0	Móveis, não móveis	Humanos e animais, esgotos, vegetação degradada e água contaminada	Mais resistentes que as bactérias bastonetes e vírus	Remoção boa: 2 – 3 log

3.3. DESINFETANTE COMUMENTE USADO NAS ETAs E SUAS AÇÕES

A desinfecção das águas vem sendo praticada há vários séculos, mesmo que muito pouco se conhecesse sobre os princípios das ações benéficas em relação à qualidade das mesmas. Estudos históricos mostram que há quinhentos anos já era recomendado que a água fosse fervida, antes do consumo; alguns historiadores sustentam, entretanto, que esses procedimentos eram empregados desde o início da civilização [AWWA (1975) *apud* USEPA, 1999 (a); USEPA, 2000 (a)].

A maioria dos desinfetantes é forte agente oxidante e/ou gera subprodutos oxidantes, tais como radicais hidroxilas livres ($\text{OH}^\bullet$), que reagem com compostos orgânicos e inorgânicos presentes nas águas.

O cloro é, de longe, o desinfetante mais comumente usado nos EUA, há mais de setenta anos (DANIEL, 1990). Ele foi descoberto em 1774, pelo químico sueco KÄEL WILHELM SCHEELE, que o obteve ao fazer reagir ácido clorídrico (HCl) com dióxido de manganês (MnO_2). THOMAS NORTHMORE foi o primeiro a liquefazê-lo, em 1806, quando, também, foi identificado como elemento por Sir HUMPHREY DAVY. Esse elemento foi batizado de *cloros*, que, em grego, significa verde, sua cor característica. Por volta de 1810, DE MORVEU, na França e CRUIKSHANK, na Inglaterra, o empregaram pela primeira vez como desinfetante geral. Porém, não existem dúvidas que essas primeiras aplicações de cloro tinham mais a finalidade de desodorizar do que de desinfetar. Em 1850, empregavam-se soluções, provavelmente de hipoclorito de sódio (NaClO), para tratar águas de poços freáticos, sem se saber o poder germicida do composto. W.M. JEWELL utilizou cloro produzido eletroliticamente, em 1896, para desinfetar águas nos EUA. Nesse mesmo ano, uma epidemia de febre tifóide, na região do Mar Adriático, foi erradicada com a aplicação de cloreto de cálcio (CaCl_2) à água de abastecimento; o excesso de cloro era neutralizado com sulfito de sódio (Na_2SO_3). Em 1897, durante a epidemia de tifo, em Kent, Inglaterra, SIMS WOODHEAD aplicou soluções de CaCl_2 como medida temporária para esterilizar as canalizações de distribuição de água potável.

O primeiro uso do cloro como processo contínuo de tratamento de água de abastecimento foi em Middelkerke, Bélgica, em 1902, antes da água sofrer filtração em filtro de areia [AWWA, 1975; WHITE (1992) *apud* USEPA, 1999 (a); RIBEIRO, 1998] e em New Jersey, EUA, em 1908 [USEPA, 2000 (a)].

O cloro tem vários aspectos atrativos que contribuem para sua larga utilização; seus quatro atributos principais são:

- 1) Inativa, efetivamente, uma grande faixa de patógenos comumente encontrados nas águas;
- 2) Deixa um residual na água, que é facilmente medido e controlado;
- 3) É econômico;
- 4) Seu uso melhora a operação das ETAs.

Entretanto, alguns conceitos sustentam que o cloro pode ser impactante, ou seja:

-
- a) Reage com muitos compostos orgânicos e inorgânicos, produzindo subprodutos indesejáveis;
 - b) Os perigos associados ao uso do cloro exigem programas de treinamento especiais;
 - c) Altas dosagens de cloro podem causar problemas de sabor e odor às águas.

Primariamente, a cloração é usada nas ETAs para a desinfecção. Por outro lado, devido ao poder oxidante, o cloro também encontra outros propósitos para o tratamento de água, tais como [WHITE (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)]:

- Controle de odor e sabor;
- Prevenção do crescimento de algas;
- Manutenção e limpeza do meio filtrante;
- Remoção do ferro (Fe) e manganês (Mn);
- Destruição do sulfeto de hidrogênio (H₂S);
- Alvejante de certos compostos orgânicos coloridos;

- Manutenção da qualidade da água no sistema de distribuição, através do controle do crescimento microbiano;
- Restauração e preservação da capacidade de vazão;
- Restauração da capacidade de poços, mantendo a desinfecção da água;
- Melhoria do processo de coagulação.

Contudo, o uso do cloro como oxidante da MON causadora de odor, sabor e cor, leva à formação de THMs.

Normalmente, o cloro usado para a desinfecção é usado sob três formas:

Cloro Gasoso (Cl_2): hidrolisa-se rapidamente em água, formando ácido hipocloroso (HClO), de acordo com a reação (1):



A adição de cloro gasoso à água reduz o pH da mesma, devido à produção do íon (H^+). O ácido hipocloroso é um ácido fraco ($\text{pK}_A \cong 7,5$; $T = 20^\circ\text{C}$), isto é, ele se dissocia levemente em íons hidrogênio e hipoclorito (ClO^-), conforme a reação (2):



Em valores de pH entre 6,5 e 8,5, esta dissociação é incompleta e as espécies de HClO e ClO^- estão presentes na mesma quantidade. Em pH abaixo de 6,5, não ocorre dissociação do HClO , enquanto que, em pH acima de 8,5, ocorre a dissociação completa em ClO^- [WHITE (1992), apud USEPA, 1999 (a)]. Como os efeitos germicidas do HClO são maiores do que os do íon ClO^- , prefere-se a cloração em menores valores de pH.

Hipoclorito de Sódio (NaClO): é produzido, quando o cloro gasoso é dissolvido em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH). As soluções comerciais de NaClO contêm 12,5% em

massa de cloro disponível [WHITE (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)]. A água e o NaClO reagem conforme a reação (3):



produzindo HClO e íon hidroxila (OH⁻), que aumentam o poder germicida e o pH da água.

Hipoclorito de Cálcio [Ca(ClO)₂]: é formado do precipitado resultante da dissolução do cloro gasoso em uma solução de NaOH e cal viva (CaO). Normalmente, as soluções comerciais de Ca(ClO)₂ contêm 65% em massa de cloro disponível. A água e o Ca(ClO)₂ reagem de acordo com a reação (4):



produzindo, também, HClO e OH⁻, que aumentam a capacidade germicida e o pH da água.

Geralmente, nas ETAs, cloro é aplicado nas seguintes etapas do sistema de tratamento:: pré-cloração (entrada da água bruta ou na mistura rápida) , cloração intermediária (sedimentação), pós-filtração (água tratada) e recloração (sistema de distribuição) [CONNEL (1996) *apud* USEPA, 1999 (a)]. Os hipocloritos de sódio e cálcio também agem como desinfetantes e oxidantes, mas, dependendo do porte da ETA (vazão superior a 10.000 m³/dia), seus usos podem ser limitados devido aos maiores custos.

A larga faixa de dosagem do cloro confirma seu uso como oxidante e desinfetante. Segundo a NORMA BRASILEIRA NB-592, o consumo de cloro para a desinfecção da água deve ser estimado para a dosagem de 5 mg/L, com dosagem mínima de 1 mg/L (DI BERNARDO, 1993). A concentração de cloro residual, em qualquer ponto da rede de distribuição, é um parâmetro importante e deve ser, no mínimo, de 0,2 mg/L (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2000).

Os usos típicos do cloro, em cada ponto de aplicação, estão mostrados na Tabela 4.

TAB. 4: Pontos de aplicação e usos típicos do cloro.
FONTE: WHITE (1992) apud USEPA, 1999 (a).

PONTOS DE APLICAÇÃO	USOS TÍPICOS
Entrada da água bruta	Controle do crescimento biológico
Mistura rápida	Desinfecção, oxidação do Fe e Mn, controle de odor e sabor e oxidação do H ₂ S
Afluente do filtro	Desinfecção, controle do crescimento biológico no filtro, oxidação do Fe e Mn, controle de odor e sabor, controle de algas e remoção de cor
Água filtrada	Desinfecção
Sistema de distribuição	Manutenção do desinfetante residual, agindo como barreira sanitária para controle do recrescimento microbiano

Na Tabela 5, estão relacionados os usos e as dosagens de cloro normalmente empregadas para várias finalidades e, na Tabela 6, estão relacionadas as considerações finais para o uso do cloro como desinfetante.

TAB. 5: Usos e dosagens do cloro.
FONTE: WHITE (1992) apud USEPA, 1999 (a), adaptado.

APLICAÇÃO	DOSAGEM TÍPICA	pH ÓTIMO	TEMPO DE REAÇÃO	EFICIÊNCIA DE ATUAÇÃO	OUTRAS CONSIDERAÇÕES
Ferro	0,62 mg/mg Fe	6,0 – 8,0	Menos de 1 h	Boa	—
Manganês	0,77 mg/mg Mn	7,0 – 8,0	1 – 3 horas	Cinética lenta	O tempo de reação aumenta em menores valores de pH
Crescimento biológico	1 – 5 mg/L	6,0 – 8,0	Não avaliado	Boa	Formação de subprodutos
Remoção de sabor/odor	Várias	6,0 – 8,0	Vários	Várias	A eficiência depende do composto
Remoção de cor	Várias	4,0 – 6,0	Minutos	Boa	Formação de subprodutos

TAB. 6: Características da desinfecção por cloração.

FONTE: USEPA, 1999 (a).

CONSIDERAÇÕES	DESCRIÇÕES
Geração	A cloração pode ser feita com cloro gasoso ou outros compostos clorados líquidos ou sólidos. O cloro gasoso pode ser gerado por vários processos, incluindo eletrólise alcalina ou do ácido clórico, reação com cloreto de sódio e ácido nítrico ou oxidação do ácido clórico. Como o cloro é um composto estável, o cloro gasoso e os hipocloritos de sódio e cálcio podem ser fabricados longe do local de uso.
Usos principais	O principal uso é para a desinfecção. Porém, serve também como agente oxidante para controlar odor e sabor, prevenção do crescimento de algas, manutenção da limpeza do meio filtrante, remoção do Fe e Mn, destruição do H_2S , remoção de cor, manutenção da qualidade da água nos sistemas de distribuição e otimização da coagulação.
Eficiência da desinfecção	A ordem crescente de dificuldade para a inativação dos microrganismos é: bactérias, vírus, protozoários e vermes. O cloro é extremamente efetivo para inativar bactérias e somente efetivo contra vírus. Contudo, ele é menos efetivo contra cistos de <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> , pois estes são fortemente resistentes a ele.
Formação de subprodutos	Quando adicionado à água, o cloro livre reage com matéria orgânica natural e ion brometo, formando subprodutos da desinfecção, principalmente THMs, ácidos haloacéticos (AHAs) e outros.
Pontos de aplicação	Manancial de água natural, pré e pós-coagulação, pré e pós-sedimentação, pré e pós-filtração (desinfecção) e nos sistemas de distribuição.
Considerações Especiais	Como o cloro é um forte agente oxidante e extremamente corrosivo, devem ser feitas considerações especiais para a estocagem e manuseio, quando do projeto da ETA. Além disso, cuidados com a saúde devem ser levados em conta para o manuseio e uso do cloro gasoso.

3.4. FORMAÇÃO DOS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO

Os compostos orgânicos presentes nas águas naturais são precursores de halofórmios e outros compostos orgânicos halogenados, devido à reação da MON com cloro ou bromo livres. Estudos relatados por ROOK (1974) e BELLAR et al. (1974) demonstraram a formação de quatro halofórmios principais, chamados trihalometanos, quando a desinfecção era feita com cloro; são eles: triclorometano (clorofórmio – CHCl_3), diclorobromometano (CHBrCl_2), dibromoclorometano (CHBr_2Cl) e tribromometano (bromofórmio – CHBr_3). Na Figura 2, está apresentada a estrutura molecular dos quatro principais THMs.

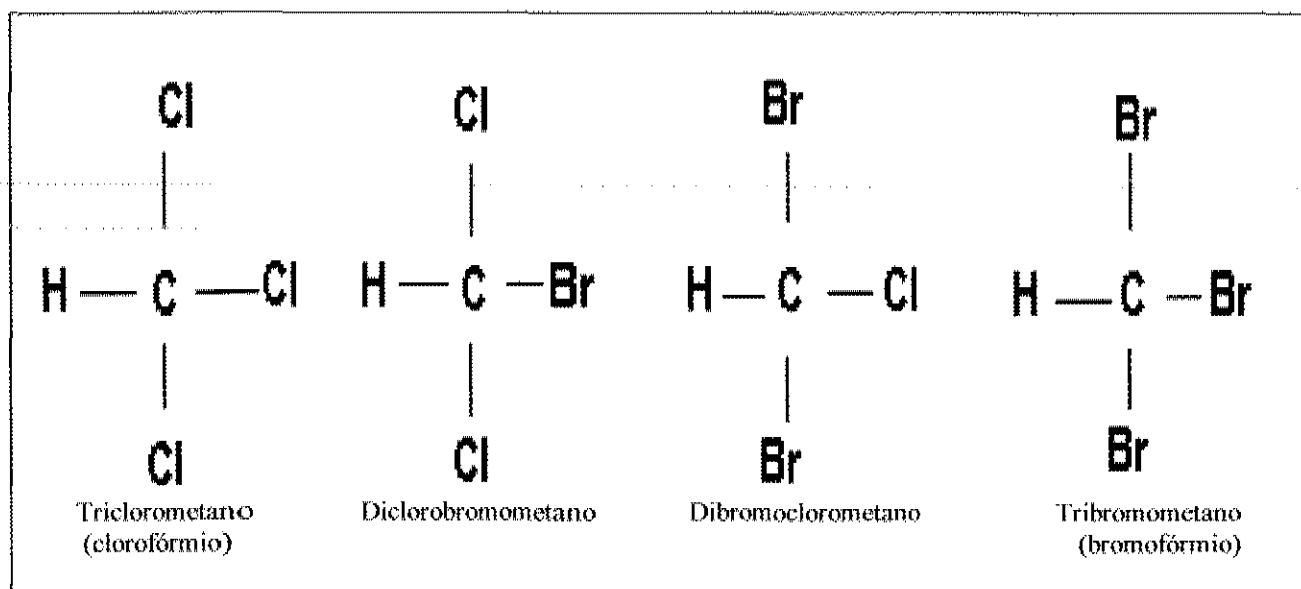


FIG. 2: Estrutura molecular dos quatro principais THMs.

FONTE: ISAAC, 1993.

A reação (5) mostra simplificada a formação dos SPDs halogenados (HARMS, 1999, adaptado):



BABCOCK & SINGER (1979) verificaram que os ácidos húmicos são muito mais importantes na formação dos THMs do que os ácidos fúlvicos, pois eles consomem 75% mais cloro e produzem 117% mais clorofórmio por unidade de COT e 23% mais clorofórmio por unidade de cloro consumido.

Os subprodutos halogenados vêm preocupando os engenheiros sanitaristas do mundo todo, devido à descoberta do grande potencial carcinogênico atribuídos a eles, quando são ingeridos por animais, em testes de laboratório. Testes de mutagenicidade de Ames, realizados por pesquisadores da Divisão de Microbiologia da Companhia de Tecnologia de Saneamento (CETESB) e do Departamento de Microbiologia da Universidade de São Paulo (USP), revelaram o caráter mutagênico da água distribuída na região metropolitana de São Paulo (SANCHEZ, 1992).

A ocorrência de THMs e ácidos haloacéticos (AHAs) é de importante determinação, devido aos limites regulamentados para ambos tipos de compostos.

Na Tabela 7, estão relacionados os principais subprodutos da desinfecção produzidos pelos desinfetantes usados no tratamento de água e que causam problemas de saúde. Esses contaminantes estão agrupados em quatro categorias distintas que incluem os residuais dos desinfetantes, os subprodutos inorgânicos, os subprodutos orgânicos da oxidação e os produtos orgânicos halogenados [USEPA (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)].

Os efeitos dos subprodutos da desinfecção e dos residuais dos desinfetantes sobre a saúde são avaliados por estudos epidemiológicos e/ou toxicológicos, usando-se animais em laboratórios. Na Tabela 8, estão indicadas as categorias das substâncias químicas, segundo seu potencial carcinogênico, de acordo com a USEPA, em janeiro de 1999 e, na Tabela 9, está indicada a classificação cancerígena para os subprodutos da desinfecção e para os residuais dos desinfetantes.

TAB. 7: Subprodutos da desinfecção e residuais dos desinfetantes.
FONTE: USEPA (1992) apud USEPA, 1999 (a).

RESIDUAIS DOS DESINFETANTES Cloro Livre Ácido hipocloroso Íon hipoclorito Cloraminas Monocloramina Dióxido de cloro	SUBPRODUTOS ORGÂNICOS HALOGENADOS Trihalometanos Clorofórmio Diclorobromometano Dibromoclorometano Bromofórmio Ácidos Haloacéticos Ácido monocloroacético Ácido dicloroacético Ácido tricloroacético Ácido monobromoacético Ácido dibromoacético Haloacetônitrilas Dicloroacetônitrila Bromocloroacetônitrila Dibromoacetônitrila Haloacetonas 1,1 – dicloropropanona 1,1,1 – tricloropropanona Clorofenóis 2 – clorofenol 2,4 – diclorofenol 2,4,6 – triclorofenol Cloropirinas Cloridrato Cloreto de cianogênio N – organocloraminas
SUBPRODUTOS INORGÂNICOS Íon Clorato Íon Clorito Íon Bromato Íon Iodato Peróxido de hidrogênio Amônia	
SUBPRODUTOS ORGÂNICOS DA OXIDAÇÃO Aldeídos Formaldeído Acetaldeído Glioxol Hexanol Heptanol Ácidos Carboxílicos Ácido Hexanóico Ácido Heptanóico Ácido Oxálico Carbono Orgânico Assimilável	MX*: 3 – cloro – 4 (diclorometil) – 5 hidroxi 2 (5H) furanona

TAB. 8: Categorias das substâncias químicas, de acordo com seu potencial carcinogênico.

FONTE: USEPA, 1999 (a).

GRUPO A CANCERÍGENOS AOS HUMANOS	Evidências suficientes dos estudos epidemiológicos mostram associação casual entre exposição ⁽¹⁾ e o câncer
GRUPO B PROVÁVEL CANCERÍGENO AOS HUMANOS	Evidências limitadas dos estudos epidemiológicos (B ₁) e/ou evidências suficientes dos estudos em animais (B ₂)
GRUPO C PROVÁVEL CANCERÍGENO AOS HUMANOS	Evidências limitadas dos estudos em animais (B ₂) e sem dados ou dados inadequados para humanos
GRUPO D NÃO CLASSIFICADO	Evidências de carcinogênese inadequadas ou sem evidências
GRUPO E SEM EVIDÊNCIAS DE CARCINOGENESE PARA HUMANOS	Sem evidência de carcinogênese em, no mínimo, dois testes em diferentes espécies de animais adequados ou em estudos epidemiológicos adequados

(1): Baseada na exposição por inalação

TAB. 9: Informações dos SPDs em relação às condições para a saúde.

FONTE: USEPA, 1999 (a).

CONTAMINANTE	POTENCIAL CARCINOGENICO
Clorofórmio	B ₂
Bromodiclorometano	B ₂
Dibromoclorometano	C
Bromofórmio	B ₂
Ácido monocloroacético	—
Ácido dicloroacético	B ₂
Ácido tricloroacético	C
Dicloroacetoneitrila	C
Bromocloroacetoneitrila	—
Dibromoacetoneitrila	C
Tricloroacetoneitrila	—
1,1 – dicloropropanona	—
1,1,1 – tricloropropanona	—
2 – clorofenol	D
2,4 - diclorofenol	D
2,4,6 - triclorofenol	B ₂
Cloropierina	—
Cloridrato	C
Cloreto de cianogênio	—
Formaldeído	B ₁
Clorato	—
Clorito	D
Bromato	B ₂
Amônia	D
Ácido hipocloroso	—
Hipoclorito	—
Monocloramina	—
Dióxido de cloro	D

Os fatores que influem na formação dos SPDs halogenados são: pH; tempo de contato; temperatura; natureza e concentração da MON, especialmente de ácidos húmicos; dosagem de cloro e cloro residual, além da concentração do íon brometo (Br^-).

3.4.1. EFEITO DA VARIAÇÃO DOS VALORES DE pH

ROOK (1974) comprovou que a taxa de formação dos THMs é maior para valores de pH mais altos. O incremento da concentração dos THMs é especialmente evidente para valores de pH entre 8,0 e 10,0. Estudos feitos em laboratório por STEVENS et al. (1976), com 1,00 mg de ácidos húmicos clorados com 10 mg/L de cloro, por 100 horas, a 25°C, obtiveram as mesmas curvas de incremento para diferentes valores de pH, como mostrado na Figura 3.

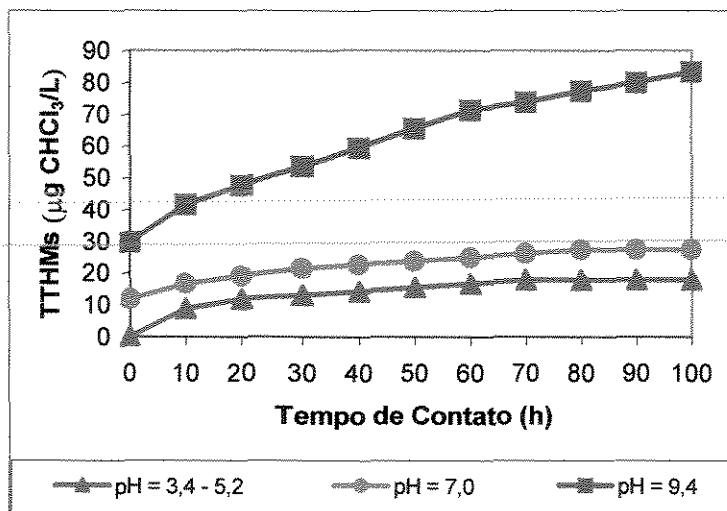


FIG. 3: Efeito do valor do pH sobre a formação do total de THMs.
FONTE: STEVENS et al., 1976, adaptado.

A maior formação do total de trihalometanos (TTHMs) ocorre em valor mais alto de pH (9,4) do que em menor valor de pH (5,0), enquanto que os ácidos haloacéticos não têm uma dependência clara em relação ao pH. Os resultados permitem concluir que pode ocorrer uma redução de 50% na formação dos THMs, com redução do valor do pH de 9,0 para 7,0.

De acordo com estudos em ETAs que realizavam abrandamento por precipitação em valores de pH entre 9,5 e 10,0 houve maior formação de THMs do que em ETAs convencionais que tratavam águas superficiais em valores de pH entre 6,0 e 8,0 (SINGER & CHANG, 1989).

Na Tabela 10, são mostradas as condições de pH para a formação de alguns SPDs.

TAB. 10: Condições de formação de alguns SPDs.
FONTE: STEVENS et al., 1976, adaptado.

SUBPRODUTO DA DESINFECÇÃO	CONDIÇÕES DE FORMAÇÃO		
	CLORAÇÃO EM pH = 5,0	CLORAÇÃO EM pH = 7,0	CLORAÇÃO EM pH = 9,4
Total de trihalometanos	Pequena formação	Média formação	Grande formação
Ácido tricloroacético	Média formação	Média formação	Média formação
Ácido dicloroacético	Média formação	Média formação	Média formação
Ácido monocloroacético	Em concentrações	menores que 5 µg/L	não é detectável
Ácido dibromocloroacético	Em concentrações	menores que 1 µg/L	não é detectável
Cloridrato	Pequena formação	Pequena formação	Formado em 4 horas. O tempo é maior, se estiver em concentração menor que 5 µg/L
Cloropicrina	Em concentrações	menores que 1 µg/L	não é detectável
Dicloroacetoneitrila	Grande formação	Formado em 4 horas. O tempo é maior, se estiver em concentração menor que 5 µg/L	Em concentração menores que 2 µg/L não é detectável
Bromocloroacetoneitrila	Em concentrações	menores que 1 µg/L	não é detectável
Dibromoacetoneitrila	Em concentrações	menores que 0,5 µg/L	não é detectável
Tricloroacetoneitrila	Não detectado		
1,1,1 – tricloropropanona	Grande formação	Em concentração menores que 2 µg/L não é detectável	Não detectado

3.4.2 EFEITO DO TEMPO DE CONTATO

Em condições naturais, a formação dos THMs não é instantânea, podendo ser completada no período de alguns minutos até dias (DI BERNARDO, 1993). Quanto maior o tempo de contato entre o cloro e os precursores orgânicos, maior é a quantidade de THMs formados (ISAAC, 1993). As espécies e as concentrações do total de trihalometanos são progressivamente incrementadas com tempos de contato a partir de 30 até 240 minutos (BABCOCK & SINGER, 1979; MOHAMED & RIZKA, 1995), conforme é mostrado pela curva da Figura 4.

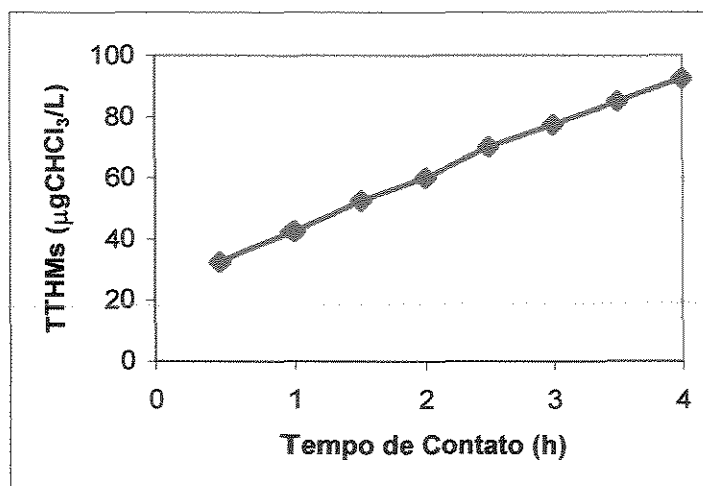


FIG. 4: Efeito do tempo de contato na formação do total de THMs.
FONTE: MOHAMED & RIZKA, 1995, adaptado.

MOHAMED & RIZKA (1995) também verificaram que o valor do pH apresentava grande influência na formação dos THMs, conforme mostra a Figura 5.

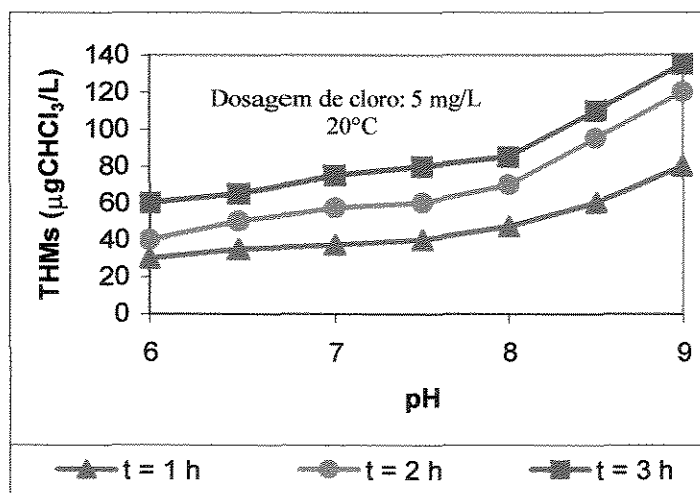


FIG. 5: Influência do tempo de contato e pH na formação de THMs.
FONTE: MOHAMED & RIZKA, 1995, adaptado.

3.4.3. EFEITO DA TEMPERATURA

Geralmente, o aumento da temperatura resulta em maior taxa de formação de THMs devido ao aumento da taxa de reação dos precursores orgânicos. Estudos laboratoriais realizados por STEVENS et al. (1976) comprovaram essa afirmação, conforme é mostrado na Figura 6, para três temperaturas diferentes.

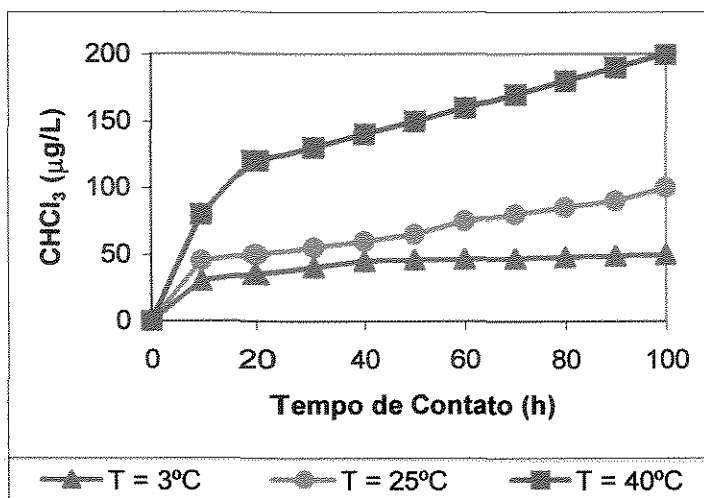


FIG. 6: Produção do clorofórmio em três temperaturas diferentes da água natural, pH igual a 7,0 e dosagem de cloro de 10 mg/L.
FONTE: STEVENS et al., 1976, adaptado.

Nos meses de verão ou em regiões geográficas quentes, há maior demanda de cloro, a fim de manter os residuais desinfetantes na rede de distribuição; portanto, a formação de subprodutos halogenados da desinfecção aumenta com o aumento da temperatura.

3.4.4. EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE MON

A concentração de MON, especialmente de ácidos húmicos, influencia a formação do total de trihalometanos. Estudos realizados por STEVENS et al. (1976), em laboratório, confirmaram essa afirmação, conforme é mostrado na Figura 7.

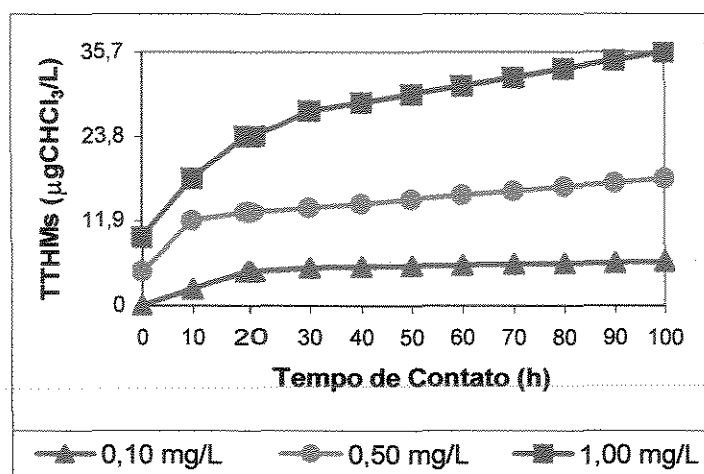


FIG. 7: Efeito da concentração de substâncias húmicas na formação do total de THMs.
FONTE: STEVENS et al., 1976, adaptado.

Nota-se, novamente, que o tempo de contato é um fator importante na formação dos THMs.

3.4.5. EFEITO DA DOSAGEM DE CLORO

Segundo TRUSSELL & UMPHRES (1978), a taxa de formação dos THMs, em função do tempo de contato e da dosagem de cloro, manifesta-se em três regiões distintas de dosagem de cloro, onde a formação do total de THMs mantém um padrão definido.

Foram conduzidos estudos com água sintética preparada pela adição de 10 mg/L de ácidos húmicos, 1 mg/L de amônia (como NH_3Cl) e 10 mg/L de tampão padrão com pH igual a 7,0 em água desmineralizada; a concentração do carbono orgânico total (COT) era 0,2 mg/L. Diferentes quantidades de cloro gasoso foram adicionadas a várias porções de água e, depois de duas horas de contato, foram medidos o cloro residual e os THMs formados, como é mostrado na Figura 8.

Existia uma primeira região onde os THMs eram ineficientemente formados, enquanto a amônia (NH_3) estava sendo oxidada; em seguida, havia uma região, onde ocorria um rápido desenvolvimento de THMs, na qual a produção era cerca de $6,70 \mu\text{g THMs/mg Cl}_2$ adicionado. Depois de uma dosagem de cerca de 20 mg/L, desenvolvia-se uma substancial

quantidade de cloro residual, mas o desenvolvimento dos THMs era diminuído. Na última região, a produção de THMs foi, somente, de 0,50 $\mu\text{g THMs/mg Cl}_2$ adicionado. Nas duas últimas regiões, a produção de THMs variou entre 7,71 e 93,5 $\mu\text{g THM/mg Cl}_2$, indicando que uma maior fração do cloro consumido participava da formação dos THMs.

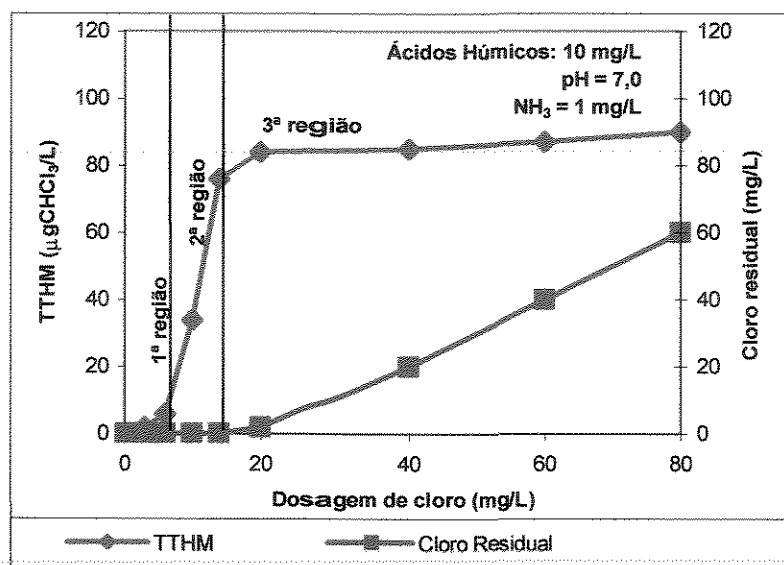


FIG. 8: Efeito da dosagem de cloro na formação do total de THMs.
FONTE: TRUSSELL & UMPHRES, 1978, adaptado.

3.4.6. EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DO ÍON BROMETO

A relação entre a concentração do íon brometo (Br^-) e o cloro afeta a formação dos THMs, com a substituição do cloro pelo bromo. Na reação de substituição com compostos orgânicos, o bromo leva vantagem sobre o cloro, com produção de mais espécies bromatadas, mesmo que o cloro esteja presente em excesso, quando comparado com a concentração inicial de bromo, como são mostrados pelas Figuras 9 e 10 (KRASNER et al., 1989; BLACK et al., 1996).

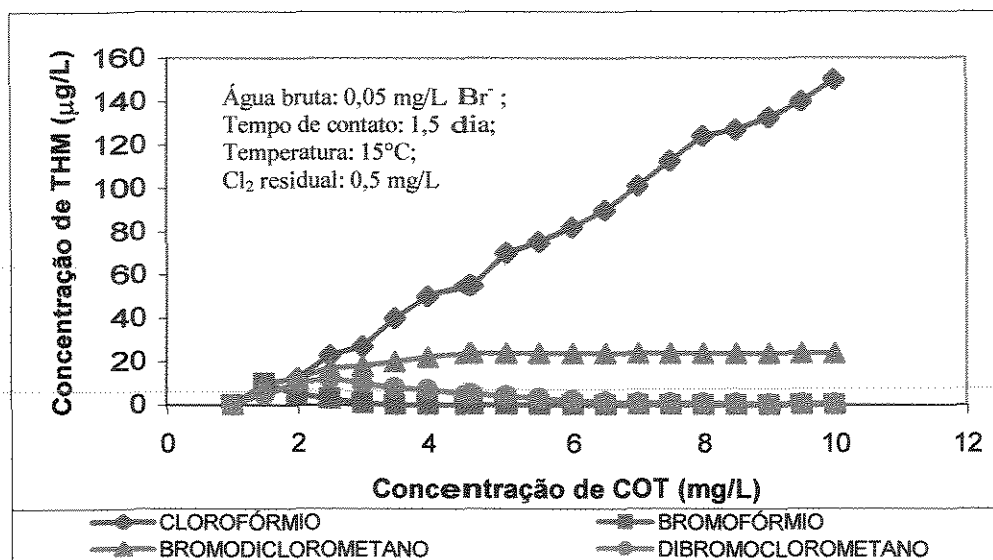


FIG. 9: Concentrações de THMs, após cloração de água contendo 0,05 mg/L de Br⁻.
FONTE: BLACK et al., 1996, adaptado.

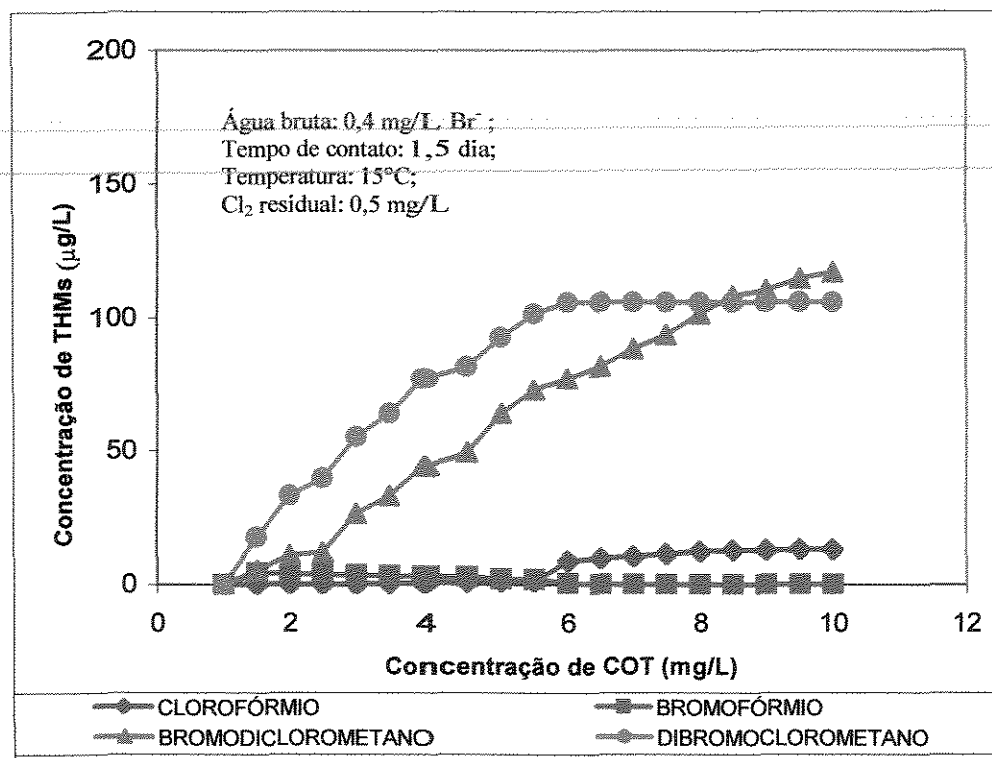


FIG. 10: Concentrações de THMs, após cloração de água contendo 0,4 mg/L de Br⁻.
FONTE: BLACK et al., 1996, adaptado.

3.5. PRECURSORES DOS SUBPRODUTOS DA DESINFECCÃO

A matéria orgânica natural é encontrada em fontes de águas subterrâneas e superficiais. Ela consiste de substâncias húmicas, aminoácidos, açúcares, ácidos alifáticos, ácidos aromáticos e um grande número de outras moléculas orgânicas. Apesar das pesquisas iniciais sobre a MON presente nas águas terem se centrado sobre as reações entre ela e os desinfetantes químicos, as ETAs também devem considerar a remoção da MON por várias outras razões: ela pode estar ligada a metais pesados e compostos orgânicos sintéticos, possibilitando que esses contaminantes permaneçam durante o tratamento. Além disso, ela cria uma demanda adicional de desinfetante, forçando as ETAs a usarem altas dosagens desse produto para manter um residual adequado nos sistemas de distribuição. Alguns dos constituintes da MON podem fornecer alimentação para microrganismos nos sistemas de distribuição, além de competir com outros compostos orgânicos na remoção por carvão ativado granular (CAG) ou carvão ativado em pó (CAP).

As características da MON variam consideravelmente e têm implicações importantes para o tratamento de água de abastecimento. De todos os constituintes da MON, a maioria das pesquisas está relacionada às substâncias húmicas, que compreendem a cerca de 50% do carbono orgânico dissolvido (COD) das águas superficiais; esta porcentagem pode variar consideravelmente e pode ser de até 80% em águas fortemente coloridas. Essas substâncias são formadas da biodegradação de tecidos vegetais e animais em ambientes aquáticos e podem ser fracionadas em ácidos húmicos e ácidos fúlvicos. As características físicas e químicas das substâncias húmicas variam largamente, mas, geralmente, podem ser representadas por enormes macromoléculas polieletrólíticas [USEPA, 1999 (c)].

Em 1919, ODEN classificou as substâncias húmicas de acordo com sua solubilidade em diferentes condições, como é mostrado na Tabela 11.

TAB. 11: Classificação das substâncias húmicas, segundo ODEN (1919).
FONTE: Journal AWWA, 1979.

FRAÇÃO	CARACTERÍSTICA
Ácido húmico	Fração solúvel em hidróxido de sódio (NaOH) e insolúvel em álcool e ácidos minerais
Ácido fúlvico	Fração solúvel em hidróxido de sódio (NaOH) e ácidos minerais e insolúvel em álcool
Ácido Himatomelânico	Fração solúvel em hidróxido de sódio (NaOH) e álcool e insolúvel em ácidos minerais
Humina	Resíduo da separação dos compostos anteriores, insolúvel em hidróxido de sódio (NaOH) e água (H ₂ O)

A porcentagem dos principais elementos químicos constituintes dos ácidos húmicos e fúlvicos está apresentada na Tabela 12.

TAB. 12: Composição percentual média dos ácidos húmicos e fúlvicos.
FONTE: USEPA, 1999 (c).

ELEMENTO	ÁCIDO FÚLVICO (% em massa)	ÁCIDO HÚMICO (% em massa)
Carbono (C)	40 – 50	50 – 60
Hidrogênio (H)	4 – 6	3 – 6
Oxigênio (O)	44 – 50	30 – 50
Nitrogênio (N)	1 – 3	1 – 4
Enxofre (S)	0 – 2	0 – 2

A maioria dos grupos funcionais desses ácidos é do tipo carboxílico, álcool, cetona e fenol. A caracterização desses compostos inclui o peso molecular aparente, o tamanho molecular aparente e a composição por grupos funcionais. Geralmente, as substâncias húmicas são caracterizadas por parâmetros baseados na sua capacidade de absorverem luz ultravioleta, pela sua contribuição na determinação da concentração do COD ou pelo seu potencial de formação de trihalometanos (PFTTHMs).

AMY et al. (1992) estudaram a distribuição molecular aparente da matéria orgânica para duas fontes de águas diferentes: “Orange County Water District” (OCWD) e “Mesa Consolidated Water District” (MCWD). A caracterização analítica foi feita em relação ao COD, UV-254 e PFTTHMS.

Os resultados de absorção ao ultravioleta indicaram que a matéria orgânica dissolvida (MOD) das duas águas tem tamanho molecular aparente superior a 10.000 daltons, constituindo-se, principalmente, da fração hidrofóbica que influencia na elevação da cor. Em relação ao COD, ambas as águas apresentaram cerca de 20% da MOD com tamanho molecular aparente inferior a 500 daltons, constituindo-se, principalmente, de fração hidrofílica pouco influente na cor e na absorção ao ultravioleta. Quanto ao PFTTHMs, a MOD com tamanho molecular aparente inferior a 500 daltons foi mais reativa em formar THMs. De acordo com os autores, as maiores reduções foram obtidas com tratamento por coagulação e membrana de nanofiltração (Figura 11).

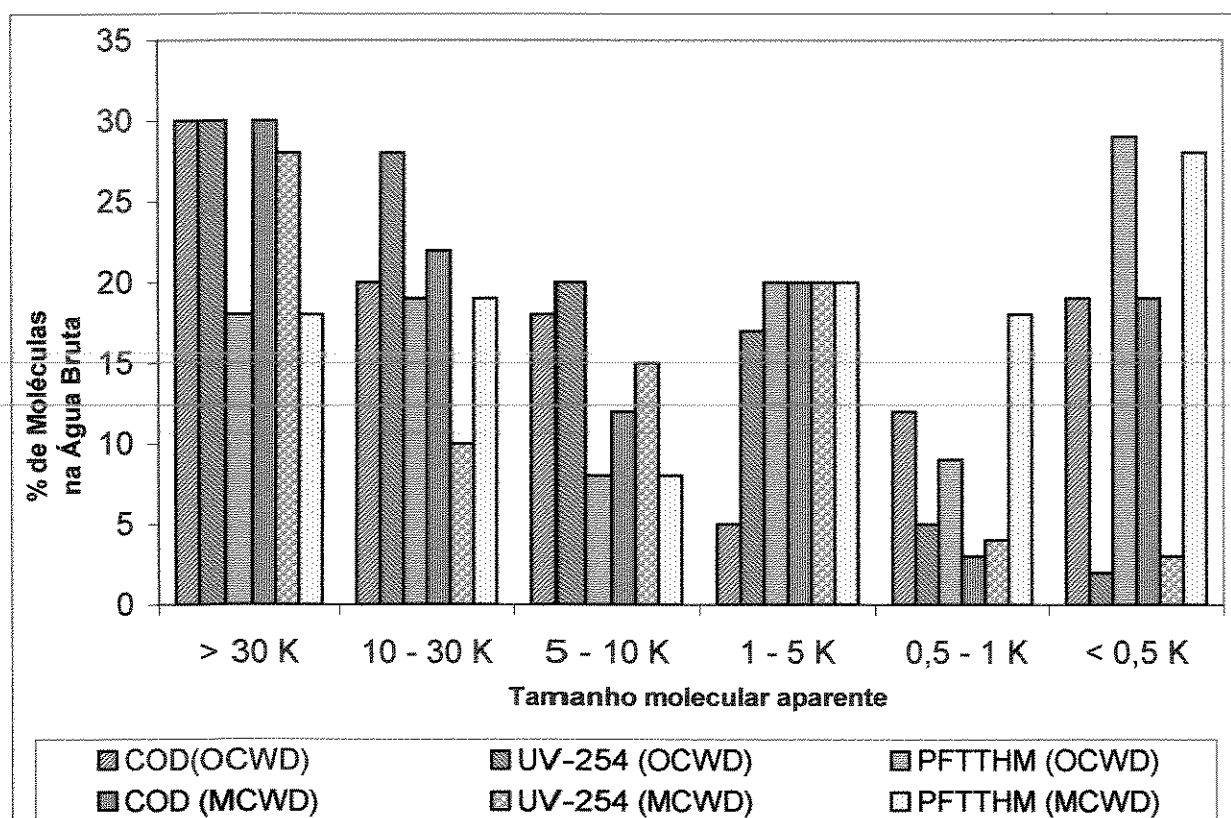


FIG. 11: Distribuição do tamanho molecular aparente da MOD de duas fontes de águas diferentes.

FONTE: AMY *et al.*, 1992.

CHADIK & AMY (1987) e AMY, KUO & SIERKA, apud RIBEIRO (1998), verificaram que a determinação do peso molecular e do tamanho molecular aparente do COD presente nas amostras de água bruta proporcionam uma distribuição que funciona como uma espécie de impressão digital na identificação de cada composto, pois a cada um deles corresponde uma única distribuição; isto pode ser usado para se definir a estratégia do tratamento.

As substâncias húmicas contribuem para a cor das águas, conforme pode ser visto na Figura 12.

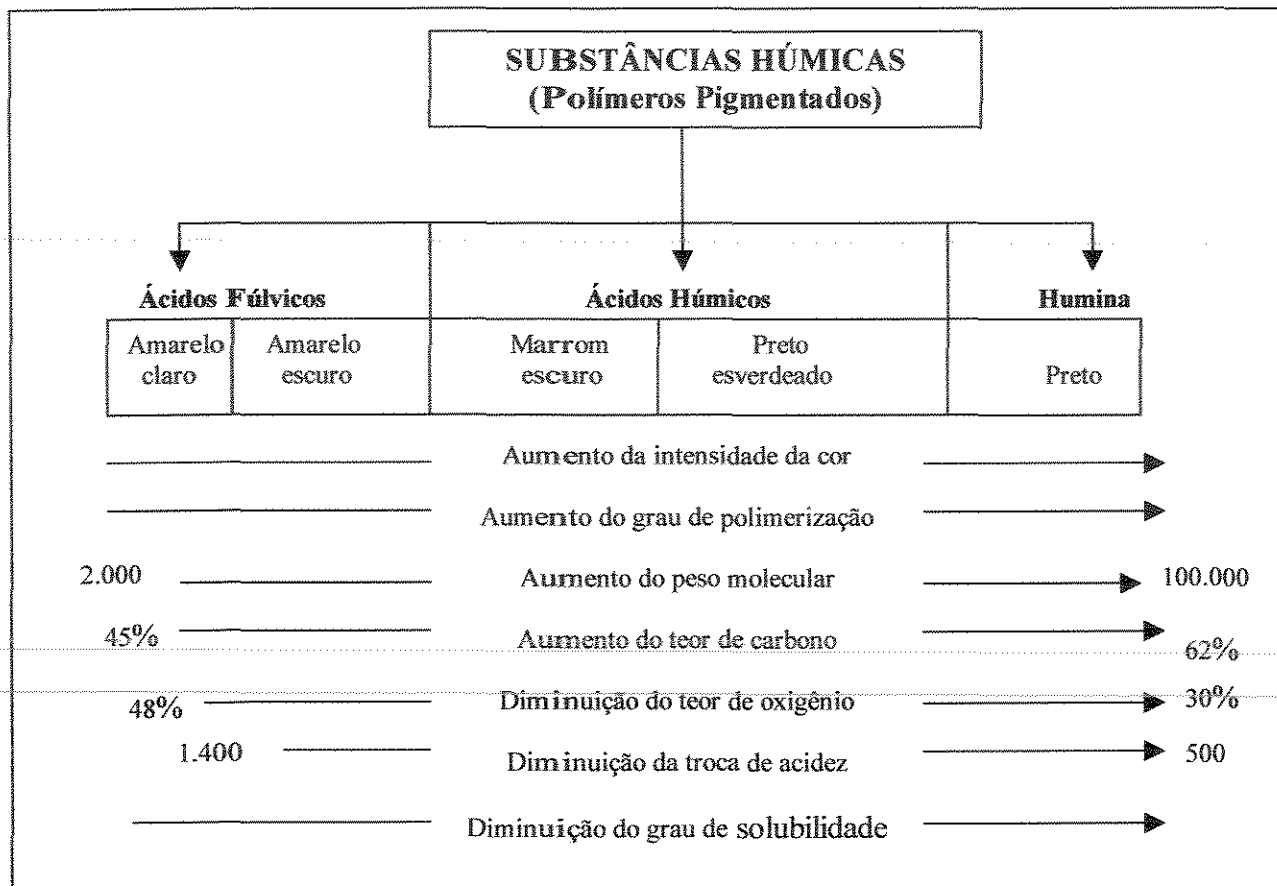


FIG. 12: Propriedades químicas das substâncias húmicas.
FONTE: STEVENSON (1982) apud CAPECE, 2000.

Segundo THURMAN (1985) *apud* RIBEIRO (1998), as substâncias húmicas presentes no solo são ácidos polieletrólitos determinados por isolamento com solução 0,1 molar de hidróxido de sódio (NaOH), enquanto que as substâncias húmicas aquáticas são isoladas por adsorção em resina iônica de base fraca XAD. Os ácidos polieletrólitos não são voláteis e têm peso molecular variando de 500 a 5.000 daltons; são originados por lixiviação de plantas e de solos carregados para rios e córregos. Lagos e mares têm uma significativa produção de algas, as quais contribuem muito fortemente para o aparecimento das substâncias húmicas aquáticas. Ainda, segundo o mesmo autor, as substâncias que precipitam em meio ácido são os ácidos húmicos e as que permanecem em solução são os ácidos fúlvicos. Normalmente, os ácidos fúlvicos são mais solúveis em água porque têm baixo peso molecular, da ordem de 800 a 2.000

daltons e contêm mais grupos funcionais carboxílicos e hidroxílicos na estrutura da molécula. Os ácidos húmicos têm peso molecular superior a 2.000 daltons e estão, na maioria das vezes, presentes na forma de dispersão coloidal. Algumas frações de ácidos húmicos podem estar associadas com argila mineral e óxidos de ferro e de alumínio; a combinação de moléculas de grande peso molecular e argila é a razão pela qual ocorre a precipitação dos ácidos húmicos.

Os ácidos orgânicos retidos pela resina XAD são chamados hidrofóbicos e os que não são retidos pela resina, em pH igual a 2,0, são chamados hidrofílicos. EDZWALD (1993) determinou as frações hidrofóbicas e hidrofílicas de acordo com os grupos funcionais presentes, como pode ser visto na Tabela 13.

TAB. 13: Frações e grupos funcionais relacionados à MON.
FONTE: EDZWALD, 1993.

FRAÇÃO	GRUPOS FUNCIONAIS
HIDROFÓBICA	
ÁCIDOS	
Forte	Ácidos húmicos e fúlvicos, ácidos aromáticos e ácidos carboxílicos com alto peso molecular
Fraco	Fenóis, tanino e ácidos carboxílicos com peso molecular intermediário
BASES	Proteínas, aminas aromáticas e aminas alquílicas com alto peso molecular
NEUTRAS	Hidrocarbonetos, aldeídos, cetonas, álcoois, éteres e furanos de alto peso molecular
HIDROFÍLICA	
ÁCIDOS	Ácidos hidroxílicos e ácidos carboxílicos com baixo peso molecular
BASES	Aminoácidos, piridinas e aminas de baixo peso molecular
NEUTRAS	Polissacarídeos, álcoois, aldeídos e cetonas com baixo peso molecular

A ocorrência dos ácidos hidrofóbicos e hidrofílicos pode variar com o tipo de corpo d'água (rio, lago ou represa), com o tipo de solo e de vegetação presente na bacia hidrográfica e com o tipo de ocupação do solo (urbana, industrial ou agrícola). Os estudos de EDZWALD (1993) demonstraram que os coagulantes metálicos são mais efetivos na remoção da fração hidrofóbica com alto peso molecular. Os ácidos hidrofóbicos fortes são precursores de SPDs e

apresentam múltiplas características, devido à sua natureza heterogênea e complexa. Na Tabela 14, estão resumidas as principais fontes de compostos orgânicos presentes em mananciais, que atuam na formação dos subprodutos da desinfecção.

TAB. 14: Principais precursores de SPDs.
FONTE: ISAAC, 1993.

FONTE	EXEMPLOS
Vegetais	Produtos da degradação: ácidos húmicos e fúlvicos (resorcinol, ácido vanílico, ácido siringico, ácido 3,5 – dihidroxibenzoico)
Algas	Biomassa de algas, aminoácidos, piridinas, exudados extracelulares e proteínas
Indústrias	Efluentes industriais (fenóis, metil etil cetona, etc.)

Dentre as estruturas fenólicas identificadas nas substâncias húmicas, o meta-dihidroxibenzeno (resorcinol) é considerado o principal precursor de THMs das substâncias aquáticas húmicas por causar grande produção de THMs, rapidamente. Compostos fenólicos, β -dicetonas e alguns ácidos carboxílicos, que podem ser convertidos em cetoácidos, tais como o ácido cítrico, também são susceptíveis a formar THMs em grandes quantidades, mas lentamente (GALLARD & VON GUNTEN, 2002).

Segundo CARDOSO & TSAIN (1992) *apud* RIBEIRO (1998), a lignina é considerada a principal fonte de matéria húmica do solo. Devido a sua estrutura polifenólica muito estável, sua degradação é relativamente lenta. Dentre os taninos, os chamados condensados podem constituir precursores dessas substâncias. O principal processo de formação das substâncias húmicas é a reação de oxidação de substratos hidrolisados monoméricos, conduzindo-os a polímeros de cor mais ou menos escura e com peso molecular geralmente elevado.

Nos valores de pH encontrados nas águas naturais, as substâncias húmicas têm carga negativa e dimensão de 3,5 a 10,0 nm. Essa carga negativa é resultante da presença de grupos funcionais do tipo fenol e carboxílico, que se dissociam com o aumento do pH, o que aumenta a estabilização das cargas das macromoléculas causadoras de cor e interferem nas reações com coagulantes metálicos (EDZWALD, 1993).

Na Figura 13, é mostrada a estrutura hipotética dos ácidos húmicos (A) e fúlvicos (B).

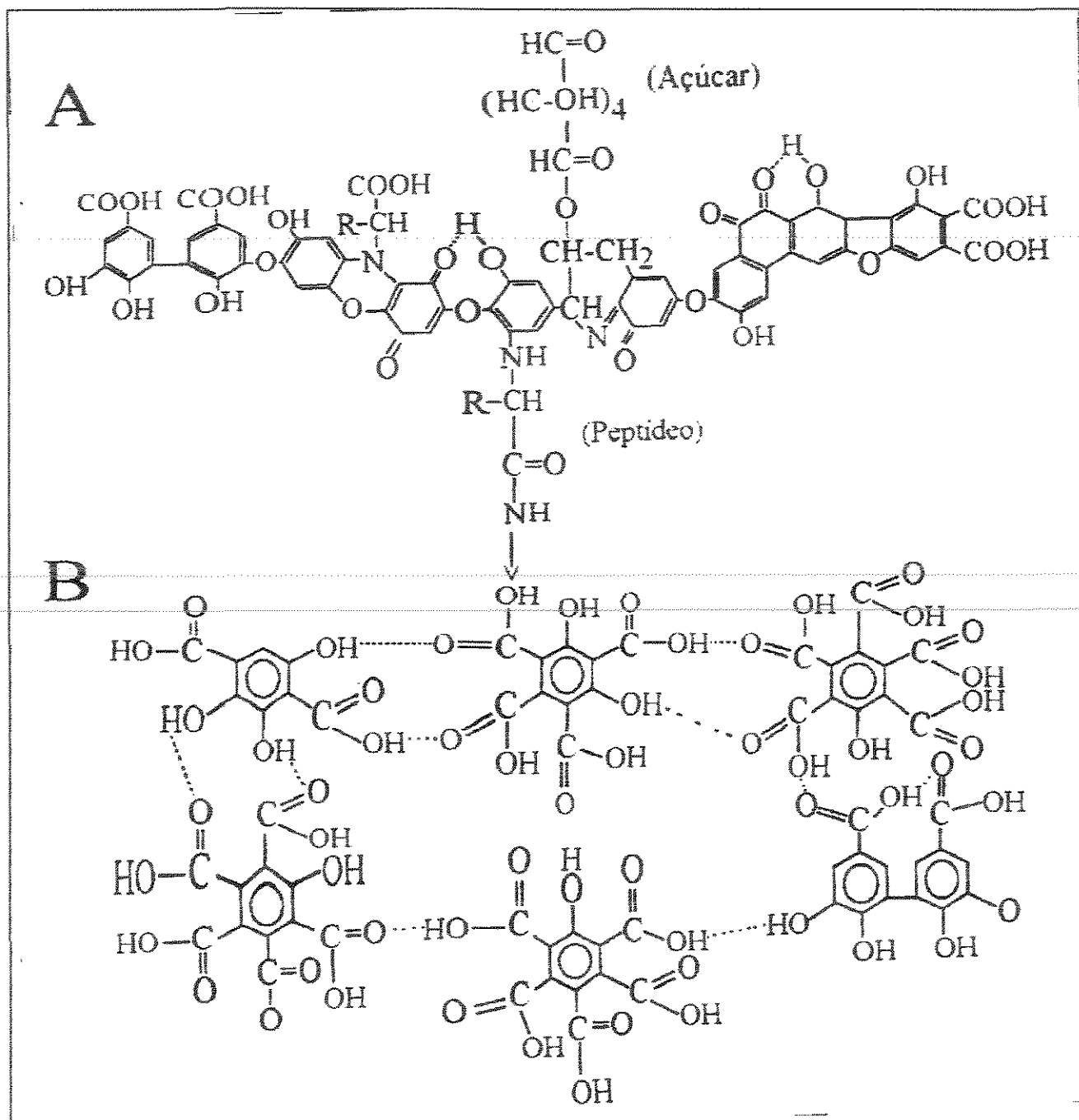


FIG. 13: Estrutura hipotética dos ácidos húmicos (A) e ácidos fúlvicos (B).
 FONTE: CARDOSO & TSAIN (1992) apud RIBEIRO, 1998.

Além de formarem subprodutos da desinfecção, os ácidos húmicos, em concentrações muito altas, podem causar cor desagradável às águas e ser substrato para o crescimento biológico; na forma de precursores e nas concentrações encontradas nas águas naturais não são nocivos à saúde.

Simplificadamente, pode-se representar o material húmico como mostrado na Figura 14.

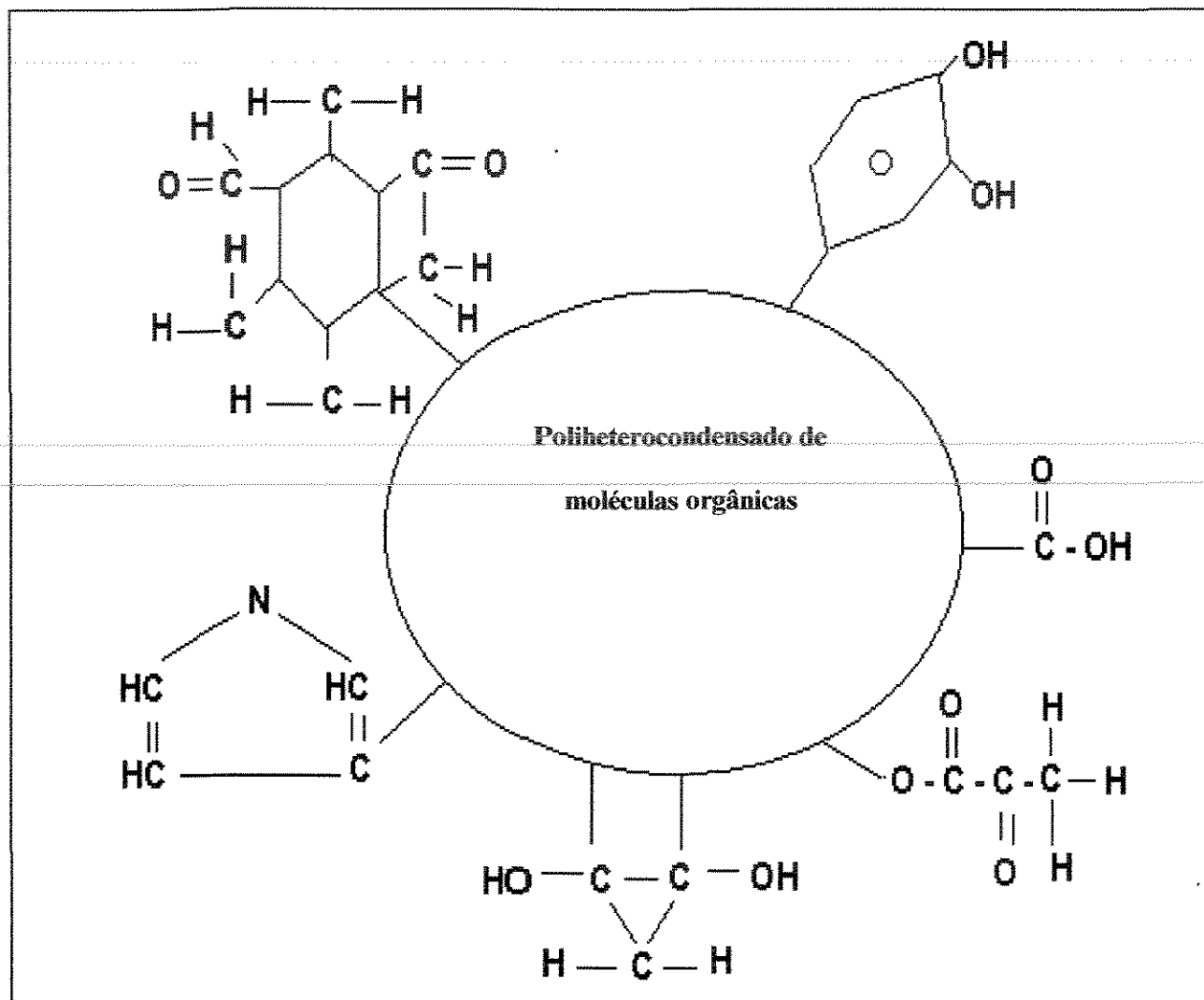


FIG. 14: Estrutura simplificada da molécula de material húmico.

FONTE: ISAAC, 1993, adaptado.

ROOK (1976) *apud* OLIVEIRA (2002), demonstrou que anéis aromáticos com dois grupos hidroxilas em posição meta, são particularmente efetivos na produção de clorofórmio.

Como as características físicas e químicas da matéria orgânica natural variam largamente, nenhuma técnica analítica está disponível para caracterizar diretamente a MON. Por isso, são usados parâmetros substitutos para descrever suas características gerais. De acordo com HAUTALA et al. (1999), utilizando-se conjuntamente análises de fluorescência para os ácidos fúlvicos e de espectrofotometria para os ácidos húmicos, pode-se ter uma idéia mais precisa do conteúdo do material orgânico das águas naturais.

Os parâmetros substitutos são usados para monitorar a MON e os precursores dos SPDs nas águas naturais e para determinar o desempenho do tratamento para a remoção dos mesmos. Esses parâmetros substitutos estão mostrados na Tabela 15.

TAB. 15: Parâmetros substitutos para monitorar MON e precursores de THMs.
FONTE: EDZWALD et al., 1985.

PARÂMETRO SUBSTITUTO	MEDIDA
Turbidez	Parâmetro substituto de partículas em suspensão; o padrão é 1 uT
Cor	Parâmetro substituto de material húmico; o padrão é 5 uC
Coliformes	Parâmetro substituto para microrganismos patogênicos
COT	Parâmetro em grupo de matéria orgânica
PFTTHM	Parâmetro indireto dos precursores de THMs
UV-254	Parâmetro substituto para COT e precursores de THMs

Segundo USEPA [1999, (c)], os parâmetros substitutos são:

1) **Determinação do Carbono Orgânico Total (COT) e Carbono Orgânico Dissolvido (COD):**

Existem diversos métodos para a medida do COT em amostras de água; o uso apropriado desses métodos produz resultados diretamente comparáveis. A maioria dos resultados de COT da água potável, relatados na literatura, pode ser assumida como representativa do COD. Geralmente, o carbono orgânico particulado é a menor fração do COT; entretanto, algumas águas superficiais — especialmente após enchentes — têm uma quantidade significativa de carbono orgânico particulado.

Apesar do COT ser uma medida direta do conteúdo de carbono orgânico na água, ela não é, necessariamente, uma medida consistente da concentração dos precursores de SPDs. Uma explicação para esta observação é que o COT não fornece indicações sobre a natureza aromática ou alifática do grupo funcional ou da substância associada com as moléculas orgânicas naturais. A reatividade das substâncias químicas e dos grupos funcionais é um fator importante, pois diferentes águas com a mesma concentração de COT podem formar SPDs com concentrações diferentes, quando submetidas a idênticas condições de desinfecção e idênticas concentrações do íon brometo (Br^-).

O COD também é um parâmetro substituto comumente usado para medir a concentração dos precursores de SPDs. Operacionalmente, o COD é definido como a fração do COT capaz de passar através de membranas com poros de 0,45 μm . De acordo com GALLARD & VON GUNTEN (2002), o conteúdo de COD afeta a produção dos THMs formados por mol de cloro consumido.

A fase orgânica dissolvida pode ser mais reativa que a fase particulada. Logo, a relação COD/COT também pode ser considerada um parâmetro importante para explicar porque águas diferentes contendo a mesma concentração de COT, sob idênticas condições de desinfecção e idênticas concentrações do íon Br^- , formam SPDs com concentrações diferentes. Se a relação COD/COT for relativamente baixa, ou seja, a maior parte do material orgânico estiver na forma particulada, os processos físicos como sedimentação e filtração podem ser usados para remover esta fração significativa de matéria orgânica natural. Por outro lado, relações COD/COT relativamente altas indicam que a maior parte da MON está na forma solúvel; por isso, os processos como coagulação, adsorção em carvão ativado granular (CAG) e filtração por membranas são mais indicados para se obter uma remoção significativa.

2) Determinação da Absorbância à Radiação Ultravioleta (UV) ao Comprimento de Onda de 254 nanômetros (UV-254):

Um dos parâmetros substitutos mais comumente usado nas pesquisas de água de abastecimento tem sido a habilidade dos compostos orgânicos presentes na água absorverem luz

ultravioleta no comprimento de onda de 254 nm (EDZWALD, 1993). A absorvência UV-254 é usada na Europa para monitorar a remoção de matéria orgânica natural pelas ETAs. Nos EUA, é usada como parâmetro substituto no controle do COT, precursores de THMs, compostos organohalogenados (TOXs), na adsorção do COT por CAG ou (CAP) e na remoção do COT e precursores de THMs em ETAs que operam por filtração direta. As medidas do UV-254 podem ser feitas continuamente com um espectrofotômetro em linha, propiciando controle do tratamento em tempo real (EDZWALD et al., 1985).

Segundo GALLARD & VON GUNTEN (2002), a absorvência ao UV-254 afeta a produção dos THMs formados por mol de cloro consumido. Estudos realizados pelos autores, demonstraram que existe uma forte correlação entre o PFTTHMs e o UV-254; desta forma, o UV-254 pode ser usado como um parâmetro substituto para indicar os precursores de THMs.

A absorvência UV-254 indica a concentração de moléculas orgânicas com grupos aromáticos. Os resultados do UV-254 dependem do pH e da turbidez da água a ser testada; pesquisas recentes relatam que deve ser usado pH igual a 7,0 para as medidas do UV-254 e a água deve ser pré-filtrada em membrana 0,45µm para remover a matéria orgânica particulada, antes da análise do UV-254 [OWEN et al. (1993) *apud* USEPA, 1999 (c)].

Outras limitações também podem afetar o uso do UV-254 como indicador do desempenho do processo unitário para a remoção dos precursores de SPDs. Inicialmente, estas limitações resultam das interferências de íons nitrato (NO_3^-) e brometo (Br^-) e de espécies inorgânicas que também absorvem luz ultravioleta em comprimentos de onda próximos ao 254 nm; por exemplo, a monoclaramina (NH_2Cl) e o ozônio (O_3) dissolvido absorvem luz UV nos comprimentos de onda de 243 e 260 nm, respectivamente. Portanto, as avaliações do desempenho do processo unitário para a redução do UV-254 devem considerar essas potenciais interferências.

3) Determinação da Absorção Ultravioleta Específica (AUVE):

EDZWALD (1993) comprovou que a absorção ultravioleta específica (AUVE) pode ser um bom indicador do conteúdo de substâncias húmicas na água, sendo definida como a medida do UV-254 (m^{-1}) relacionada com a concentração de COD (mg/L), resultando como unidade L/mg.m, de acordo com a equação (1):

$$AUVE = \frac{UV-254}{COD} (L/mg.m) \quad (EQ. 1)$$

Valores de AUVE inferiores a 3,0 L/mg.m significam que a maioria do material contido na água é de substâncias não húmicas; valores de AUVE entre 4,0 e 5,0 L/mg.m são típicos de águas contendo, principalmente, substâncias húmicas.

A absorção ultravioleta específica também pode predizer a eficiência de remoção obtida nas etapas do tratamento de água; vários estudos relatam que águas com elevado AUVE exibem grandes reduções do AUVE e do COT através da coagulação otimizada, indicando uma substancial remoção da totalidade da MON; por outro lado, águas com baixo AUVE exibem pequenas reduções do AUVE e do COT, indicando uma remoção insignificante da totalidade da MON [USEPA, 1999 (c)].

4) Determinação do Potencial de Formação do Total de Trihalometanos (PFTTHMs):

A formação dos subprodutos da desinfecção pode ser avaliada em escala de bancada, usando-se métodos para a determinação do potencial de formação do total de trihalometanos (PFTTHMs), testes do sistema de distribuição simulado (SDS) e/ou testes das condições de formação uniforme (CFU). Cada um destes métodos tem sido otimizado para produzir informações específicas, porque os parâmetros de qualidade da água usados em cada procedimento influenciam fortemente o rendimento e a formação dos SPDs [USEPA, 1999 (c)].

A importância destes testes é que eles podem indicar uma medida indireta da remoção dos precursores de THMs através das etapas do processo de tratamento. A remoção do COT pode ser bastante diferente da redução do PFTTHMs, a qual pode indicar que as moléculas precursoras de THMs são preferencialmente removidas em relação a outras moléculas orgânicas naturais ou vice-versa. Esse tipo de informação pode ser crítica, quando se avalia o desempenho das etapas do tratamento e, apesar das limitações, os testes dos precursores de THMs devem ser incluídos como parte integrante da avaliação dos processos de tratamento.

O conceito do potencial de formação não é limitado ao estudo dos precursores de THMs. Vários pesquisadores têm aplicado esse conceito para outros subprodutos da desinfecção, incluindo ácidos haloacéticos (AHAs) e haloacetonitrilas (HANs). O potencial de formação do total de compostos organohalogenados (PFTTOXs) também tem sido avaliado; entretanto, a maioria das pesquisas, até hoje, tem avaliado o potencial de formação dos trihalometanos [USEPA, 1999 (c)].

-
- a) Teste do Potencial de Formação do Total de Trihalometanos (PFTTHMs): este teste determina o potencial da MON em formar THMs sob condições de cloração relativamente extremas. O teste é feito através da medida da concentração dos THMs no momento da amostragem (Inst-THMs) e a concentração dos THMs após a amostra coletada ser sujeita à cloração (Term-THMs). O potencial de formação dos trihalometanos é definido como sendo a diferença entre Term-THMs e Inst-THMs, de acordo com a equação (2):

$$PFTTHMs = TermTHMs - InstTHMs \quad (Eq. 2)$$

Se a amostra não for clorada no momento da coleta, Inst-THMs deve ser zero ou próximo a zero. Se o cloro estiver presente durante a amostragem, a diferença entre Term-THMs e Inst-THMs torna-se PFTTHMs.

As condições de cloração para o teste do PFTTHMs incluem: tempo de contato de sete (7) dias, com cloro residual livre de 3 a 5 mg/L, no final do período de

contato; temperatura de contato de $25 \pm 2^\circ\text{C}$ e $\text{pH} = 7,0 \pm 0,2$ (com tampão fosfato) [STANDARD METHODS (1999) *apud* USEPA, 1999 (c)].

Entretanto, os pesquisadores têm medido o PFTTHMs usando uma larga variedade de condições de pH, dosagens de cloro e tempos de contato. Portanto, na metodologia do trabalho de pesquisa, é necessário relatar as condições em que foi medido esse potencial. Desta forma, comparações quantitativas diretas da redução do PFTTHMs durante as etapas do tratamento não podem ser feitas, se forem usadas diferentes condições de testes para determinar o PFTTHMs.

- b) Teste do Sistema de Distribuição Simulado (SDS): este teste é uma alternativa ao teste de PFTTHMs, usando condições de teste, tais como dosagem de cloro, tempo de contato e temperatura selecionadas para serem representativas das condições reais do sistema de distribuição [STANDARD METHODS (1999) *apud* USEPA, 1999 (c)]. Os testes SDS podem fornecer informações mais acuradas sobre as concentrações de THMs no sistema de distribuição e seus resultados também devem ser relatados com as condições de testes usadas para determiná-las.
- c) Teste das Condições de Formação Uniforme (CFU): o teste PFTTHMs retrata a formação dos THMs sob condições extremas. Como resultado dessas extremas condições de cloração, a distribuição das espécies de trihalometanos clorados e bromatados torna-se distorcida e, nem sempre, representa as condições operacionais das ETAs [SYMONS et al. (1993) *apud* USEPA, 1999 (c)]. O teste SDS não tem as limitações do teste PFTTHMs, desde que sejam usadas condições de cloração mais realistas; porém, o teste SDS feito em uma ETA não pode ser comparado ao de outra ETA devido às diferentes condições de cloração; então, o teste CFU foi proposto para superar estas limitações.

Como o teste SDS é específico para cada ETA, o teste CFU foi desenvolvido para tornar capaz a comparação direta da formação dos SPDs para diferentes águas, usando condições representativas dos sistemas de distribuição norte-americanos. O teste CFU é

conduzido nas seguintes condições: $\text{pH} = 8,0 \pm 0,2$; temperatura = $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e tempo de contato de 24 ± 1 h, com cloro residual, após 24 horas, de $1,0 \pm 0,4$ mg/L [SUMMERS et al. (1996) *apud* USEPA, 1999 (c)]. Estas condições foram desenvolvidas através da inspeção de 318 ETAs norte-americanas.

O teste CFU permite que a formação dos SPDs seja analisada sob condições de formação representativas, podendo-se comparar resultados de águas sob condições similares. Este teste também pode ser usado para analisar como as condições do tratamento afetam a formação dos SPDs e avaliar como a variação sazonal da qualidade da água pode interferir nessa formação.

Mesmo que os parâmetros substitutos aqui relatados — COT/COD, UV-254, AUV e PFTTHMs/SDS/CFU — apresentem limitações, eles possuem as seguintes qualidades: podem ser medidos rapidamente, não requerem equipamentos sofisticados ou treinamento especial dos operadores; permitem uma estimativa acurada do parâmetro alvo e são relativamente econômicos.

3.6. ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DA FORMAÇÃO DOS SPDs

Para que os sistemas de tratamento de água possam fornecê-la dentro dos padrões e abaixo do nível máximo contaminante (NMC) de 100 µg/L para o total de trihalometanos, deve existir um equilíbrio entre os métodos de desinfecção e a produção dos SPDs. Em 1983, a USEPA tinha identificado as melhores tecnologias e técnicas de tratamento para se alcançar esse objetivo. Os esforços para controlar a formação de SPDs, através da modificação de seus tipos e de suas concentrações estão focalizados em: selecionar e controlar o manancial; remover os precursores dos SPDs; otimizar o processo de tratamento com mudança do ponto de cloração e limitação do tempo de contato; selecionar desinfetantes alternativos e remover os SPDs formados. Na Figura 15, essas estratégias estão resumidas.

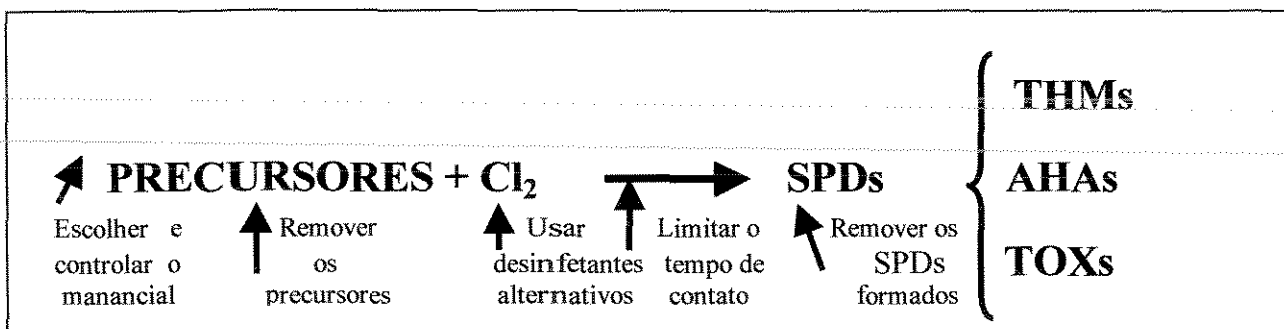


FIG. 15: Formação e técnicas de controle dos SPDs.

FONTE: HARMS, 1999, adaptado.

3.6.1. CONTROLE DO MANANCIAL

Segundo SYMONS et al. (1991) *apud* OLIVEIRA (2002), os responsáveis pelas ETAs deveriam considerar a possibilidade de monitorar a qualidade da água dos mananciais para diminuir a concentração de precursores de SPDs que chegam à ETA.

Várias pesquisas mostram que o crescimento de algas comanda a produção de precursores de SPDs (HOEHN et al., 1980; OLIVER & SHINDLER, 1980; WACHTER & ANDELMAN, 1984; KARIMI & SINGER, 1991).

Portanto, as medidas para minimizar as concentrações de precursores de SPDs nos mananciais incluem: controle do crescimento de algas e seus nutrientes, mudança da profundidade da coleta da água bruta, prevenção do avanço de águas salinas e seleção de mananciais alternativos contendo água de alta qualidade, ou seja, baixas concentrações de MON e de íon Br^- .

3.6.2. REMOÇÃO DOS PRECURSORES

Existem diversos métodos para se obter a remoção ou redução dos precursores dos subprodutos da desinfecção que estão nas águas naturais nas formas dissolvidas ou em suspensão.

3.6.2.1. Coagulação / Sedimentação

A coagulação é considerada como uma das etapas mais importantes de um sistema de tratamento de água de abastecimento, sendo dependente dos parâmetros da qualidade da água natural, tais como temperatura, pH, turbidez, cor verdadeira, alcalinidade, COT, entre outros.

A remoção da MON pela adição de coagulantes, em processos de tratamento convencionais, tem sido demonstrada por pesquisas em laboratórios, em estações piloto e em estações reais de tratamento de água. Inúmeros pesquisadores têm mostrado que o COT, usado como indicador de MON, exibe uma larga variedade de respostas ao tratamento por coagulação (KAVANAUGH, 1978; SEMMENS & FIELD, 1980; EDWARDS & AMIRTHARAJAH, 1985; EDZWALD et al., 1985; SINSABAUGH III et al., 1986; CHOWDHURY et al., 1994; SMITH et al., 1994; VRIJENHOEK et al., 1998).

No tratamento convencional, os precursores orgânicos dissolvidos devem ser convertidos para a forma coloidal, através da coagulação/floculação, a fim de serem removidos pela subseqüente sedimentação e filtração. De acordo com COLLINS et al. (1985), *apud* OLIVEIRA (2002), o tratamento convencional pode remover alguns precursores de THMs, pois a coagulação e a floculação afetam a quantidade e a reatividade da MON remanescente, antes da cloração, para a formação dos THMs.

O tratamento convencional remove os compostos orgânicos de alta massa molecular, enquanto o tratamento por CAG remove os de menor massa molecular, conforme estudos de SEMMENS & STAPLES (1986) e de JODELLAH & WEBER (1985) *apud* OLIVEIRA, (2002).

Com relação à influência da distribuição por massa molecular, EL HAILI & WEBER *apud* ISAAC (1993), observaram, ao trabalhar com misturas de ácidos húmicos, que as frações de massa molecular abaixo de 40.000 daltons são predominantemente responsáveis pela redução de THMs, durante a cloração (OLIVEIRA, 2002).

A coagulação pode ser realizada eficientemente através de dois mecanismos distintos: adsorção e varredura. A adsorção das espécies hidrolisadas solúveis causa a desestabilização das partículas coloidais; a varredura decorre do aprisionamento das partículas coloidais nos hidróxidos precipitados, sendo mais efetiva para a posterior sedimentação. Normalmente, o potencial de formação dos trihalometanos diminui cerca de 50%, quando a coagulação é realizada pelo mecanismo de varredura e acima de 90% pelo mecanismo de adsorção (EDWARDS & AMIRTHARAJAH (1985) *apud* RIBEIRO, 1998).

Os coagulantes usados para o tratamento de água de abastecimento incluem sais metálicos (sulfato de alumínio, sulfato férrico, cloreto férrico), sais metálicos polimerizados (cloreto de polialumínio) e polímeros orgânicos (catiônicos, aniônicos e não iônicos); esses coagulantes não só desestabilizam e aprisionam as partículas coloidais, como, também, removem a fração da MON presente na água natural.

- 1) **Remoção por Sulfato de Alumínio $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$:** na região de adsorção, os prováveis compostos de alumínio responsáveis pela coagulação são: $[\text{Al}_8(\text{OH})_{20}]^{+4}$, $[\text{Al}(\text{OH})]^{+2}$ e Al^{+3} e, na região de varredura, o principal responsável é o $[\text{Al}(\text{OH})_3]_s$, como pode ser visto na Figura 16.

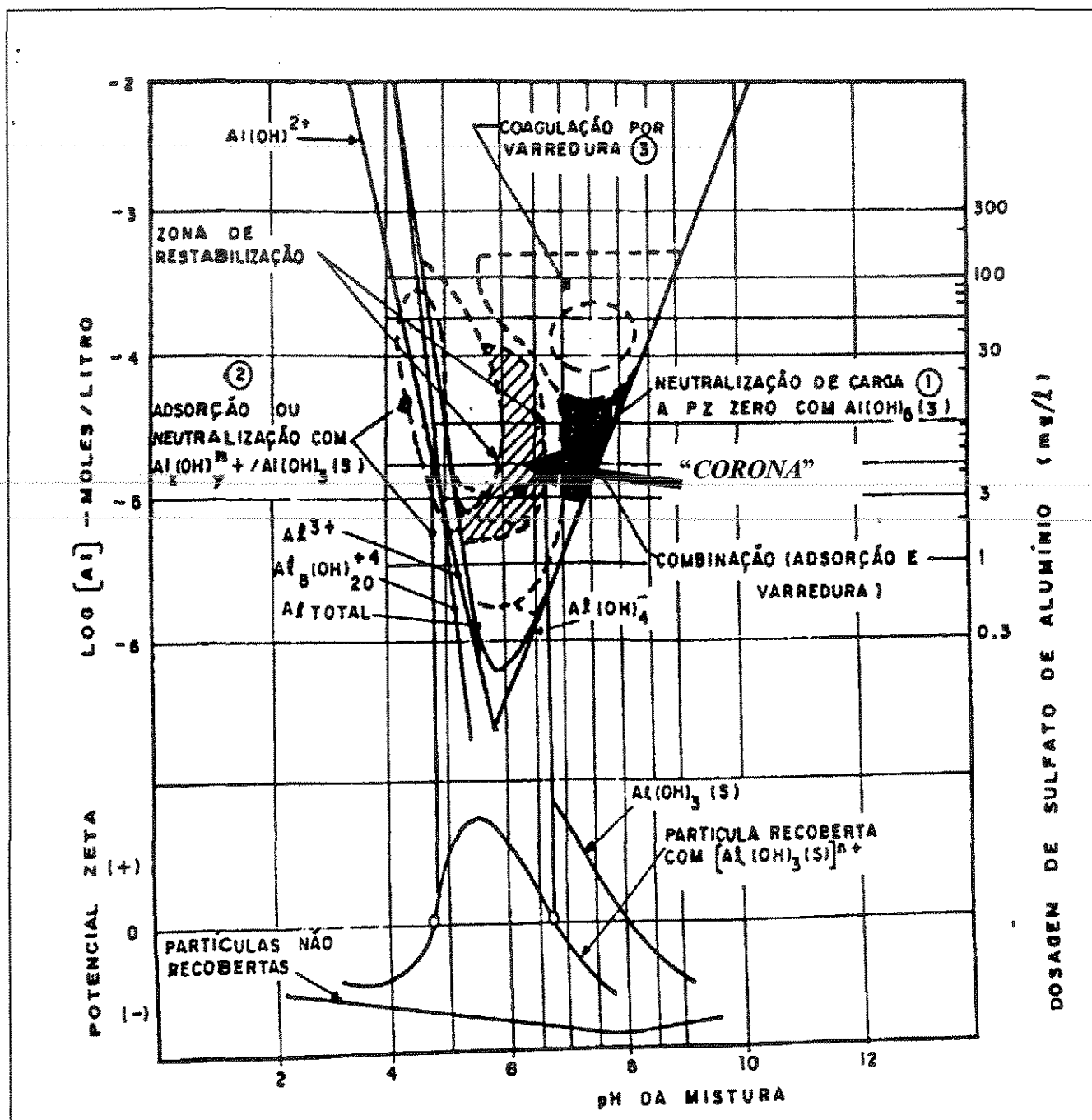


FIG. 16: Diagrama de projeto e operação para coagulação com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

FONTE: AMIRTHARAJAH & MILLS (1982) apud DI BERNARDO et al., 1987, adaptado.

Segundo HUBEL & EDZWALD (1987), a dosagem ótima de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ corresponde à mobilidade eletroforética próxima a zero. Para a remoção de substâncias húmicas, o pH ótimo de coagulação está entre 5,0 e 6,0, com formação de humatos de alumínio insolúveis; em pH igual a 5,5 e dosagens de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ entre 3,0 e 7,5 mg $(\text{Al}_2\text{SO}_4)_3/\text{L}$, os autores verificaram boa coagulação, concluindo que o mecanismo de neutralização de cargas é ideal para águas com COT inferior a 5 mg/L; em pH igual a 7,2 e dosagens de coagulante superiores a 10 mg $(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)/\text{L}$, houve aumento nos flocos, mas pequeno aumento na remoção das substâncias orgânicas.

Estudos de coagulação/floculação — chamados Testes dos Jarros — realizados por MENDES & DI BERNARDO (1990), usando $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ como coagulante, para águas com qualidade variável (Tabela 16), demonstraram que a região de adsorção é caracterizada por valores bem menores de pH e dosagem de coagulante que os da região de varredura; além disso, a faixa de valores dosagem de coagulante – pH final é mais estreita na região de adsorção em comparação com a da varredura, para a obtenção de resultados satisfatórios, como é apresentado na Tabela 16 e Figura 17.

TAB. 16: Resultados dos ensaios do Teste dos Jarros para águas com qualidade variável:
Tipo I: elevada turbidez (200 uT) e baixa cor (5 uC);
Tipo II: baixa turbidez (5 uT) e elevada cor (100 uC).
FONTE: MENDES & DI BERNARDO, 1990.

MECANISMO DE COAGULAÇÃO	ÁGUA TIPO I			ÁGUA TIPO II		
	pH	Dosagem de Coagulante (mg/L)	Turbidez Remanescente (% do valor inicial)	pH	Dosagem de Coagulante (mg/L)	Cor Remanescente (% do valor inicial)
Adsorção/Neutralização	4,8	10	18	4,4	20	28
Varredura	6,55	60	4,0	6,15	140	2,4

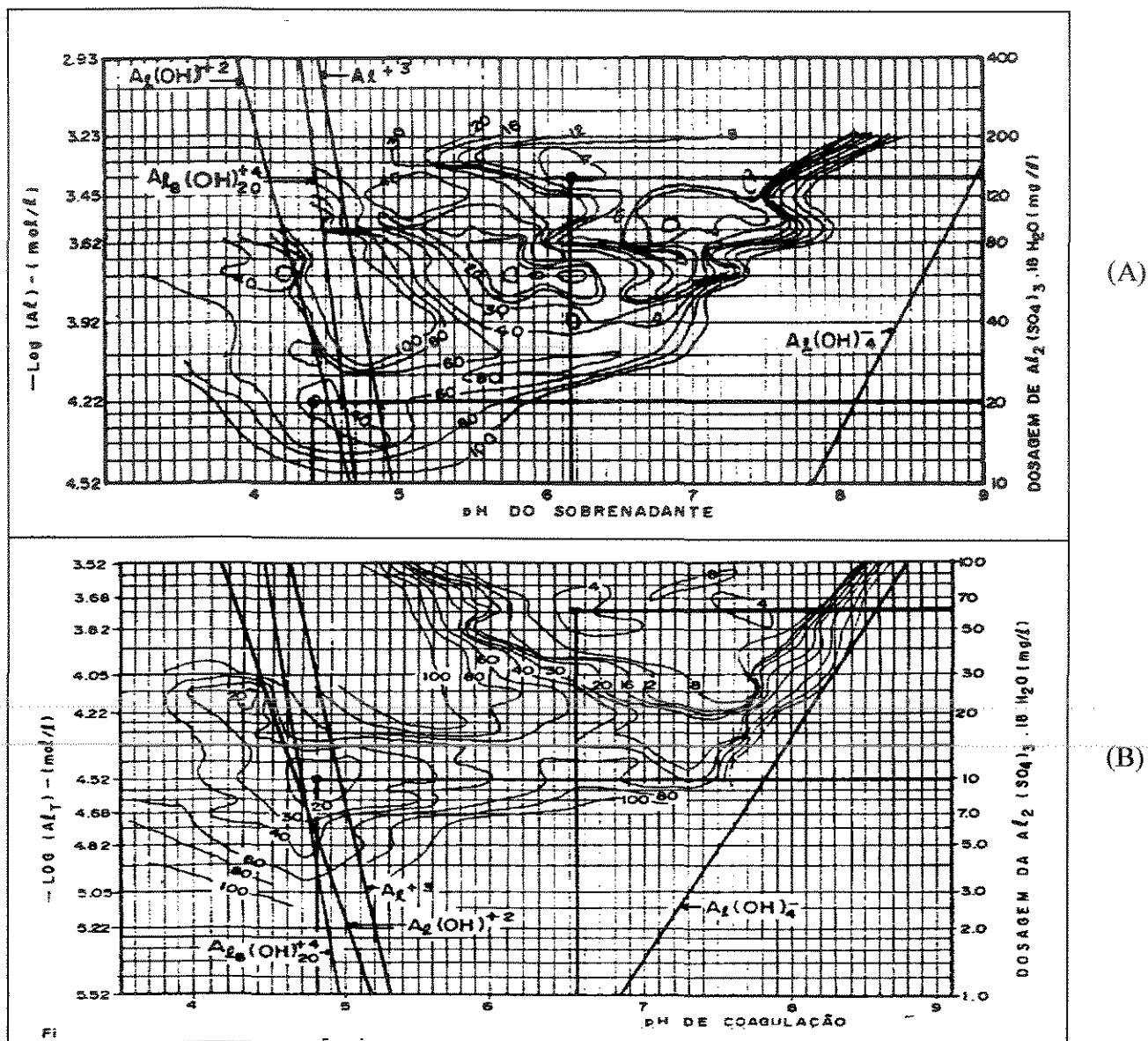


FIG. 17: Diagrama de coagulação para
 Água Tipo I: elevada turbidez (200 uT) e baixa cor (5 uC) (A) e
 Água Tipo II: baixa turbidez (5 uT) e elevada cor (100 uC) (B).
 FONTE: MENDES & DI BERNARDO, 1990.

Na Figura 18, são mostrados os resultados obtidos durante o estudo de coagulação de ácidos húmicos com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ para diferentes valores de pH; observa-se que são necessárias altas dosagens de coagulante na remoção dos ácidos húmicos para valores de pH superiores a 6,0. Os resultados dos Testes dos Jarros para determinar o PFTTHMs de uma água natural

demonstraram que as regiões de remoção dos precursores de THMs e de remoção de turbidez são similares, mas não idênticas (KAVANAUGH, 1978).

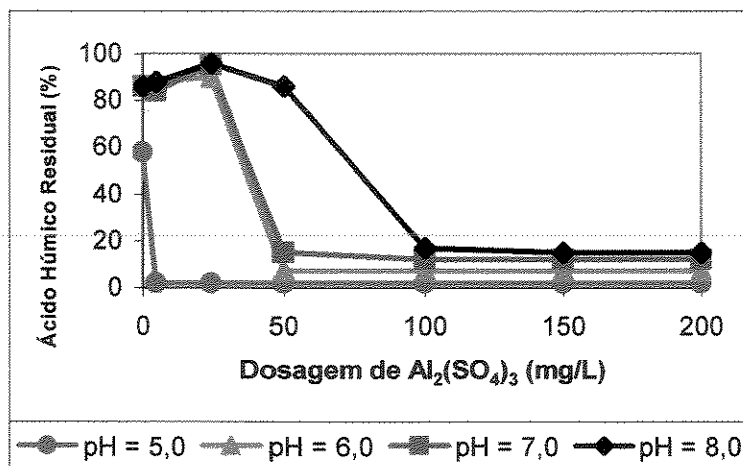


FIG. 18: Efeito do pH na coagulação de ácidos húmicos com $Al_2(SO_4)_3$.
FONTE: KAVANAUGH, 1978, adaptado.

SEMMENS & FIELD (1980) verificaram que, dependendo da qualidade da água, as regiões ótimas para a remoção dos precursores dos THMs foram similares às obtidas para a remoção do COT, ou seja, a máxima remoção ocorreu em valores de pH entre 5,0 e 5,3 com 100 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$, como mostrado na Figura 19, confirmando os resultados obtidos por KAVANAUGH (1978).

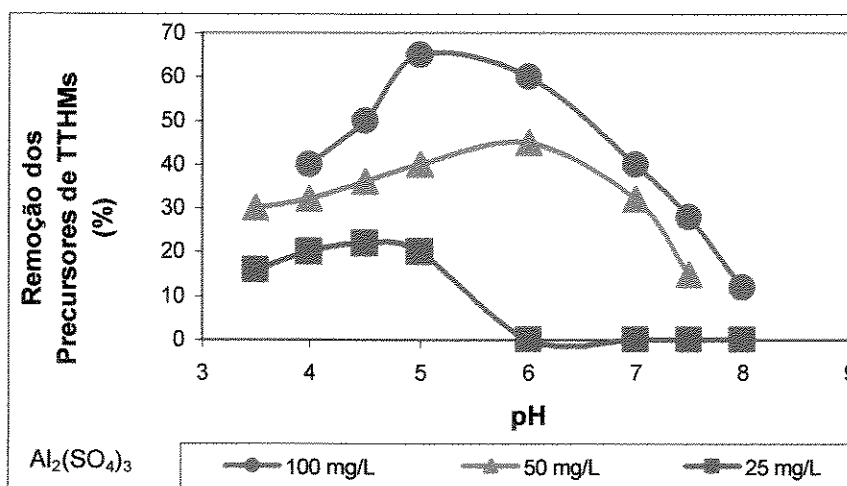


FIG. 19: Remoção dos precursores do TTHMs, em função do pH e da dosagem de $Al_2(SO_4)_3$.
FONTE: KAVANAUGH, 1978, adaptado.

A eficiência da sedimentação depende da concentração da solução de coagulante, principalmente se a coagulação ocorrer pelo mecanismo de varredura; para o mecanismo de adsorção-neutralização, a eficiência parece não ser afetada, já que os flocos produzidos não sedimentam facilmente, em comparação com o mecanismo de varredura, como pode ser visto na Figura 20.

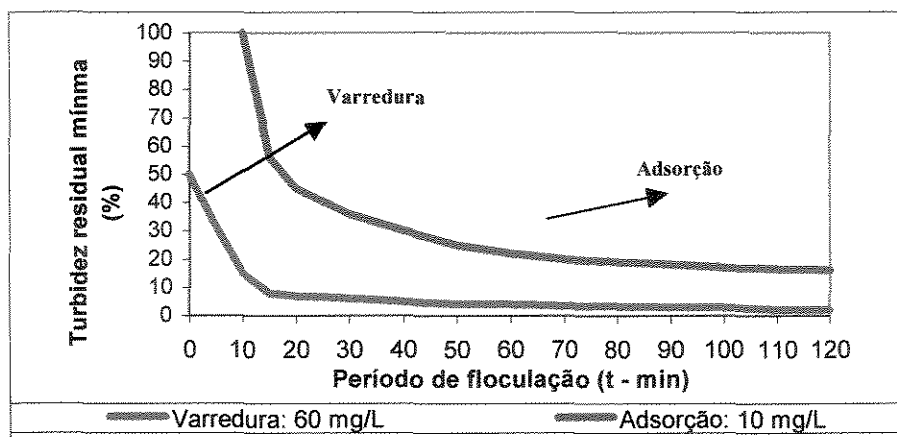


FIG. 20: Curva de variação da turbidez residual mínima, em função do período de floculação para os mecanismos de adsorção e varredura.

FONTE: DI BERNARDO *et al.*, 1987, adaptado.

- 2) **Remoções por Sais Férricos:** a cinética do íon ferro é semelhante à do alumínio, isto é, as espécies mono e polinucleares que se formam, dependendo do pH de coagulação, são responsáveis pelos mecanismos de adsorção-neutralização e varredura (DI BERNARDO & MENDES, 1990).

De acordo com BELL *et al.* (1996) *apud* SHORNEY & FREEMAN (1997), comparando as eficiências do sulfato de alumínio e dos coagulantes férricos, verificou-se que:

- Os sais férricos alcançaram maior remoção dos precursores do que o sulfato de alumínio;
- Geralmente, o pH ótimo de coagulação dos sais férricos é 0,5 a 1,0 unidade de pH menor do que o do sulfato de alumínio;
- O cloreto férrico (FeCl_3) remove, preferencialmente, a fração orgânica de ácidos húmicos com alto peso molecular.

O cloreto férrico também é muito efetivo na remoção de matéria orgânica natural. DRYFUSE et al. (1995) *apud* OLIVEIRA (2002), otimizaram a remoção de COT utilizando a coagulação com FeCl_3 em escala de laboratório para três águas de origem distintas. A remoção do COD variou de 46 a 71% e a remoção do PFTTHMs foi maior, variando de 59 a 90%. A coagulação com FeCl_3 removeu, preferencialmente, as frações húmicas de compostos orgânicos com maior massa molecular.

Segundo DE PÁDUA & DI BERNARDO (2001), o cloreto férrico possibilita a produção de água decantada de melhor qualidade com dosagens relativamente menores que as de sulfato de alumínio, principalmente quando a água bruta apresenta alcalinidade e valores de pH mais elevados.

As hipóteses para explicar a diferença de comportamento do sulfato de alumínio e cloreto férrico incluem: o cloreto férrico apresenta cerca de duas vezes mais carga positiva por peso seco de coagulante que o sulfato de alumínio; o maior consumo de alcalinidade e, conseqüentemente, maior redução do pH, para dosagem similar à do sulfato de alumínio, favorece a remoção de substâncias húmicas, além das diferenças quanto à superfície específica, densidade dos flocos resultantes e afinidade entre os hidróxidos dos metais dos coagulantes e as impurezas removidas.

Uma grande remoção de MON foi observada na coagulação de águas superficiais, como indicado na Tabela 17.

TAB. 17: Porcentagens de remoção de MON observadas com várias dosagens de coagulantes e valores de pH, para diferentes amostras de água bruta.

FONTE: COMMITTEE REPORT (Journal AWWA, 1979).

AMOSTRA		COAGULANTE		pH	REMOÇÃO (%)
TIPO	CONCENTRAÇÃO (mg/L)	TIPO	DOSAGEM (mg/L)		
Ac. Húmico	10	Al ₂ (SO ₄) ₃	37	6,0	85
Ac. Húmico	10	Al ₂ (SO ₄) ₃	37	7,0	65
Ac. Húmico	10	Al ₂ (SO ₄) ₃	37	8,0	40
Ac. Húmico	10	FeCl ₃	6,2	6,0	50
Ac. Húmico	10	FeCl ₃	6,2	7,0	38
Ac. Húmico	10	FeCl ₃	6,2	8,0	35
Ácido Himatomelânico	15	Al ₂ (SO ₄) ₃	37	5,0	95
Ácido Himatomelânico	15	Al ₂ (SO ₄) ₃	37	6,0	75
Rio Reno	29 ⁽¹⁾	Al ₂ (SO ₄) ₃	37	6,0	50
Rio Reno	29 ⁽¹⁾	Al ₂ (SO ₄) ₃	37	8,0	23
Rio Reno	29 ⁽¹⁾	FeCl ₃	6,2	6,0	50
Rio Reno	29 ⁽¹⁾	FeCl ₃	6,2	8,0	25
Ac. Fúlvico	25	Al ₂ (SO ₄) ₃	150	6,0	85
Ac. Fúlvico	25	Al ₂ (SO ₄) ₃	150	7,0	75
Ac. Húmico	25	FeCl ₃	50	5,5	90
Ac. Húmico	25	FeCl ₃	50	7,0	66
Rio Mississippi	29 ⁽¹⁾	Al ₂ (SO ₄) ₃	50	5,5	70
Rio Mississippi	20 ⁽²⁾	Al ₂ (SO ₄) ₃	50	7,0	50
Rio Mississippi	20 ⁽²⁾	Al ₂ (SO ₄) ₃	50	8,0	20
Ac. Húmico	5	Al ₂ (SO ₄) ₃	20	6,0	85
Ac. Húmico	10	Al ₂ (SO ₄) ₃	50	6,0	94
Ac. Húmico	20	Al ₂ (SO ₄) ₃	75	6,0	91

(1): COD

(2): COT

AMIRTHARAJAH et al. (1993) realizaram um estudo sobre a otimização da coagulação com cloreto férrico para remover matéria orgânica dissolvida (MOD) e precursores de THMs, com caracterização das massas moleculares, antes e após a coagulação. Na Figura 21, são mostradas as características gerais associadas com a região de remoção de MOD por FeCl₃ para a água do *Suwanee River*, contendo baixa turbidez e concentração de carbono orgânico de 40 mg/L.

- (1): **Banda Superior – Superdosagem:** baixo pH final, alta dosagem de coagulante, pequenos flocos filtráveis, precipitação lenta, restabilização de cargas, MOD removida com peso molecular de 750 daltons. A remoção ocorre por formação de precipitados Fe-MOD e por adsorção nas espécies hidrolisadas de Fe. A superdosagem causa restabilização de cargas.
- (2): **Região Efetiva de Remoção de MOD:** > 80% com 10 – 20 mg/L de FeCl_3 e pH = 5,5.
- (3): **Banda Inferior – Subdosagem:** alto pH final, baixa dosagem de coagulante, grandes flocos sedimentáveis, precipitação rápida, MOD removida com peso molecular de 1000 daltons. A remoção ocorre por aprisionamento nos hidróxidos sólidos que precipitam.

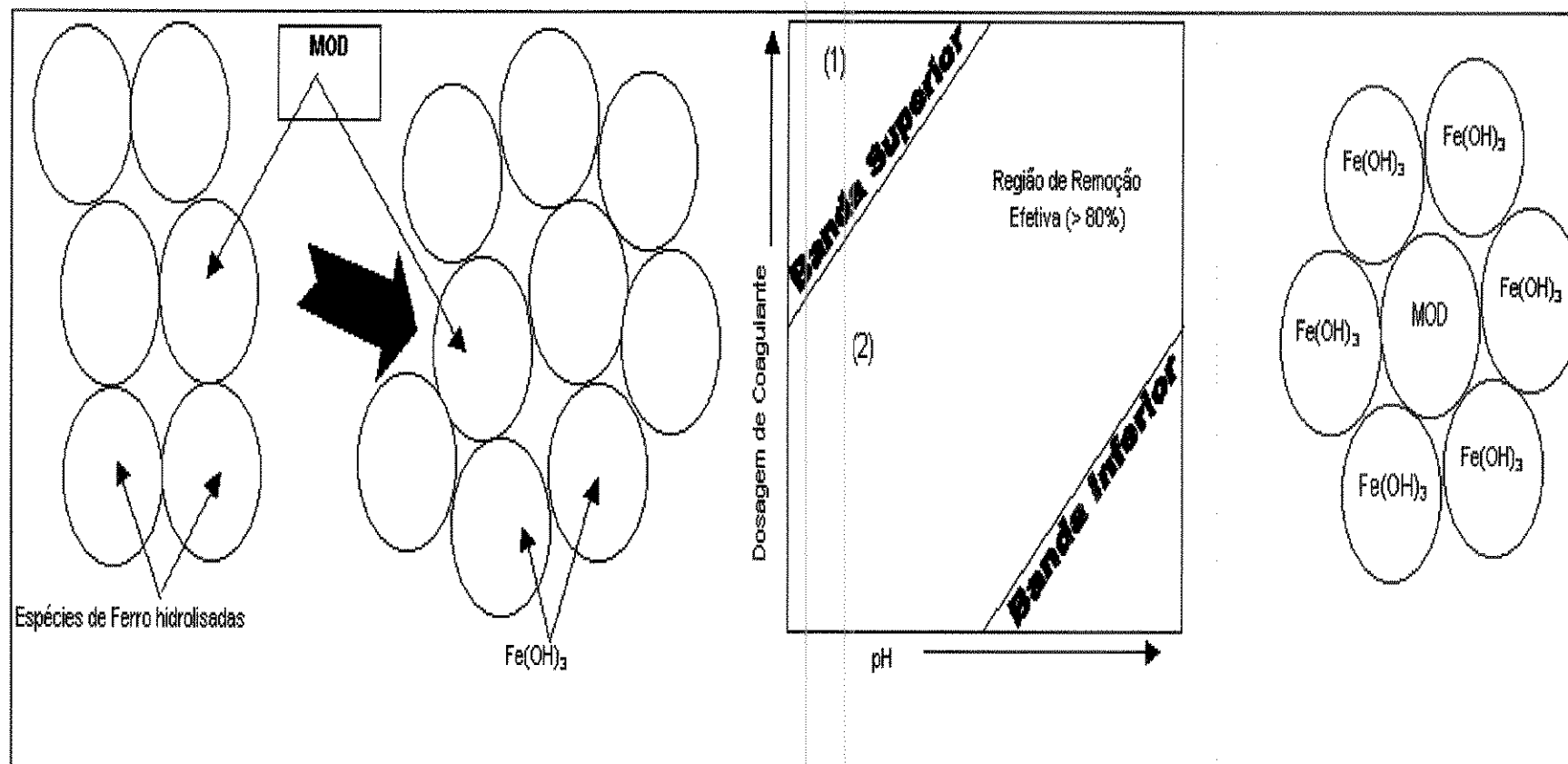


FIG. 21: Características associadas à região de remoção de MOD por FeCl_3 .

FONTE: AMIRTHARAJAH *et al.*, 1993, adaptado.

- 3) **Remoção por Cloreto de Polialumínio (CPA):** o CPA é um coagulante metálico parcialmente hidrolisado preparado por adição de uma base ao coagulante para “pré-formar” espécies de alumínio polimerizadas, que são mais efetivas na remoção da MON, especialmente de alto peso molecular, em qualquer faixa de pH. O CPA remove mais de 50% de ácidos húmicos e fúlvicos, com dosagem de 50 mg/L (SHORNEY & FREEMAN, 1997).
- 4) **Remoção por Auxiliares de Coagulação e Polímeros:** de acordo com HUBEL & EDZWALD (1987), a adição de polímeros de alto peso molecular como auxiliares à coagulação com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ aumentou a remoção da turbidez, mas não a remoção de precursores. A utilização de polímeros catiônicos de alta densidade de carga como coagulante principal acompanhado de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ como auxiliar de coagulação propiciou boas reduções de precursores com 22,5 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.
- 5) **Remoção por Coagulação Otimizada:** aqui, o termo “coagulação otimizada” refere-se ao processo de melhoria de remoção dos precursores de SPDs em uma ETA convencional. Esse termo é usado, quando a dosagem de coagulante é maior do que a usada para a remoção da turbidez. Segundo a USEPA, é o método menos custoso e o mais efetivo na remoção dos precursores dos SPDs e para prevenir a formação de SPDs adicionais.

A coagulação otimizada pode ser obtida por aumento da dosagem de coagulante, diminuição do pH de coagulação ou a combinação de ambos. Na Tabela 18, estão resumidas as porcentagens de remoção do COT necessárias para a aplicação da coagulação otimizada. Esta tabela está baseada em inúmeros resultados obtidos em escala de bancada, escala-piloto e escala real, levando-se em consideração que a remoção do COT torna-se mais difícil com o aumento da alcalinidade; em águas com altas alcalinidades, a diminuição do pH para a região onde a remoção do COT é ótima (5,5 – 6,5) é mais difícil e não pode ser obtida somente com a adição de coagulante. Portanto, dependendo da alcalinidade da água bruta, os sais de alumínio e ferro têm a capacidade de reduzir o pH, aumentando a remoção de MON, sem a adição de ácidos ou bases (CHOWDHURY et al., 1994).

TAB. 18: Remoção de COT necessária para a aplicação da coagulação otimizada em ETAs que usam tratamento convencional.
FONTE: USEPA, 1999 (c), adaptado.

MANANCIAL COT (mg/L)	ALCALINIDADE DO MANANCIAL (mg/L como CaCO_3)		
	0 – 60	> 60 – 120	> 120
> 2,0 – 4,0	35%	25%	15%
> 4,0 – 8,0	45%	35%	25%
> 8,0	50%	40%	30%

O simples aumento da dosagem de coagulante pode ser cara e não realista. Testes de bancada (Teste dos Jarros) sempre são usados para determinar a estratégia da coagulação otimizada e as opções de uso entre os coagulantes, além de avaliar as várias alternativas para se obter a remoção percentual de COT desejada.

KAVANAUGH (1978), através do Teste dos Jarros nas condições da coagulação otimizada, verificou que o COT diminuiu para 0,5 – 2,0 mg/L, com remoção seletiva dos precursores de THMs. Para a remoção de 80%, os ácidos fúlvicos necessitaram, aproximadamente, o dobro da dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ do que os ácidos húmicos, como pode ser visto na Figura 22.

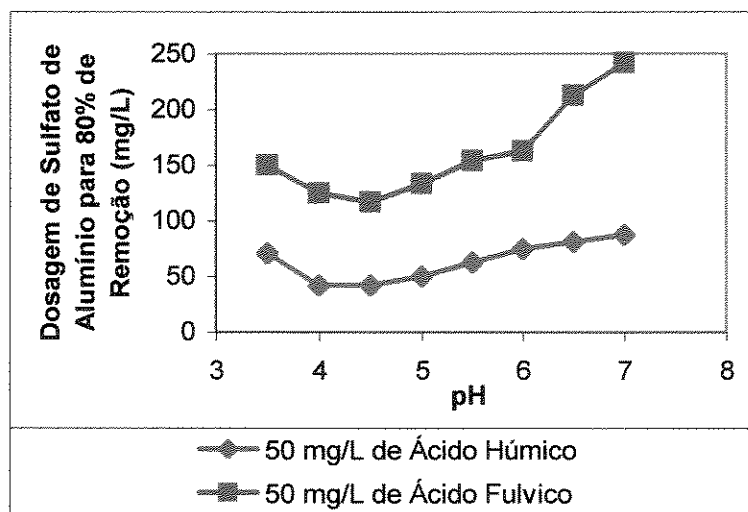


FIG. 22: Comparação das dosagens de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ requeridas para a remoção das concentrações de ácidos húmicos e fúlvicos, em massas equivalentes.
FONTE: KAVANAUGH, 1978, adaptado.

EDWARDS & AMIRTHARAJAH (1985) estudaram a remoção de cor por coagulação otimizada, através do Teste dos Jarros. A remoção ótima de cor ocorreu em valores de pH entre 4,5 – 5,75 com dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ entre 12 – 30 mg/L; em valores de pH superiores a 5,75, a remoção ocorreu por coagulação no mecanismo de varredura e, em valores de pH inferiores a 5,75, no mecanismo de adsorção. Outro resultado interessante dos ensaios foi que, em pH igual a 5,0, existe uma relação estequiométrica entre a concentração de ácido húmico inicial e a dosagem ótima de coagulante e, em pH igual a 7,0, essa relação estequiométrica não existe, conforme pode ser visto na Figura 23.

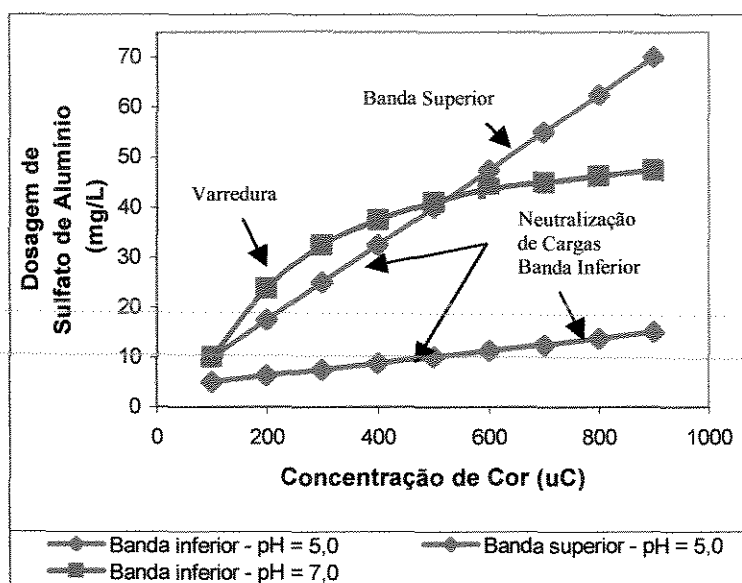


FIG. 23: Relações estequiométrica e não estequiométrica para as regiões de remoção de cor.
FONTE: EDWARDS & AMIRTHARAJAH, 1985, adaptado.

Segundo MENDES & DI BERNARDO (1990), a coagulação de águas contendo turbidez e/ou substâncias húmicas, pelo mecanismo de varredura, apresentou uma relação não estequiométrica entre a concentração de partículas coloidais e a dosagem de coagulante. O aumento da concentração de substâncias húmicas não foi acompanhado, obrigatoriamente, do aumento da dosagem ótima de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, desde que existisse uma concentração mínima de partículas causadoras de turbidez (superior a 5 uT). Águas contendo substâncias húmicas, cujos valores de cor verdadeira foram superiores a 20 uC, puderam ser tratadas com maior facilidade e até com 20 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, se o teor de partículas causadoras de turbidez, na água bruta, fosse de 50 uT.

De acordo com SMITH et al. (1994), a coagulação otimizada é mais efetiva para remover os precursores de SPDs halogenados, pois remove mais COD e PFTTHMs.

VRIJENHOEK et al. (1998) estudaram as águas do rio Colorado (CRW) e do projeto Califórnia (PCW), através de ensaios em escala piloto, para verificar a remoção dos precursores de THMs por coagulação otimizada em pH igual a 5,5 e em pH igual a 7,0. A remoção mais eficiente dos precursores de THMs foi obtida em pH igual a 5,5; nesse pH, as substâncias húmicas foram removidas por neutralização de cargas com baixas dosagens de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$; em pH igual a 7,0, a remoção se dá pelo mecanismo de varredura com dosagem de coagulante superior a 50 mg/L, como mostra a Figura 24.

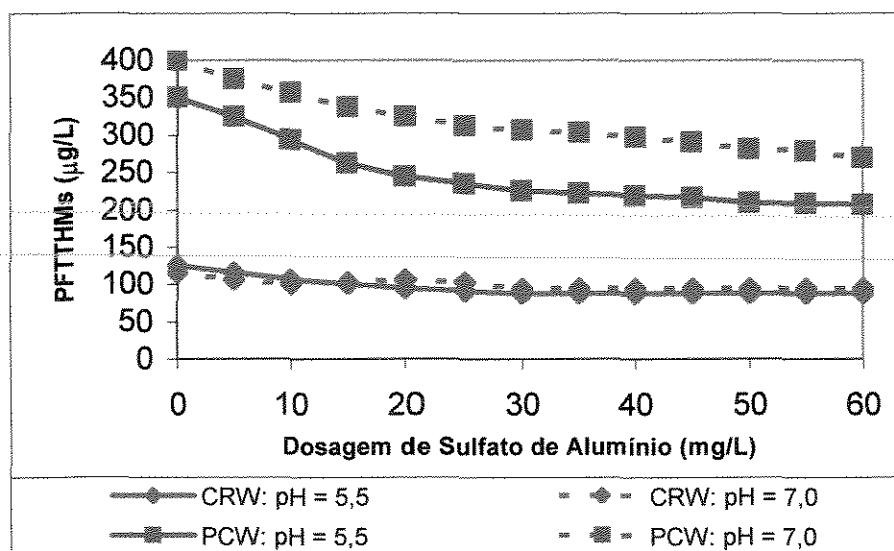


Fig. 24: Potencial de formação do total de TTHMs na água filtrada, em função da dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

FONTE: VRIJENHOEK et al., 1998, adaptado.

3.6.2.2. Coagulação Otimizada / Filtração Direta

Nos países em desenvolvimento, há uma crescente demanda por tecnologias alternativas ao tratamento convencional de águas de abastecimento (coagulação química, floculação e decantação), devido aos elevados custos de construção e operação sofisticada. Uma das soluções alternativas é a tecnologia de filtração direta da água coagulada quimicamente.

A otimização dos processos de coagulação seguida de filtração direta com relação à eficiência de remoção de matéria orgânica natural, principalmente de substâncias húmicas, tem estado em foco em vários países, nos últimos anos. A maior motivação está relacionada à remoção de cor, de odor, de sabor, de SPDs conhecidos e desconhecidos, de crescimento biológico no sistema de distribuição e de micropoluentes associados a MON. Desta forma, a formação de SPDs conhecidos e desconhecidos pode ser controlada [USEPA, 1999 (a)].

A filtração direta ascendente é um processo que tem sido empregado em sistemas de tratamento de águas de abastecimento, desde o século XIX, em diversos países europeus. No Brasil, é crescente o número de sistemas de tratamento que empregam esse processo, quando a água bruta é proveniente de mananciais superficiais que apresentam turbidez e cor geralmente baixas, durante muitos meses do ano. Quando a água bruta apresenta teores moderados de sólidos em suspensão, é preferível optar-se pelos processos da filtração direta ascendente, onde a capacidade de armazenamento de sólidos é consideravelmente aumentada, não só devido à ação efetiva de toda a camada de areia, que possui porosidade decrescente, como também pela presença da camada de pedregulho, onde pode ocorrer a floculação e retenção de grande parte das partículas presentes no afluente (DE PÁDUA & DI BERNARDO, 2001; DI BERNARDO & MENDES, 1985).

Quando a água pode ser tratada tanto por filtração direta quanto por ciclo completo, a primeira tecnologia apresenta como vantagens o menor custo de implantação e de operação; além disso, na filtração direta são utilizadas dosagens menores de coagulantes destinados à coagulação da água com produção de menor volume de lodo, o que torna menos oneroso seu tratamento e disposição final.

Diversos autores têm verificado que existe um tamanho crítico, da ordem de 1 μm , para o qual se têm as condições mais desfavoráveis para a filtração em meio granular, devido à ineficiência dos mecanismos de transporte responsáveis por conduzir as partículas até os grãos coletores dos filtros, acarretando evolução da perda de carga nas unidades de filtração. Partículas com tamanho inferior a 1 μm são eficientemente transportadas por difusão browniana até a superfície dos grãos que constituem o filtro e mantêm-se aderidas a ela, desde que estejam desestabilizadas. De acordo com WIESNER et al. (1987) *apud* DE PÁDUA & DI BERNARDO (2001), uma água bruta contendo 10 mg/L de partículas com diâmetro médio de 3,82 μm pode ser tratada por filtração direta sem floculação, por um custo inferior ao necessário para tratar uma água com metade daquela concentração, mas com partículas cujo diâmetro médio é de 0,59 μm . Assim, dependendo das características da água bruta, muitas vezes o projeto de unidades de floculação antecedendo a filtração direta é recomendada, apesar de aumentar os custos de construção das ETAs, pois a floculação pode possibilitar a diminuição dos custos operacionais em decorrência do aumento da duração das carreiras de filtração e facilitar a produção de água com melhor qualidade.

CLEASBY (1990) *apud* DE PÁDUA & DI BERNARDO (2001), aponta que a floculação permite melhorar a qualidade da água filtrada antes da ocorrência do transpasse, reduzir o período inicial para melhoria da qualidade da água logo que o filtro é recolocado em operação e diminuir a perda de carga. Ainda, segundo o autor, quando se emprega a filtração direta precedida da floculação, é recomendado que estas unidades sejam projetadas com baixo tempo de detenção (10 min) e com elevado gradiente de velocidade (de até 100 s^{-1}). Por outro lado, DI BERNARDO (1993) apresenta resultados mostrando que a ocorrência do transpasse está associada à coagulação da água no mecanismo de varredura, o que é inadequado, quando se emprega a filtração direta.

De acordo com DI BERNARDO et al. (1987), uma metodologia simples para a obtenção do pH de coagulação e que reproduz a filtração direta ascendente é o emprego de papel de filtro *WHATMAN 40*, para a água coagulada no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas.

Não obstante a existência de indicações quanto à economia de coagulantes na filtração direta ascendente, as dosagens de produtos químicos estão intimamente relacionadas com o mecanismo de desestabilização das partículas coloidais presentes na água bruta, constituindo um problema crítico na operação de sistemas de filtração direta, pois a eficiência da filtração depende, fundamentalmente, da coagulação. Neste caso, a coagulação otimizada é feita pela adição de sulfato de alumínio, cloreto férrico ou cloreto de polialumínio em dosagens inferiores à dosagem ótima determinada nos ensaios de floculação; na prática, tem-se encontrado dosagens inferiores a 30% da dosagem ótima determinada nos Testes dos Jarros para se obter os melhores resultados durante a filtração direta. Ensaios realizados por SHULL, em “Crum Creak” (EUA) mostraram que, diminuindo a dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de 13,7 para 8,5 mg/L, a turbidez da água filtrada foi reduzida de 0,17 para 0,09 uT (DI BERNARDO & MENDES, 1985).

De acordo com HUBEL & EDZWALD (1987), a importância da neutralização de cargas com sulfato de alumínio, em pH = 5,5, é para o tratamento de águas com baixa concentração de COT, onde são requeridas baixas dosagens de coagulantes para ótima remoção de precursores e com menor produção de lodo, indicando aplicação para filtração direta, onde a minimização dos sólidos produzidos é crítica para manter a carreira de filtração.

Segundo MENDES & DI BERNARDO (1990), a operação de filtração direta deve ser executada após a coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas, na região denominada “corona” (Figura 16). O objetivo do coagulante é neutralizar a carga negativa das substâncias húmicas para a formação de microflocos hidrolisados compactos, de pequeno volume, que possam ser filtrados diretamente e onde essas substâncias ficam adsorvidas. O coagulante também assegura que esses flocos possam ser transportados até os grãos de areia do filtro, onde ficam retidos. No caso de partículas coloidais responsáveis pela turbidez presente nas águas naturais, a coagulação por adsorção ocorreu numa faixa de valores de pH entre 5,0 e 7,0, com os limites da zona de dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ variando diretamente com a concentração e área das partículas coloidais. Os mecanismos de coagulação da cor aparente e cor verdadeira são semelhantes aos responsáveis pela coagulação das partículas que causam turbidez (AMIRTHARAJAH & MILLS (1982) *apud* DI BERNARDO & MENDES, 1985).

Os dois fatores mais importantes para se obter a coagulação otimizada/filtração direta são: dosagem de coagulante e pH de coagulação. Pode-se admitir que o pH é o principal parâmetro de coagulação, pois não há necessidade de produção do precipitado $\text{Al}(\text{OH})_3$ para a desestabilização. Utilizando $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ com dosagens entre 1 e 30 mg/L, em valores de pH compreendidos entre 5,0 e 7,0, DI BERNARDO & MENDES (1985) obtiveram resultados satisfatórios na filtração direta, em instalação piloto localizada em São Carlos (ETASC – Brasil). Na filtração direta ascendente, independentemente da taxa de filtração, foram obtidos efluentes de qualidade excelente e carreiras de filtração mais longas, quando foram utilizadas menores dosagens de coagulante; resultados semelhantes foram obtidos para outros ensaios. Na filtração direta, EDZWALD et al. *apud* HUBEL & EDZWALD (1987) conseguiram 60% de remoção do total de THMs com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

O cloreto de polialumínio é preferido sobre o sulfato de alumínio, principalmente para águas com baixa alcalinidade, pois seu consumo é menor. Porém, a maior dificuldade no que se refere à qualidade da água está relacionada com a concentração de alumínio, após a filtração. Por isso, há um interesse maior no uso do cloreto férrico, especialmente em ETAs que usam carbonato de cálcio (calcáreo – CaCO_3) como meio filtrante para o controle da corrosão (EIKEBROKK, 1999).

Polímeros sintéticos catiônicos também podem ser usados para a coagulação otimizada. Segundo HUBEL & EDZWALD (1987), esses polímeros podem ser aplicados em águas com baixa turbidez e concentrações de COT inferiores a 5,0 mg/L, obtendo-se remoção de 40% do PFTTHMs; estudos realizados por esses pesquisadores demonstraram que $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ conseguiu remover 50% a mais de matéria orgânica do que os polímeros catiônicos aplicados sozinhos, mas produziu quantidade de sólidos em suspensão suficiente para causar curtas carreiras de filtração.

Experiências realizadas com o biopolímero catiônico “*citosan*” provaram que o mesmo era efetivo em baixas dosagens (cerca de 1,0 mg/L), tanto se usado sozinho, como combinado com um coagulante metálico; porém, seu custo não é competitivo com o dos sais metálicos. Os coagulantes devem ser competitivos em relação à água produzida, mesmo com o uso de filtro de

camada única, ou seja, produzindo menor quantidade de lodo, pode-se obter carreiras de filtração mais longas (ODEGAARD et al., 1999).

Estão em uso várias configurações diferentes de filtros ascendentes, mas os dominantes são os filtros de dupla camada (antracito/areia). A taxa de filtração é determinada pela carreira de filtração e se é ou não usado polímero auxiliar de floculação, pois o uso do polímero auxiliar prolonga, consideravelmente, a carreira de filtração; experimentos feitos com águas coloridas na faixa de 25 – 45 uC, forneceram a relação empírica, de acordo com a equação (3) (EIKEBROKK & FETTIG (1990) *apud* ODEGAARD et al., 1999):

$$T_f = \frac{K_1}{V_f} - 4,5 \quad (\text{EQ. 3})$$

onde: T_f = carreira de filtração (h); V_f = taxa de filtração (m/h); $K_1 = 80$ para uso de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ somente; $K_1 = 180$ para uso de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ com 0,1 mg/L de polímero auxiliar

Geralmente, a taxa de filtração para filtros de dupla camada, com o uso de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ é menor que 8 m/h ($192 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$) e, com o uso combinado de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e polímero auxiliar, é menor que 16 m/h ($384 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$). A retrolavagem é feita com taxas da ordem de 30 – 70 m/h, suficiente para a expansão de 30% do leito filtrante; ela pode ser feita, por exemplo, com injeção de água para lavagem por 4 – 8 minutos, seguida por injeção de ar por 1 – 2 minutos e por outra lavagem com água por poucos minutos.

As substâncias húmicas têm várias características que influenciam o processo de remoção; todas as substâncias húmicas são grandes moléculas orgânicas carregadas negativamente, o que as torna removíveis por coagulação otimizada/filtração direta. Como as substâncias húmicas contribuem para a cor da água, a relação cor /COD (ou UV/COD) indica a fração dominante na água e, conseqüentemente, a habilidade em coagular. Experiências realizadas com águas norueguesas (baixa turbidez, baixa alcalinidade e fortemente coloridas) obtiveram eficiências de remoção na faixa de 75 – 90% para a cor e 40 – 70% para o carbono orgânico (ODEGAARD et al., 1999; EIKEBROKK, 1999), conforme mostrado na Tabela 19.

TAB. 19: Experiências operacionais norueguesas em ETAs para remoção de substâncias húmicas em água bruta com cor variando de 35 a 50 uC.
FONTE: ODEGAARD et al., 1999, adaptado.

COR FINAL (uC = unidades colorimétricas): mg Pt/L	PROCESSO CONVENCIONAL	COAGULAÇÃO / FILTRAÇÃO DIRETA		FILTRAÇÃO POR MEMBRANA	TROCA IÔNICA
		Convencional	CaCO ₃		
< 5	50%	53%	80%	57%	40%
5 - 10	37%	41%	20%	33%	20%
10 - 20	13%	6%	0%	10%	40%
Eficiência média de remoção de cor (%)	90 ± 8	85 ± 10	91 ± 4	86 ± 15	51 ± 27

A relação 5 – 10 mg Pt/mg C é considerada favorável e, em muitos casos específicos, dosagens entre 0,3 – 0,6 mg Al/mg C ou 0,03 – 0,06 mg Al/mg Pt são típicas [EIKEBROKK (1996) *apud* ODEGAARD et al., 1999].

Estudos feitos por EDZWALD et al. (1985), em escala de bancada e em escala piloto, revelaram que existe variação sazonal na concentração do COT e do PFTTHMs, sendo maior no verão e menor no inverno. A estação piloto de tratamento por filtração direta trabalhou sob várias condições de operação, ou seja, diversos valores de pH, diferentes taxas de filtração e dois coagulantes: Al₂(SO₄)₃ e polímero catiônico. O polímero catiônico usado sozinho, em pH igual a 7,0 removeu 40% do COT e PFTTHMs e 5% do UV, sendo que a relação UV/COT foi reduzida para 3,1. Maiores porcentagens de remoção foram obtidas com Al₂(SO₄)₃ em valores de pH entre 5,5 – 6,0, isto é, 55 – 60% do COT e PFTTHMs e 70 – 75% do UV, sendo que a relação UV/COT foi reduzida para 2,6. As correlações entre UV-254, COT e PFTTHMs foram excelentes. Mesmo com maior remoção do UV do que COT e PFTTHMs, o UV estava linearmente correlacionado com estas variáveis (Figura 25).

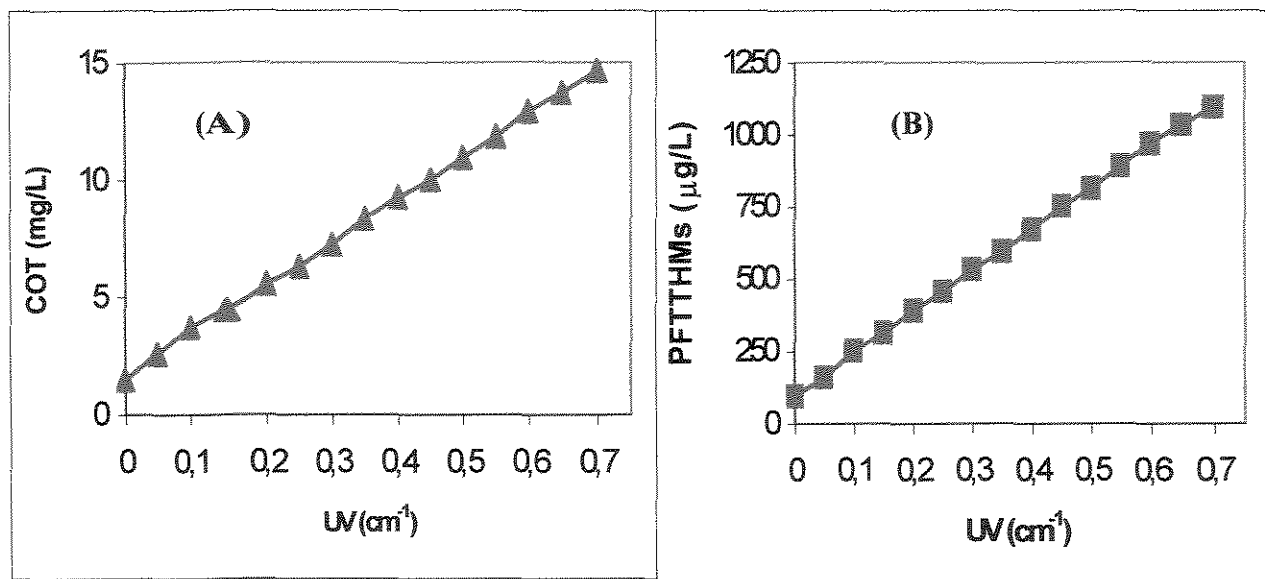


FIG. 25: Correlações entre COT e UV-254 (A) e PFTTHMs e UV-254 (B) para águas naturais e tratadas por filtração direta.
Fonte: EDZWALD et al., 1985, adaptado.

TATE & TRUSSELL (1980) avaliaram a eficiência da filtração direta para a remoção de cor de águas superficiais australianas que tinham baixa turbidez e de moderada a alta coloração. A coagulação foi feita com 10,0 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e 1,0 mg/L de polímero catiônico como auxiliar de coagulação. A filtração direta foi capaz de remover a maior parte da cor da água natural, em várias condições de operação; enquanto a cor da água natural era 30 – 40 uC, a cor da água filtrada, sob todas as condições de operação, foi menor que 10 uC, sendo, freqüentemente, da ordem de 5 uC (Figura 26). A filtração direta também produziu outras melhorias na qualidade da água, ou seja, reduziu a turbidez de 2,5 para 0,2 uT e reduziu a quantidade de ferro e manganês de 0,08 e 0,13 mg/L, respectivamente, para menos de 0,05 mg/L desses dois constituintes inorgânicos que também provocam coloração às águas.

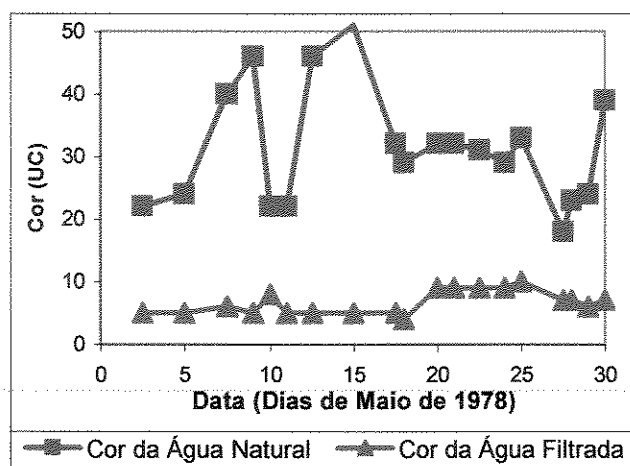


FIG. 26: Efeito do tratamento da filtração direta para águas australianas fortemente coloridas. (Cor média da água natural: 31,26 uC; cor média da água filtrada: 6,63 uC).

FONTE: TATE & TRUSSELL, 1980, adaptado.

Na filtração direta, os problemas causados por algas podem ser agrupados em três (3) categorias: penetração das algas através dos filtros, interferência nos processos de coagulação e floculação causada por matéria orgânica extracelular liberada pelas algas e carreiras de filtração mais curtas, acarretando um aumento do número de retrolavagens. Em princípio, a filtração direta é capaz de remover a maioria das espécies de algas com relativa eficiência; entretanto, isto requer uma otimização cuidadosa da coagulação. Devido à penetração das algas através dos filtros e do rápido entupimento dos mesmos, não é aconselhável aplicar filtração direta para águas naturais altamente eutrofizadas, ou seja, acima de 2.000 UPA/mL (DI BERNARDO, 1993); essas águas podem ser mais eficientemente tratadas por filtração, após tratamento convencional ou por flotação.

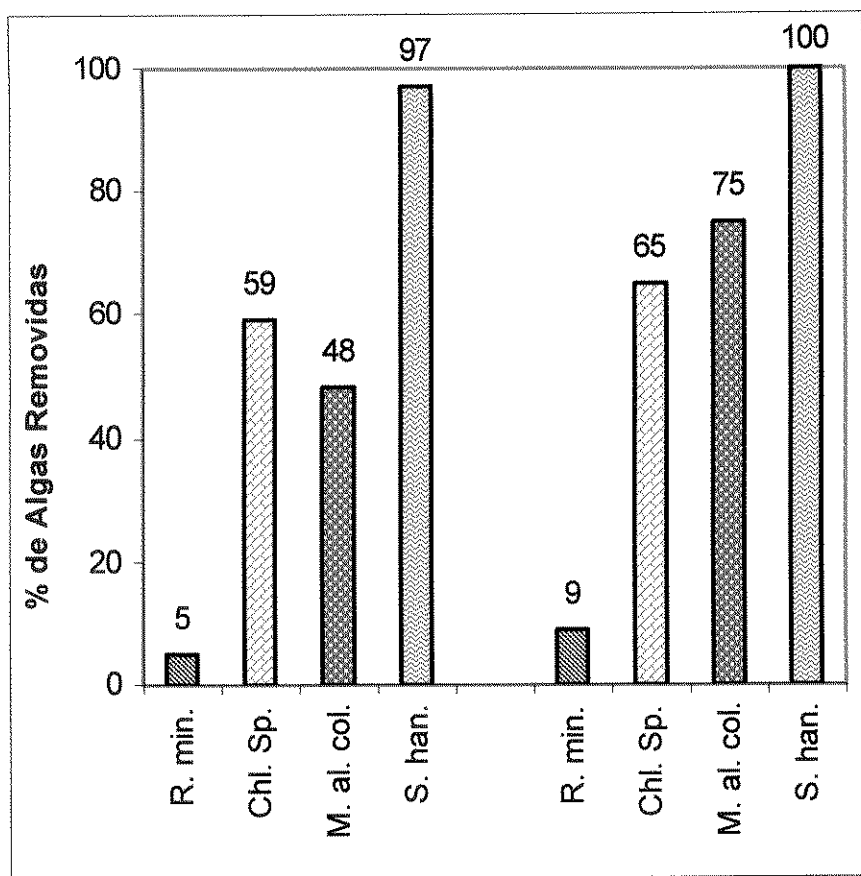
A remoção de algas varia fortemente com as diferentes espécies, com suas fases de crescimento e com os diferentes substratos de cultivo. Estudos realizados por PETRUSEVSKI (1993) obtiveram 94% de remoção para as diatomáceas cilíndricas, enquanto que para *R. minuta* e microalgas as remoções ficaram abaixo de 50%, devido à ineficiente interação e aglomeração entre flocos e algas (baixa eficiência de colisões, durante a floculação). Isto pode ser causado pela notável mobilidade das algas, composição da parede celular, forma celular e, particularmente, pela presença de camadas de mucilagens exteriores.

A pré-oxidação com ozônio (O_3) e permanganato de potássio ($KMnO_4$) aumentou a eficiência da filtração direta em termos de remoção de algas e da turbidez (de 50 para mais de 70%). Esse efeito benéfico pode ter sido causado por vários fatores: reação com a camada orgânica adsorvida na superfície da alga; destruição da matéria orgânica extracelular presente na água bruta; ataque à estrutura da parede celular da alga; formação de biopolímeros que ajudam na coagulação da matéria orgânica, precipitação dos óxidos de manganês na superfície das algas e floculação pericínética otimizada. O mesmo efeito não foi verificado com o uso de peróxido de hidrogênio (água oxigenada – H_2O_2) (SUKENIK (1987); SINGER (1990) *apud* PETRUSEVSKI, 1993). Porém, o uso desses oxidantes também provoca a formação de SPDs, sendo que os pesquisadores não estudaram os produtos resultantes nesses processos.

De acordo com TOBIASON et al. (1993), o pré-tratamento com O_3 para a filtração direta aumenta a carreira de filtração, principalmente em filtros de dupla camada CAG/areia. A remoção do COD nesses filtros não foi muito maior do que nos filtros antracito/areia, mas a ozonização dobrou o nível de carbono orgânico assimilável (COA); este é biodegradável e pode, portanto, promover o crescimento microbiano no sistema de distribuição; porém, ele pode ser rapidamente reduzido nos filtros CAG/areia. O PFTTHMs seguiu os resultados de remoção do COD e a remoção dos subprodutos da ozonização seguiu os resultados da remoção do COA.

A eficiência de remoção das algas pode ser vista na Figura 27.

FILTRO 1



FILTRO 2

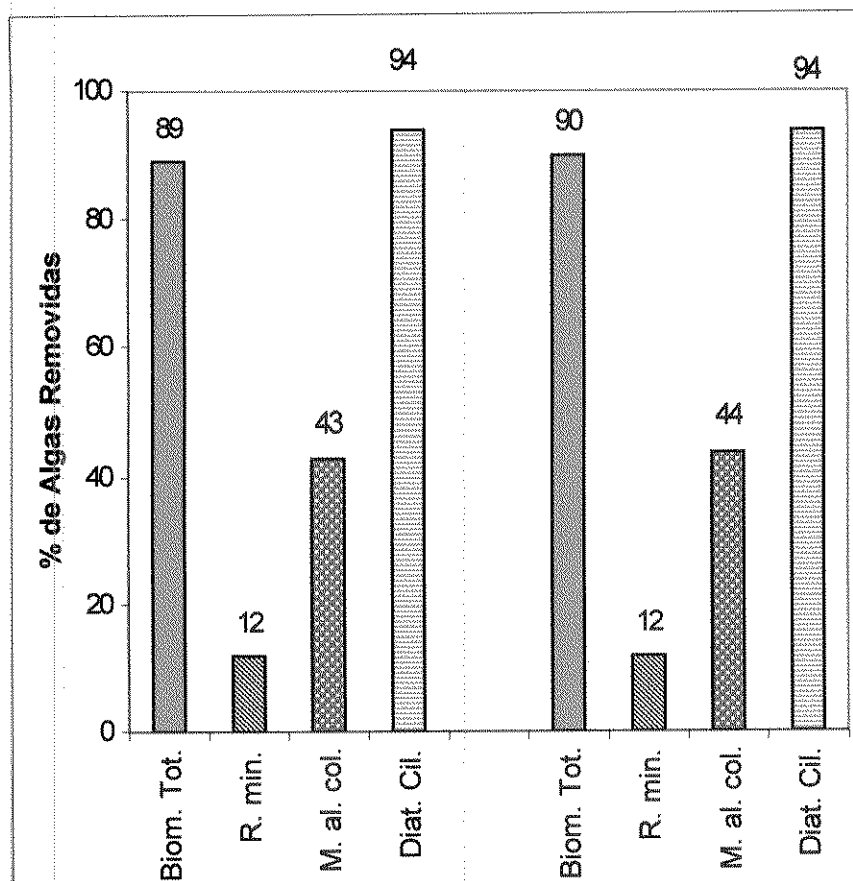


FIG. 27: Remoções de diferentes espécies de algas por filtração direta. Coagulante: sulfato férrico, 1,0 mg Fe/L; F₁: dupla camada filtrante (antracito/areia); F₂: tripla camada filtrante (antracito/areia/granada); taxa de filtração: 10 m/h. Espécies de algas: R. min: *Rodomonas minuta*; Chl. Sp: *Chlamidomonas sp*; M. al. col.: colônia e células simples de microalgas; S. han: *Stephanodiscus hantzschii*; Diat. cil.: diatomáceas cilíndricas.

FONTE: PETRUSEVSKI., 1993.

WESTERHOFF et al. (1980) compararam a eficiência do tratamento de águas em ETAs que operavam pelo processo convencional e por filtração direta, no Estado de New York (EUA). O estudo envolveu a remoção da turbidez e a redução de THMs e do PFTTHMs. Foram usados três (3) filtros: filtro controle, operando com taxa de filtração de 2,7 mm/s por tratamento convencional; filtro 1, operando com taxa de filtração de 2,7 mm/s por filtração direta e filtro 2, operando com taxa de filtração de 2,0 mm/s por filtração direta. O filtro controle teve uma carreira de filtração de 95 horas, mas excedeu o limite de perda de carga de 2,4 m. Para o filtro 1, quando foi usado polímero como auxiliar de coagulação, a carreira de filtração variou de 23 – 48 horas, com média de 41 horas e, quando foi usado polímero como auxiliar de filtração, a carreira de filtração variou entre 18 – 32 horas, com média de 29 horas. Em todos os casos, a turbidez da água filtrada foi cerca de 0,1 uT.

As amostragens e análises de THMs e do PFTTHMs mostraram que, mesmo com a cloração da água natural com baixa turbidez, os níveis de THMs estavam abaixo de 100 µg/L, no sistema de distribuição. Na etapa de coagulação/floculação, houve redução de cerca de 13% do PFTTHMs, que foi somente a metade do valor obtido pelo tratamento convencional; para os autores, esse resultado era esperado, pois sem sedimentação ocorreria pequena ou nenhuma remoção dos precursores de THMs. Na etapa da filtração, o filtro que operou por filtração direta removeu 39% do PFTTHMs, em comparação aos 9% do filtro convencional. A redução do PFTTHMs alcançou 52% por filtração direta, enquanto que, por tratamento convencional, alcançou somente 35%; o uso do polímero pode ter sido o responsável pelo aumento da remoção dos precursores (Tabela 20).

TAB. 20: Redução do PFTTHMs da água do Lake Erie (EUA).
FONTE: WESTERHOFF et al., 1980, adaptado.

ETAPAS PROCESSO	COAGULAÇÃO / FLOCULAÇÃO	FILTRAÇÃO	TOTAL
Tratamento Convencional	26	9	35
Filtração Direta	13	39	52

O Inst-THMs do efluente do filtro da filtração direta alcançou 12%, enquanto que, no filtro convencional, foi de 6%; o longo tempo de contato com os precursores foi, provavelmente, responsável por esta diferença. O Term-THMs é a soma do Inst-THMs e do PFTTHMs. O total de trihalometanos formado durante a filtração direta e o tratamento convencional está mostrado na Figura 28.

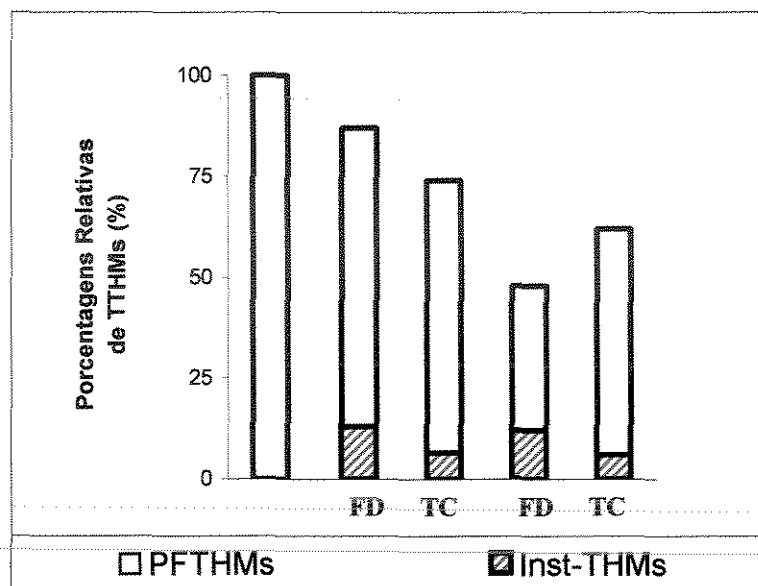


FIG. 28: THMs formados durante a filtração direta (FD) e tratamento convencional (TC).
FONTE: WESTERHOFF et al., 1980, adaptado.

Em termos econômicos, na filtração direta ocorre um aumento nos custos da água para lavagem dos filtros; por outro lado, há redução nos custos do tratamento químico e na produção de lodo, decorrente da adição de menor dosagem de coagulante, além de ocasionar redução nos custos de tratamento e disposição desse lodo.

3.6.2.3. Adsorção em Carvão Ativado

Segundo USEPA (1999 a), a adsorção em carvão ativado foi observada pela primeira vez por LOWITZ, em 1875 e logo foi aplicada como um processo para remoção de cor do açúcar, durante o refino. Atualmente, nos EUA, a aplicação predominante da adsorção no tratamento de águas, tem a finalidade tradicional para o controle de sabor e odor; contudo, sua aplicação está aumentando para a remoção de compostos orgânicos sintéticos, de compostos causadores de cor e de subprodutos da desinfecção e seus precursores. As ETAs européias têm larga experiência na utilização da adsorção para remover contaminantes orgânicos sintéticos da água de rios poluídos. No Brasil, algumas ETAs utilizam a adsorção em carvão ativado para remoção de cor e odor.

O carvão ativado é o principal adsorvente usado em escala real no tratamento de água. Ele é um sólido, com área superficial interna extremamente alta ao longo de seus poros para conseguir capturar o máximo de material orgânico e é produzido a partir de uma variedade de materiais, incluindo madeira, lignina e hulha. Dependendo do tipo de material e processo de fabricação, sua massa específica aparente varia de 0,36 a 0,74 g/cm³ (NAJM et al. (1991) *apud* RIBEIRO, 1998).

A adsorção é um processo físico-químico no qual uma substância é acumulada numa interface entre duas fases. O adsorvato é a substância que está sendo removida da fase líquida e o adsorvente é a fase sólida na qual ocorre a acumulação, conforme é representado pela reação (6) (DI BERNARDO, 1993):



onde: A = substância adsorvida (adsorvato); B = adsorvente; A.B = compostos adsorvidos

O processo de adsorção ocorre em três (3) etapas:

- a) Macrotransporte: movimento da matéria orgânica através da água para a interface líquido-sólido, por difusão;
- b) Microtransporte: difusão da matéria orgânica através do sistema de macroporos para as posições de microporos e submicroporos do carvão;
- c) Sorção: fixação da matéria orgânica no carvão.

Os compostos permanecem adsorvidos na superfície devido à ação de diversos tipos de forças químicas, tais como ligações por pontes de hidrogênio, interações dipolo-dipolo e forças de Van der Waals.

Os principais fatores que afetam a adsorção são: área superficial, distribuição de tamanho dos vazios intergranulares e características químicas da superfície do carvão ativado. A área superficial varia de 200 a 1.500 m²/g (DI BERNARDO, 1993; ISAAC, 1993); um elevado volume de vazios corresponde a uma maior área específica e maior capacidade de adsorção. Além disso, as características químicas e as propriedades das moléculas do adsorvato, o pH e a temperatura podem afetar a capacidade de adsorção.

Existem dois (2) tipos de carvão ativado, que podem ser usados para remoção dos precursores dos subprodutos da desinfecção.

- 1) **Carvão Ativado Granular (CAG)**: as primeiras unidades de CAG para o tratamento de água de abastecimento foram construídas em Hamm, Alemanha, em 1929 e em Bay City, Michigan (EUA), em 1930. Ele pode remover, aproximadamente, 100% dos precursores de SPDs, se o tempo de contato do leito vazio (TCLV) for suficiente. Na maioria das ETAs que usam CAG, o TCLV varia de 5 a 30 minutos, com frequência de regeneração da ordem de dois a nove meses. Entretanto, se o CAG for usado como adsorvente contínuo de COT ou se a concentração do COT nas águas naturais for muito alta, sua capacidade de adsorção esgota-se rapidamente, indicando necessidade de regeneração em tempo menor; além disso, mudanças no pH ou adição de desinfetantes no leito CAG podem resultar em reações específicas com possibilidade de liberação de compostos previamente adsorvidos para a água tratada [SINGER et al. (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)].

Segundo LYKINS et al. (1988), a remoção dos trihalometanos e seus precursores, por CAG, foi avaliada em várias ETAs que utilizavam diversos desinfetantes, os quais afetavam as concentrações dos THMs. Durante o estudo das águas do rio Ohio (Cincinnati, EUA), amostras de água tratada foram armazenadas à temperatura ambiente, com cloro residual livre, para simular as condições da água distribuída. Como pode ser visto na Figura 29, a concentração de THMs de três (3) dias, que não foi adsorvido, foi da ordem de 3 µg/L, no início da operação e a saturação ocorreu após 50 dias de operação.

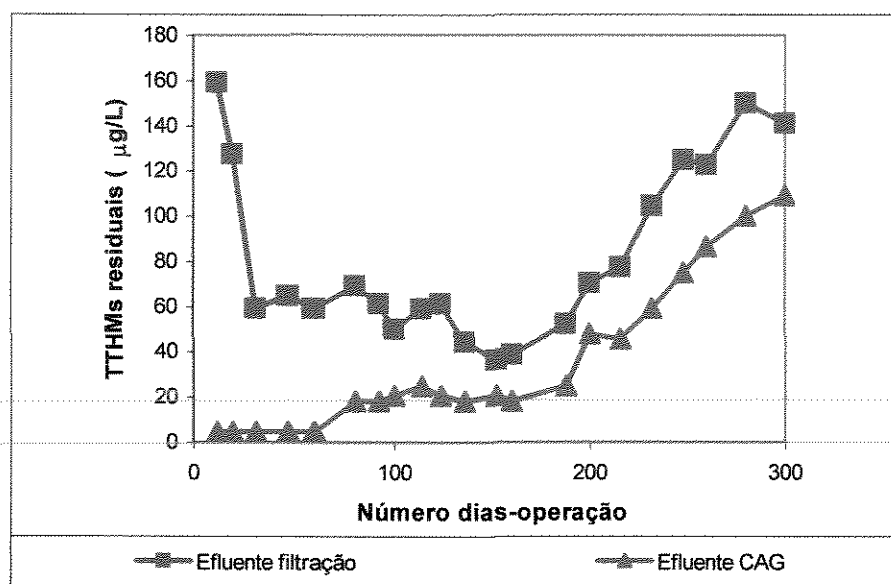


FIG. 29: Concentração do total de THMs residuais, após adsorção em CAG, em Cincinnati, Ohio (EUA).

FONTE: LYKINS et al., 1988, adaptado.

Estudos realizados por ISAAC (1993), para a Estação de Tratamento de Água do Alto Cotia, na região metropolitana de São Paulo, demonstraram a viabilidade técnica do uso de CAG para o controle dos SPDs, através da remoção do total de THMs. A ocorrência da saturação para o total de trihalometanos foi entre 80 e 128 dias de carreira de filtração, sendo que o valor médio do TTHMs, nesse período, foi de 54,2 µg/L, como pode ser visto na Figura 30.

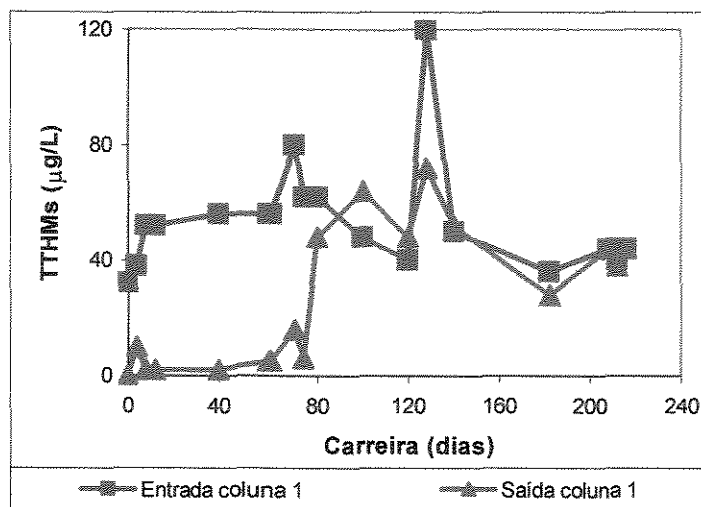


FIG. 30: Curva de saturação do total de THMs observada na coluna 1, durante a carreira de filtração 2.

FONTE: ISAAC, 1993, adaptado.

SEMMENS & STAPLES (1986) estudaram o efeito da aplicação do CAG na remoção do COT e PFTTHMs da água do rio Mississippi, coletada próxima ao ponto de captação da ETA de Minneapolis (EUA). A água pré-tratada com 80 mg/L de $Al_2(SO_4)_3$, em pH igual a 5,0, removeu 52% de COT e 71% de PFTTHMs. Essa água pré-tratada foi, então, passada por CAG com TCLV de 2,2 minutos, obtendo-se redução de 80% para o COT e de 75 a 84% para os precursores de THMS.

O carvão ativado granular é relativamente caro e sua regeneração tem um custo ainda maior. Porém, otimizando o processo de coagulação/sedimentação para a remoção dos precursores, antes da adsorção em CAG, pode-se aumentar a vida útil deste último em cerca de 100% (USEPA REPORT, 1998; OWEN et al. (1996) *apud* SHORNEY & FREEMAN, 1997); além disso, outros compostos orgânicos presentes na água podem ser removidos, principalmente se o CAG for usado após a filtração, aumentando a qualidade da água tratada.

- 2) **Carvão Ativado em Pó (CAP):** foi utilizado, pela primeira vez, no tratamento da água municipal de New Milford, New Jersey (EUA), em 1930 [USEPA, 1999 (a)]. Seu uso difundiu-se nas décadas seguintes, principalmente para o controle de odor e sabor. No Brasil, é mais comum o uso do CAP, em comparação ao CAG; geralmente, a suspensão é adicionada à água bruta, tendo-se, em seguida, uma unidade de pré-sedimentação. Há situações em que o carvão é removido nos decantadores, juntamente com os flocos.

Uma das características do CAP, que o diferencia do CAG, é o tamanho das partículas, isto é, 65 a 90% dos CAP comercialmente disponíveis passam através de peneira de 325 mesh (44 μm). Muitos parâmetros são utilizados para caracterizar as propriedades de adsorção do CAP; geralmente, é empregado o índice do iodo II, que deve ser superior a 500, segundo o padrão da AWWA.

As principais vantagens do CAP em relação ao CAG são o investimento inicial bem menor e a flexibilidade da alteração da dosagem aplicada com a mudança da qualidade da água; esta última vantagem é muito importante no caso de águas que requeiram o uso do CAP, durante todo o ano. As desvantagens estão relacionadas à impossibilidade de regeneração, remoção relativamente baixa de compostos orgânicos voláteis, dificuldade na disposição do lodo e remoção das próprias partículas de carvão.

O local de introdução da suspensão de CAP na água deve ser escolhido com base em: mistura eficiente, tempo de contato suficiente para garantir a adsorção dos contaminantes e interferência mínima com os demais produtos químicos aplicados nas ETAs. Na Tabela 21, são apresentados os possíveis locais de adição da suspensão CAP. O tempo de contato pode variar de 10 a 120 minutos, dependendo da existência de um ou mais contaminantes e da interferência dos flocos, já que as partículas do carvão são incorporadas aos mesmos, reduzindo a capacidade de adsorção (DI BERNARDO, 1993).

TAB. 21: Locais de adição da suspensão CAP.

FONTE: DI BERNARDO, 1993.

PONTO	VANTAGENS	DESVANTAGENS
Captação	Tempo de contato longo; boa mistura	Algumas substâncias que seriam removidas por coagulação/floculação/ sedimentação podem ser removidas, com maior consumo de CAP
Chegada da água bruta na ETA	Melhor controle de dosagem em relação ao anterior	Mesmas desvantagens do anterior; em geral, tem-se um pré-sedimentador antecedendo a coagulação
Unidade de Mistura Rápida da ETA	Mistura eficiente e tempo de contato razoável	Possível redução da taxa de adsorção pela interferência de coagulantes; às vezes, o tempo de contato é insuficiente para remover certas substâncias; substâncias que seriam coaguladas podem ser removidas
Entrada dos filtros	Uso eficiente do CAP	Possível passagem do CAP pelo meio filtrante, chegando até a rede de distribuição

O desempenho do CAP é afetado pelo projeto e pelos parâmetros operacionais das ETAs. A presença de substâncias húmicas com grande peso molecular pode bloquear os pequenos poros das suas partículas, diminuindo, assim, a área superficial disponível para a adsorção de outras moléculas. Outro fator que contribui para a variação da eficiência do CAP, no tratamento convencional de água de abastecimento, é a incorporação das partículas aos flocos, durante a coagulação/sedimentação. Também, dependendo do projeto da ETA e das condições da mistura, o tempo de contato pode variar largamente (NAJM et al. (1991) *apud* RIBEIRO, 1998).

Estudos em escala real, feitos por ANDERSON et al. (1991), indicaram que CAP especialmente preparado para a remoção de precursores de THMs pode reduzir o PFTTHMs acima de 56% com aplicação de dosagens relativamente baixas de carvão (21,6 mg/L). Alguns estudos mostraram que a relação entre PFTTHMs e COT de uma água natural decresce após o tratamento com carvão ativado em pó, indicando a remoção dos precursores pelo carvão.

Na Tabela 22, são mostrados os valores mínimos das dosagens de CAP para remoção de algumas substâncias voláteis e THMs.

TAB. 22: Dosagens mínimas requeridas para remoção de 90% de algumas substâncias orgânicas voláteis e THMs.
FONTE: DI BERNARDO, 1993.

SUBSTÂNCIA	DOSAGEM MÍNIMA (mg/L) PARA REDUÇÃO DE	
	100 PARA 10 µg/L	10 PARA 1 µg/L
Bromofórmio	49	16
Clorofórmio	1140	770
Dibromoclorometano	90	20
Diclorobromometano	187	75
Tetracloroeto de carbono	375	250
Tetracloroetileno	23	8
Tricloroetileno	55	23

É importante observar que tais dosagens mudam com o tipo de CAP, com a competição entre mais de um contaminante na água, com o tempo de contato previsto para a adsorção, com o índice de adsorção de iodo II e com o grau de mistura no local de aplicação (DI BERNARDO, 1993).

3.6.2.4. Flotação por Ar Dissolvido (FAD)

A flotação por ar dissolvido está baseada no princípio que, para algumas águas, as partículas coaguladas flutam melhor que sedimentam. Nesse sistema, usa-se como coagulante tanto sulfato de alumínio como os sais de ferro e, geralmente, os tempos de floculação são menores do que os usados no tratamento convencional. As bolhas de ar, com diâmetro aproximado de 40 µm, são introduzidas no processo, após a floculação e as partículas coaguladas flutam para a superfície com as bolhas de ar; um sistema coletor de sólidos, colocado na superfície da água, retira esses sólidos flotados e os leva para um coletor de espera.

Os sistemas FAD são reconhecidamente efetivos no tratamento de águas fortemente coloridas e contendo algas, porque, nesses casos, as partículas floculadas têm menor densidade (MALLEY & EDZWALD (1991) *apud* SHORNEY & FREEMAN, 1997).

Algumas vantagens do FAD incluem (EDZWALD et al. (1992) *apud* SHORNEY & FREEMAN, 1997):

- a) Uso de tanques de floculação e flotação menores do que os do processo convencional de sedimentação, proporcionando menores custos de capital;
- b) As dosagens de coagulantes e de auxiliares de floculação podem ser menores do que para a sedimentação convencional;
- c) Melhor remoção de partículas com baixa densidade e algas, levando a carreiras de filtração mais longas nas ETAs convencionais e nas ETAs que usam filtração direta;
- d) Menor dosagem de coagulante, promove a separação sólido-líquido com mais eficiência.

A única desvantagem é a produção de maior volume de lodo do que o obtido pelo processo convencional.

Normalmente, as reduções do COD, do PFTTHMs e do PFTTOXs, por FAD, são equivalentes às do processo de coagulação/sedimentação convencional. Estudos realizados com o uso de 23 a 27 mg/L de FeCl_3 e FAD, para uma água natural cuja concentração de COD era 4,6 mg/L, removeu 62% deste (EDZWALD et al. (1992) *apud* SHORNEY & FREEMAN, 1997).

3.6.3. SELEÇÃO DE DESINFETANTES ALTERNATIVOS

Os desinfetantes alternativos ao cloro, têm vários níveis de eficácia em inativar os microrganismos patogênicos e, em relação à formação de subprodutos da desinfecção, eles também atuam de diversas maneiras. Os desinfetantes alternativos são:

3.6.3.1. Cloraminas

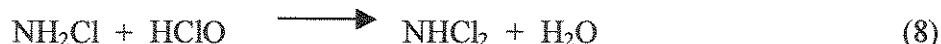
A capacidade desinfetante dos compostos amoniacais clorados — as cloraminas — foi identificada no início do século XX, quando se observou que a desinfecção por cloro ocorria em duas fases distintas. Durante a fase inicial, o cloro reduzia os compostos causando um desaparecimento rápido do cloro livre disponível. Porém, as cloraminas mantinham uma ação continuada da desinfecção, mesmo quando todo o cloro residual livre tinha sido dissipado; então, a fase subsequente ocorria pela ação das cloraminas inorgânicas. As cloraminas são desinfetantes relativamente fracos para a inativação de vírus e protozoários; entretanto, elas fornecem residuais estáveis e podem ser aplicadas como desinfetante secundário, prevenindo o crescimento biológico nos sistemas de distribuição. Suas vantagens em relação ao cloro são:

- 1) Não formam THMs e AHAs;
- 2) A monocloramina (NH_2Cl) residual é mais estável e tem maior tempo de ação, promovendo melhor proteção contra novos crescimentos de bactérias nos reservatórios e pontos finais de canalizações;
- 3) A monocloramina é mais efetiva em controlar biofilmes, devido a sua habilidade superior em penetrá-los;
- 4) A monocloramina causa menor incidência de sabor e odor.

Inicialmente, as cloraminas foram usadas para controlar odor e sabor e, sendo mais estáveis que o cloro residual livre nos sistemas de distribuição, eram mais eficazes para o controle de novos crescimentos bacterianos. Durante as décadas de 30 e 40, eram usadas regularmente para a desinfecção. Na II Guerra Mundial, seu uso diminuiu, devido à falta de amônia (NH_3). Contudo, nas últimas duas décadas do século passado, o interesse pelo uso das cloraminas aumentou novamente, pois elas formam poucos SPDs [USEPA, 1999 (a)].

As cloraminas são formadas da reação do cloro com amônia. Quando o cloro é disperso na água, ele se hidrolisa rapidamente, produzindo ácido hipocloroso, conforme visto na reação (1).

Em soluções aquosas, com valores de pH entre 7,0 e 8,5, o ácido hipocloroso reage rapidamente com a amônia, formando cloraminas inorgânicas através de várias reações competitivas, com produção de monoclорamina, dicloramina (NHCl_2) e tricloreto de nitrogênio (NCl_3), conforme as reações (7), (8) e (9) [WHITE (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)]:



Essas reações dependem do valor do pH e do controle da relação entre cloro e nitrogênio amoniacal ($\text{Cl}_2:\text{NH}_3$). A temperatura e o tempo de contato também influenciam.

As relações entre as várias espécies de cloraminas e as relações entre o cloro e o nitrogênio amoniacal, para valores de pH entre 6,5 e 8,5, estão mostradas na Figura 31. Nota-se que, para a relação em peso $\text{Cl}_2:\text{NH}_3$ menor que 5:1, há predominância da monoclорamina. Aumentando essa relação para 7,6:1, ocorrerá o “*breakpoint*”, isto é, o ponto de ruptura, o qual reduz ao mínimo o cloro residual. A cloração ao “*breakpoint*” produz nitrogênio gasoso (N_2), íon nitrato (NO_3^-) e tricloreto de nitrogênio (NCl_3); relações superiores a 7,6:1, proporcionam o aparecimento de cloro livre ($\text{HClO} + \text{ClO}^-$) e NCl_3 .

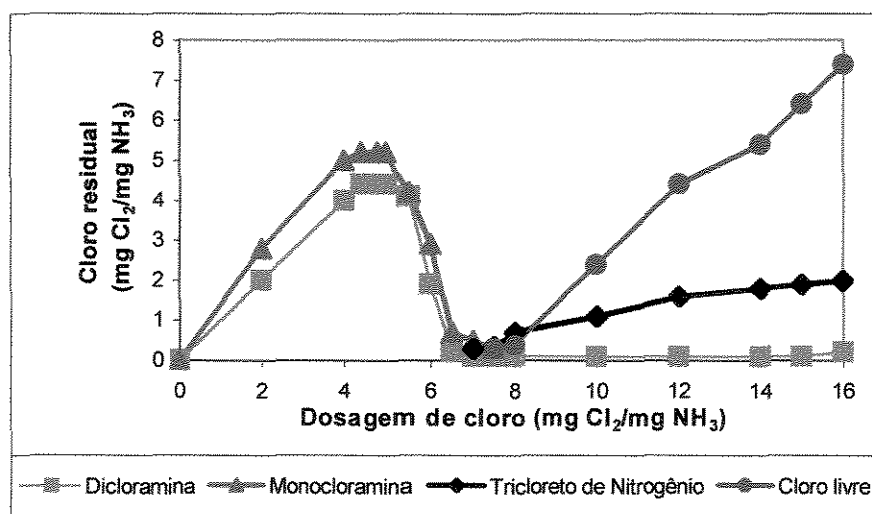


FIG. 31: Curva teórica de “*breakpoint*” das cloraminas.
 FONTE: USEPA, 1999 (a), adaptado.

As relações entre as espécies de cloraminas variam com o valor do pH e podem ser vistas na Figura 32. Nota-se que a dicloramina e o tricloreto de nitrogênio são as espécies dominantes em valores de pH inferiores a 4,0 [PALIN (1950) *apud* USEPA, 1999 (a)].

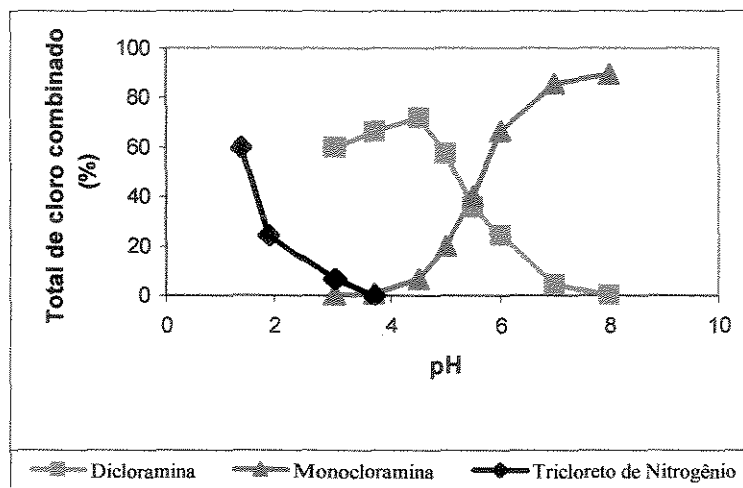


FIG. 32: Diagrama de distribuição das espécies de cloraminas, em função da variação do valor do pH.

FONTE: USEPA, 1999 (a), adaptado.

A monocloramina é a espécie preferida para o uso como desinfetante no tratamento de água de abastecimento, por causa dos problemas de odor e sabor da dicloramina e do tricloreto de nitrogênio. Para assegurar a não formação desses compostos, a prática atual é limitar a relação entre cloro e nitrogênio amoniacal em 4:1, a fim de se obter a otimização do uso das cloraminas. As dosagens teóricas de cloro e amônia para a produção das cloraminas, a 25°C, são mostradas na Tabela 23.

TAB. 23: Dosagens de cloro gasoso requeridas para a reação $\text{Cl}_2 - \text{NH}_3$.

FONTE: ASCE (1990); AWWA (1975) *apud* USEPA, 1999 (a), adaptado.

PRODUTO DA REAÇÃO	mg Cl_2 / mg NH_3
Monocloramina (NH_2Cl)	4,2
Dicloramina (NHCl_2)	8,4
Tricloreto de nitrogênio (NCl_3)	12,5
Nitrogênio gasoso (N_2)	6,3
Íon nitrato (NO_3^-)	16,7
Cloro livre residual ($\text{HClO} + \text{ClO}^-$)	9,0

A reação de produção da monocloramina é sensível ao pH [WHITE (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)]. Os tempos de reação para sua formação, a 25°C e relação $\text{Cl}_2:\text{NH}_3$ igual a 3:1, são mostrados na Tabela 24.

TAB. 24 : Tempo para conversão de 99% de cloro em cloramina.
FONTE: USEPA, 1999 (a).

pH	Tempo (s)
2	421
4	147
7	0,2
8,3	0,069
12	33,2

A amônia é adicionada antes que se formem compostos responsáveis por sabor e odor causados pela reação do cloro com a MON. Geralmente, o ponto de aplicação da amônia é selecionado para suprimir o cloro residual livre, após o tempo de contato, baseando-se na otimização da desinfecção e na minimização dos SPDs.

Desde 1936, o tratamento de água de abastecimento da cidade de Campinas usa cloramina. Inicialmente, essa aplicação tinha a finalidade de reduzir os problemas de odor e sabor da água tratada, quando se aplicava somente cloro.

Segundo MACEDO et al. (1993) *apud* OLIVEIRA (2002), a SABESP testou o uso da cloramina na ETA Morro Grande (Alto Cotia), pesquisando-se o melhor ponto de aplicação de cloro e amônia, com observação especial para resultados bacteriológicos e de cloro residual combinado. Esses testes não provocaram alterações significativas no consumo de produtos químicos, na qualidade da água tratada e no processo de tratamento.

Mantendo-se a pré-cloração e variando o ponto de aplicação da amônia, verificou-se que, quanto maior o tempo entre a adição do cloro e da amônia, maior era a concentração de THMs na água final e na água do sistema de distribuição, ou seja, a redução dos THMs na rede de distribuição foi de aproximadamente 24% ,quando a amônia foi adicionada na água final;

33%, quando a amônia foi adicionada na água decantada; 57 a 67%, quando a amônia foi adicionada na água floculada e de 85 a 87%, quando a amônia foi adicionada na água bruta.

Comparando-se os resultados do tratamento com cloro livre e cloraminas, o uso dessas últimas permitiu uma redução de, aproximadamente, 80% na concentração dos THMs, isto é, sempre foram obtidas concentrações abaixo de 100 µg/L.

Os resultados obtidos na ETA Morro Grande demonstraram que, dependendo das características da água bruta e da necessidade de redução da concentração de THMs da água de abastecimento, a utilização da cloramina é uma alternativa promissora para o controle do total de THMs, a um custo relativamente baixo (OLIVEIRA, 2002).

Como o poder germicida da monoclорamina é duzentas vezes menor que o do cloro livre, são necessários maiores tempos de contato. Entretanto, sua aplicação pode ser impactante para outros equipamentos ou processos das ETAs; esses impactos incluem:

- a) **Pré-tratamento:** o excesso de amônia pode promover o crescimento de bactérias nitrificantes nos leitos filtrantes, pois ela atua como nutriente, já que pode ser convertida em íons nitrato (NO_3^-) e nitrito (NO_2^-). O excesso de íon NO_3^- , em águas potáveis, causa metemoglobinemia — séria doença que pode levar bebês menores de seis meses à morte. Logo, a quantidade de amônia presente nas águas naturais deve ser determinada, se a desinfecção for feita por cloraminas [WHITE (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)].
- b) **Nitrificação:** de acordo com SKADSEN (1993), ocorre uma nitrificação parcial nos sistemas de distribuição, quando a água cloraminada apresenta excesso de amônia, causando efeitos adversos na qualidade da água, tais como a perda do residual de cloro e amônia totais, com o aumento da concentração bacteriana. As bactérias nitrificantes são relativamente mais resistentes à desinfecção por monoclорamina do que por cloro livre. As condições ótimas de nitrificação de um sistema de água são: valores de pH entre 7,5 e 8,5; temperaturas de 25 a 30°C e ambiente escuro. Portanto, nos reservatórios e nos sistemas de distribuição cobertos, pode ocorrer nitrificação parcial [WHITE (1992) *apud* USEPA,

1999 (a)]. O excesso de NH_3 favorece a formação de íons NO_2^- e NO_3^- , que aceleram a decomposição das cloraminas e reduzem o cloro livre. A presença de 0,5 mg/L do íon NO_2^- aumentou o decaimento das monocloraminas, permitindo um aumento bacteriano e um potencial aumento dos coliformes totais [VALENTINE (1998) *apud* USEPA, 1999 (a)].

Existem vários fatores que influenciam a nitrificação; entre eles, estão a temperatura, a baixa relação entre cloro e amônia e os longos tempos de detenção. Para que a monocloramina não cause potenciais problemas de nitrificação, a relação $\text{Cl}_2:\text{NH}_3$ deve ser mantida em 4,5:1 (SKADSEN, 1993).

- c) **Sabor e Odor:** o odor e sabor de peixe podem ser controlados através da adição de 0,2 mg/L de cloro residual livre, com tempo de contato de uma (1) hora, antes da adição da amônia.

Contudo, mesmo que a pré-cloração resolva os problemas de odor e sabor, ela pode aumentar as concentrações de THMs na água tratada. A dosagem normal de monocloramina varia entre 1,0 e 4,0 mg/L, sendo que, no sistema de distribuição, o mínimo residual está regulamentado em 0,5 mg/L. Para prevenir odor e sabor, a dose mínima de NH_2Cl recomendada é 2,0 mg/L (NORTON & LeCHEVALLIER, 1997).

As considerações finais para o uso das cloraminas como desinfetantes estão relacionadas na Tabela 25.

TAB. 25: Características da desinfecção por cloraminas.

FONTE: USEPA, 1999 (a).

CONSIDERAÇÕES	DESCRIÇÕES
Geração	As cloraminas são produzidas pela adição sequencial de ácido hipocloroso e amônia com uma relação variando de 3:1 a 5:1. Tanto o cloro como a amônia pode ser aplicada antes. Normalmente, adiciona-se o cloro antes, pois este age como desinfetante primário e, após 10 – 30 minutos, adiciona-se amônia para prevenir a formação de subprodutos da desinfecção adicionais. O cloro é adicionado na forma de gás ou como soluções de hipoclorito a 12% em peso. A amônia é adicionada como solução aquosa amoniacal a 20% em peso.
Usos Principais	A monocloramina é usada, principalmente, como desinfetante secundário, pois promove residuais nos sistemas de distribuição. Se usada onde o potencial de formação dos subprodutos da desinfecção é elevado, causa grande formação desses subprodutos nos sistemas de distribuição, se o cloro for usado como desinfetante secundário. É mais efetiva que o cloro livre para controlar biofilmes e bactérias coliformes nos sistemas de distribuição com longo tempo de detenção, devido a menor taxa de decaimento. A monocloramina tem menor tendência a reagir com compostos orgânicos, formando menos compostos causadores de odor e sabor.
Eficiência da Desinfecção	Em $\text{pH} \leq 7,0$, o cloro livre é 200, 200, 50 e 25 vezes mais efetivo do que a monocloramina na inativação de bactérias, vírus, esporos e cistos, respectivamente.
Formação de Subprodutos	A monocloramina reduz, substancialmente, a formação de trihalometanos, mas ainda forma alguns, principalmente compostos organohalogenados.
Pontos de Aplicação	Geralmente, a monocloramina é gerada na Estação de Tratamento de Água pela adição de amônia à água clorada. A amônia pode ser adicionada antes do bombeamento da água no sistema de distribuição. Em alguns casos, ela é adicionada antes para minimizar a formação de subprodutos da desinfecção, devido ao cloro residual livre.
Considerações Especiais	A nitrificação e o crescimento bacteriano podem ocorrer, se a relação $\text{Cl}_2:\text{NH}_3$ for muito baixa e as condições favorecerem o crescimento das bactérias nitrificantes. Um residual mínimo de 2,0 mg/L de monocloramina foi efetivo no controle da nitrificação em muitos sistemas.
Limitações	A monocloramina está sendo usada como desinfetante secundário, pois promove residual no sistema de distribuição, tem baixa taxa de decaimento e menor tendência a formar trihalometanos. Porém, devem ser tomados cuidados, se, além da monocloramina, também for usado cloro livre residual nos sistemas de distribuição. Altas relações $\text{Cl}_2:\text{NH}_3$ levam à formação de dicloramina e tricloreto de nitrogênio, causando odor e sabor às águas. Em alguns casos, o residual é totalmente removido pela reação ao “ <i>breakpoint</i> ”.

3.6.3.2. Dióxido de Cloro

O dióxido de cloro (ClO_2) foi usado, pela primeira vez, em Ostend, Bélgica, no começo do século XX, quando se descobriu seu alto poder desinfetante na água. Foi muito usado na década de 40, porque formava menos compostos organolépticos que o cloro. Até 1990, cerca de 700 ETAs, nos EUA e Canadá, o usavam para tratar águas de abastecimento [HOEHN (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)].

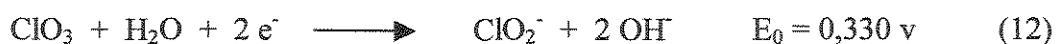
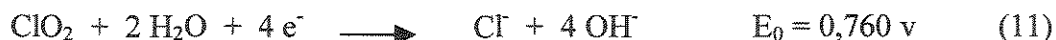
Atualmente, os maiores usos do ClO_2 são:

- 1) Desinfetante, cuja eficiência depende da concentração e do tempo de contato, da qualidade da água natural, do tipo de ETA e de outros propósitos;
- 2) Pré-oxidante para controlar odor e sabor, associados com algas e decomposição de vegetais;
- 3) Controle de ferro e manganês;
- 4) Controle do sulfeto de hidrogênio e compostos fenólicos, sendo efetivo no controle de sabor e odor causados por esses compostos.

O dióxido de cloro é um composto neutro, onde o cloro se apresenta com número de oxidação (+4) e que atua por oxidação. É uma molécula relativamente pequena, volátil, altamente energética, com um radical livre e solúvel em água [AWWA (1975) *apud* USEPA, 1999 (a)]; sua mais importante propriedade física é a alta solubilidade, principalmente em água fria, pois não se hidrolisa e permanece como gás dissolvido, para valores de pH entre 2,0 e 10,0 (AIETA & BERG, 1986; DI BERNARDO, 1993). Sob pressão e em concentrações volumétricas acima de 10% com o ar, torna-se explosivo, com temperatura de ignição por volta de 130°C ; portanto, deve ser produzido “*in loco*”. Ele atua como oxidante altamente seletivo, devido ao seu mecanismo de transferência de elétron, conforme a reação (10):



As reações de oxi-redução (11), (12) e (13) também são importantes [CRC (1990) *apud* USEPA, 1999 (a)]:

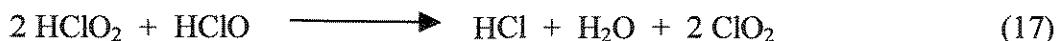


Para o tratamento de águas de abastecimento, o produto predominante da reação é o íon clorito (ClO_2^-), pois 50-70% do dióxido de cloro convertem-se nesse íon e 30% convertem-se em íons clorato (ClO_3^-) e cloreto (Cl^-) (WERDERHOFF & SINGER, 1987).

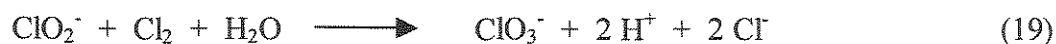
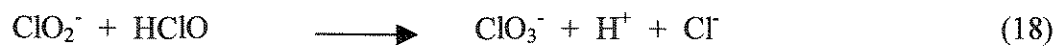
A matéria-prima para gerar ClO_2 é o clorito de sódio (NaClO_2), que pode reagir com cloro gasoso, ácido hipocloroso ou ácido clorídrico, conforme as reações (14), (15) e (16):



Essas reações devem ser feitas com controle do valor do pH; usando-se HClO , forma-se hidróxido de sódio (NaOH) como subproduto, resultando em um aumento do valor do pH da mistura. Em altos valores de pH, a formação do ClO_2 é lenta e diminui a eficiência das reações de sua formação. Em valores muito baixos de pH, as soluções aquosas de HClO , em presença do ácido cloroso (HClO_2), podem ser diretamente oxidadas à ClO_2 , como mostrado pela reação (17):



A relação entre NaClO_2 e HClO deve ser cuidadosamente controlada, pois pode ser formado um dos mais indesejáveis subprodutos na geração do dióxido de cloro, que é o íon clorato (ClO_3^-). As reações (18) e (19) descrevem a formação desse íon:



Para os processos de tratamento de água, usa-se solução aquosa de ClO_2 com concentração entre 0,1 e 0,5% em massa. No tratamento convencional, essa solução é adicionada após o tanque de floculação, pois é efetiva no controle do crescimento de algas no tanque de sedimentação ou próxima ao fim do tratamento. Se a turbidez da água for baixa ($< 10 \text{ uT}$), ela pode ser aplicada no início do tratamento. As dosagens típicas de ClO_2 , para o tratamento de águas de abastecimento, varia entre 0,07 e 2,0 mg/L, produzindo, respectivamente, 0,24 e 0,20 mg/L de íons ClO_2^- e ClO_3^- ; normalmente, aplica-se 1,0 mg/L de solução aquosa de ClO_2 . De acordo com a regulamentação dos subprodutos da desinfecção, o nível máximo de desinfetante residual (NMDR), para o ClO_2 , é 0,8 mg/L e o nível máximo contaminante (NMC), para os íons ClO_2^- e ClO_3^- , é 1,0 mg/L. Se a demanda de oxidante for superior a 1,4 mg/L, o dióxido de cloro não pode ser usado como desinfetante, porque se formam íons ClO_2^- e ClO_3^- em níveis excedentes aos máximos aceitáveis; estes subprodutos são suspeitos de causarem efeitos hematológicos e mutagênicos, além de terem ação inibidora sobre a tireóide (DI BERNARDO, 1993).

O dióxido de cloro pode reduzir as concentrações dos precursores de THMs e TOXs por oxidação, não forma THMs e produz somente uma pequena quantidade de TOXs. Isto o torna uma alternativa atraente para o controle dos SPDs halogenados. Estudos realizados por GALLARD & VON GUNTEN (2002) comprovaram reduções de 20% do UV-254 e de 50% do PFTTHMs, com o uso do dióxido de cloro. Outro estudo, efetuado por MILTNER, avaliou misturas de dióxido de cloro e cloro para verificar a extensão da formação de THMs nas condições do tratamento de água de abastecimento. A água bruta do rio Ohio (EUA) foi coagulada, decantada, filtrada e desinfetada com várias combinações de dióxido de cloro e cloro; constatou-se que pequenas quantidades de ClO_2 são suficientes para inibir a formação de THMs em, pelo menos 20%. Resultados obtidos em outros estudos mostraram que os TOXs formados com ClO_2 era de 1 a 25% dos TOXs formados com cloro, para as mesmas condições de reação (AIETA & BERG (1996) *apud* OLIVEIRA, 2002). Na Tabela 26, estão listadas as considerações finais para o uso do dióxido de cloro.

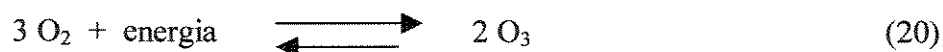
TAB. 26: Características da desinfecção por dióxido de cloro.**FONTE: USEPA, 1999 (a).**

CONSIDERAÇÕES	DESCRIÇÕES
Geração	O dióxido de cloro deve ser gerado “ <i>in loco</i> ”. Na maioria das aplicações em água de abastecimento, ele é gerado na quantidade necessária e é injetado na corrente diluída. Os geradores disponíveis utilizam hipoclorito de sódio com uma variedade de alimentadores de cloro gasoso, clorito de sódio, ácido sulfúrico e ácido clorídrico. Pequenas amostras de solução acima de 1% (10 g/L) de dióxido de cloro podem ser guardadas, com segurança, se forem protegidas da luz, resfriadas em temperaturas menores que 5°C e sem ventilação.
Usos Principais	O dióxido de cloro é usado como desinfetante primário ou secundário, para o controle de odor e sabor, redução de trihalometanos e ácidos haloacéticos, controle de ferro e manganês, remoção de cor e destruição de sulfetos e fenóis.
Eficiência da Desinfecção	O dióxido de cloro inativa rapidamente a maioria dos microrganismos em uma larga faixa de pH. É mais efetivo que o cloro para a inativação de vírus e outros patógenos e não depende do pH na faixa de 5,0 a 10,0.
Formação de Subprodutos	Quando adicionado à água, o dióxido de cloro reage com muitos compostos orgânicos e inorgânicos. As reações produzem íons clorito e clorato como subprodutos finais; estes compostos são suspeitos de inibir a tireóide e causar outros efeitos sobre a saúde. O íon clorato é predominantemente formado das reações entre o dióxido de cloro residual e o cloro livre, quando este último é usado como desinfetante no sistema de distribuição. O dióxido de cloro não produz trihalometanos e seu uso ajuda na redução dos trihalometanos e ácidos haloacéticos devido à oxidação dos precursores. Além disso, permite que o ponto da cloração seja movido para o final do processo da Estação de Tratamento de Água, quando a coagulação/floculação/sedimentação e filtração tenham reduzido a quantidade de matéria orgânica natural.
Pontos de Aplicação	Nas Estações de Tratamento de Água convencionais, o dióxido de cloro usado para oxidação é alimentado na água bruta, no decantador ou após a sedimentação. Para limitar a demanda e, portanto, a dosagem de dióxido de cloro e a formação do íon clorito, é comum aplicá-lo após a sedimentação; preocupações com sabor e odor têm limitado seu uso para promover residual no sistema de distribuição. Consequentemente, os suprimentos públicos de água que consideram o dióxido de cloro como oxidante e desinfetante secundário, devem usar cloraminas como desinfetante secundário.
Considerações Especiais	Além dos efeitos tóxicos dos íons clorito e clorato, o dióxido de cloro é explosivo em níveis superiores a 10% em ar; sua dosagem não pode exceder 1,4 mg/L para limitar em 1,0 mg/L a concentração total do dióxido de cloro residual, íon clorito e íon clorato combinados. O nível máximo de desinfetante residual para o dióxido de cloro deve ser 0,8 mg/L e o nível máximo contaminante para os íons clorito e clorato deve ser 1,0 mg/L.

3.6.3.3. Ozônio

O ozônio (O₃) foi usado, pela primeira vez, na Holanda, em 1893. Mesmo sendo freqüentemente utilizado na Europa, seu uso para desinfecção, remoção de cor e o controle de odor e sabor, nos EUA, só começou em 1987. Em abril de 1998, 264 ETAs norte-americanas operavam com O₃, sendo a maioria de pequeno porte, isto é, com fornecimento abaixo de 44 L/s [USEPA, 1999 (a)].

À temperatura ambiente, o ozônio é um gás incolor e com odor detectável em baixas concentrações, ou seja, 0,02 a 0,05 ppm (em volume). É um gás tóxico, altamente corrosivo e pouco solúvel em água; a 20°C, sua solubilidade é, apenas, 570 mg/L [KINMAN (1975) *apud* USEPA, 1999 (a)], enquanto o cloro gasoso é doze vezes mais solúvel. Como o O₃ é uma molécula instável, ele deve ser gerado no ponto de aplicação para seu uso. Normalmente, ele é gerado por combinação de um átomo de oxigênio com uma molécula de oxigênio, como é visto pela reação endotérmica (20), que necessita de quantidades apreciáveis de energia:



O método industrial predominante de produção do ozônio é o método de descarga corona. Esse método, também conhecido como descarga elétrica silenciosa, consiste em passar oxigênio gasoso através de dois eletrodos separados por um material dielétrico e um vácuo de descarga. A corrente aplicada causa um fluxo de elétrons sobre o vácuo de descarga; esses elétrons fornecem a energia necessária para dissociar as moléculas de O₂, permitindo a formação do O₃. A energia necessária para produzir O₃, por esse método, é proporcional à pressão da fonte do gás no gerador e à largura do vácuo de descarga.

Normalmente, as concentrações de ozônio aplicadas durante o tratamento de água são inferiores a 14%, isto é, variam de menos de 0,1 a 1,0 mg/L e têm vários propósitos, tais como:

- 1) **Desinfecção O₃**: o O₃ é um poderoso oxidante capaz de desinfetar com menores concentrações e menor tempo de contato do que os desinfetantes fortes como o cloro, o dióxido de cloro ou cloraminas (DEMERS & RENNER, 1992). Ele só pode ser usado como desinfetante primário, pois não mantém residual no sistema de distribuição; logo, ele deve ser complementado por um desinfetante secundário; a monocloramina é atraente para a completa desinfecção do sistema, porque ela produz poucos SPDs halogenados;
- 2) **Oxidação de micropoluentes orgânicos como Ferro, Manganês e Sulfetos**: a oxidação do Fe e Mn pelo O₃ gera óxidos insolúveis, que devem ser removidos por sedimentação ou filtração; esses óxidos aumentam a carga dos filtros, sendo necessário o aumento da frequência de retrolavagens;
- 3) **Oxidação de micropoluentes orgânicos, incluindo compostos que causam odor e sabor, compostos fenólicos e alguns pesticidas**: esses compostos são muito resistentes à oxidação. Com 2,5 a 2,7 mg/L de O₃, tempo de contato de 10 minutos e residual de 0,2 mg/L de O₃, há redução significativa de odor e sabor de várias águas testadas [SUFFET et al. (1986) *apud* USEPA, 1999 (a)].
- 4) **Oxidação de macropoluentes orgânicos, incluindo remoção de cor, aumento da biodegradabilidade dos compostos orgânicos, controle dos precursores de SPDs e redução da demanda de cloro**: usando pré e/ou ozonização intermediária, ocorre redução da demanda de cloro, dióxido de cloro ou monocloramina, mantendo mais baixos os níveis residuais destes últimos.

Durante o tratamento de água, o ozônio decompõe-se espontaneamente, através de uma série de etapas, com geração de radicais hidroxilas livres (OH•); esses radicais são os agentes oxidantes mais reativos, com velocidades de reação variando de 10^{10} a $10^{13} \text{ M}^{-1}\text{s}^{-1}$ [HOIGNÉ & BADER, 1983; GLAZE et al. (1987) *apud* USEPA, 1999 (a)], facilitando a oxidação dos compostos presentes na água. Por outro lado, a meia vida do radical livre (OH•) é da ordem de microsegundos; portanto, as concentrações desses radicais nunca alcançam níveis superiores a 10^{-12} M (GLAZE & KANG, 1988).

A demanda de ozônio está associada com:

- a) Reações com MON presente nas águas, formando aldeídos, ácidos orgânicos e cetonas [SINGER et al. (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)];
- b) Oxidação de subprodutos orgânicos, que pode ser medida pelo carbono orgânico assimilável (COA) ou pelo carbono orgânico dissolvido biodegradável (CODB);
- c) Oxidação do íon bromito (BrO_2^-), permitindo a formação de ácido hipobromoso (HBrO), íon hipobromito (BrO^-), íon bromato (BrO_3^-), orgânicos bromatados e bromamina;
- d) Compostos orgânicos sintéticos podem ser oxidados e mineralizados sob condições favoráveis; a mineralização só ocorre por radicais livres ($\text{OH}^\bullet$).

As variáveis que determinam o efeito do ozônio são: dosagem, pH, alcalinidade e, sobretudo, a natureza da MON. Em valores de pH entre 5,0 e 6,0, a destruição dos precursores por ozonização é bastante efetiva; contudo, acima de um valor de pH crítico, o O_3 é menos efetivo e, às vezes, aumenta a quantidade de precursores de SPDs clorados. Para a maioria das substâncias húmicas, o pH crítico é igual a 7,5, que é, aproximadamente, o valor do pH na qual a decomposição do O_3 aumenta rapidamente para formar radicais livres ($\text{OH}^\bullet$), aumentando, então, a taxa de oxidação dos compostos orgânicos. Em valores de pH menores (6,0 – 7,0), predomina o O_3 molecular, sendo que os precursores iniciais de THMs têm natureza diferente daqueles formados pela oxidação através dos radicais livres ($\text{OH}^\bullet$), em valores de pH maiores. O aumento da alcalinidade tem um efeito benéfico no potencial de formação dos THMs; em pH neutro e alcalinidade moderada, devida ao bicarbonato, ocorre uma redução de 3 a 20% do PFTTHMs, se a dosagem variar entre 0,2 e 1,6 mg O_3 /mg C [LANGLAIS et al. (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)].

Nas ETAs, os pontos de aplicação típicos do ozônio são na entrada da água bruta e depois da sedimentação. A seleção dos pontos de aplicação depende da turbidez da água natural e da demanda de O_3 , conforme é mostrado na Tabela 27.

TAB. 27: Critérios de seleção dos pontos de aplicação do O₃ para pequenos sistemas.
FONTE: USEPA, 1999 (a).

QUALIDADE DA ÁGUA BRUTA	PONTOS DE APLICAÇÃO	CONSIDERAÇÕES
CATEGORIA 1 Turbidez < 10 uT Demanda de O ₃ < 1,00 mg/L	Água bruta ou após sedimentação	Baixa demanda de O ₃ ; poucos subprodutos; poucos compostos orgânicos biodegradáveis
CATEGORIA 2 Turbidez > 10 uT Demanda de O ₃ < 1,00 mg/L	Após sedimentação	Baixa demanda de O ₃ ; muitos particulados inorgânicos; poucos compostos orgânicos biodegradáveis
CATEGORIA 3 Turbidez < 10 uT Demanda de O ₃ > 1,00 mg/L	Água bruta ou após sedimentação	Alta demanda de O ₃ ; subprodutos; formação de compostos orgânicos biodegradáveis
CATEGORIA 4 Turbidez > 10 uT Demanda de O ₃ > 1,00 mg/L	Após sedimentação e após o primeiro estágio da filtração, se necessário	Alta demanda de O ₃ ; subprodutos; formação de compostos orgânicos biodegradáveis

O uso do ozônio gera matéria orgânica biodegradável (MOB), resultando em crescimento biológico, que pode aumentar a taxa de corrosão dos sistemas de distribuição; se não for feita a pós-cloração; portanto, essa matéria orgânica deve ser retirada nos filtros.

O principal benefício do uso do O₃ para o controle da formação de SPDs é que ele permite que o cloro seja aplicado em dosagens menores, depois que os processos de tratamento tenham removido os precursores; logo, o potencial de formação dos subprodutos da desinfecção (PFSPDs) é menor. O ozônio não forma SPDs halogenados, isto é, THMs e AHAs, quando participa das reações de oxidação/redução da MON, mas forma vários outros subprodutos, tais como os ftalatos que agem como desreguladores endócrinos e, em concentrações da ordem de µg/L, são teratogênicos (Tabela 28).

TAB. 28: Principais subprodutos conhecidos formados da aplicação do ozônio.
FONTE: SINGER et al. (1992) apud USEPA, 1999 (a), adaptado.

ALDEÍDOS Formaldeído Acetaldeído Glioxol Glioxol metílico ÁCIDOS Ácido oxálico Ácido succínico Ácido fórmico Ácido acético	ALDO E CETO-ÁCIDOS Ácido pirúvico SUBPRODUTOS BROMATADOS⁽¹⁾ Íon bromato Bromofórmio Ácidos acéticos bromatados Bromopicrina Acetonitrilas bromatadas OUTROS Peróxido de hidrogênio Ftalatos
--	---

(1): só são produzidos, se a água bruta contiver íon brometo (Br^-)

Os principais aldeídos que têm sido medidos são: formaldeído, acetaldeído, glioxol e glioxol metílico. A concentração total de aldeído em águas ozonizadas, varia de menos de 5 $\mu\text{g/L}$ a 300 $\mu\text{g/L}$, dependendo da concentração de COT e da relação O_3/C aplicada [GLAZE et al. (1991) apud USEPA, 1999 (a)].

A ozonização de águas de mananciais contendo mais de 0,1 mg/L de íon brometo (Br^-) pode produzir subprodutos bromatados semelhantes aos SPDs clorados, tais como o íon bromato, bromofórmio e ácidos acéticos bromatados, além de acetonitrilas, bromopicrina e brometo de cianogênio, se estiver em presença de amônia. A quantidade de íon Br^- , incorporado nos SPDs medidos, totaliza apenas um terço da concentração desse íon presente na água bruta; isso indica que existem outros SPDs bromatados que não estão identificados (KRASNER et al., 1989). O íon bromato (BrO_3^-) e os orgânicos bromatados podem ser controlados, durante a ozonização, através das seguintes técnicas (SONG et al., 1997):

- Baixos valores de pH diminuem a formação do íon BrO_3^- , mas aumentam a formação de orgânicos bromatados;
- A adição de amônia, em pequeno tempo de contato com o O_3 , diminui a formação do íon BrO_3^- e de orgânicos bromatados;

- O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) diminui a formação de orgânicos bromatados, mas pode aumentar ou diminuir a concentração do íon BrO_3^- , dependendo de outros parâmetros da qualidade da água;
- Baixas relações O_3/COD diminuem a formação do íon BrO_3^- e de orgânicos bromatados.

Segundo JACANGELO et al. (1989) *apud* OLIVEIRA (2002), há trabalhos conflitantes na literatura, no que diz respeito ao impacto da pré-ozonização sobre os precursores de THMs. CHANG & SINGER (1991) *apud* OLIVEIRA (2002), constataram que a pré-ozonização, por si só, conseguiu reduzir o PFTTHMs em cerca de 10%, utilizando as dosagens de ozônio normalmente utilizadas na prática do tratamento de águas; GALLARD & VON GUNTEN (2002) relataram as reduções de 43% do UV-254 e de 18% do PFTTHMs com dosagem de 1,0 mg/L de ozônio. A ozonização de ácidos fúlvicos do “Black Lake” (EUA), em pH igual a 7,0, provocou redução da concentração dos precursores de compostos organohalogenados totais (TTOXs), de ácido tricloroacético e de dicloroacetonitrila; nenhum efeito foi observado com relação aos precursores de ácido dicloroacético e houve um pequeno aumento dos precursores de 1,1,1-tricloroacetona (JACANGELO et al. (1989) *apud* OLIVEIRA, 2002).

Na Figura 33, estão mostradas, esquematicamente, as principais reações de formação dos subprodutos da ozonização e, na Tabela 29, estão as considerações finais para o uso do O_3 .

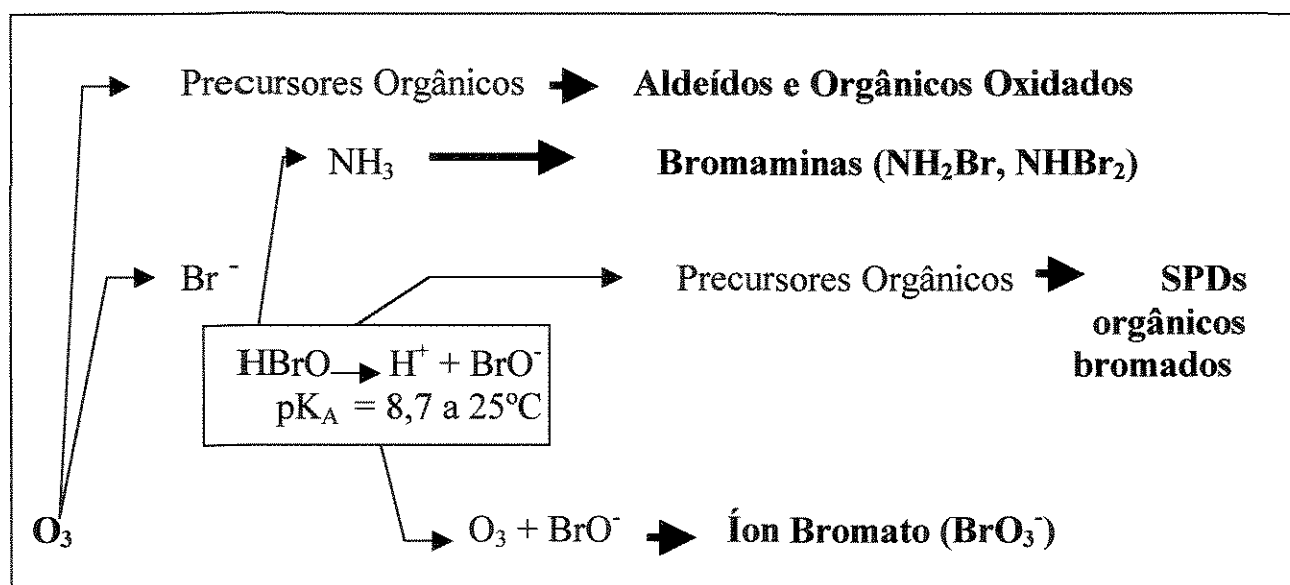


FIG. 33: Principais reações de ozonização que formam subprodutos.

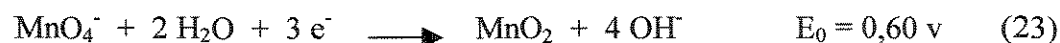
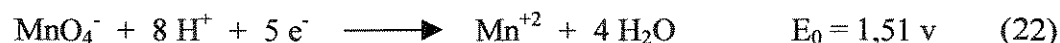
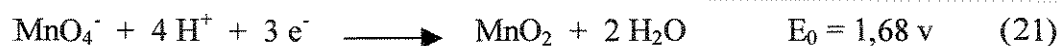
FONTE: USEPA, 1999 (a).

TAB. 29: Características da desinfecção por ozônio.
FONTE: USEPA, 1999 (a).

CONSIDERAÇÕES	DESCRIÇÕES
Geração	Por causa de sua instabilidade, o ozônio deve ser gerado no ponto de aplicação. Ele pode ser gerado a partir do oxigênio presente no ar ou oxigênio altamente puro. A fonte de alimentação deve estar limpa e seca, mantendo o ponto de orvalho máximo em -60°C . A produção de ozônio consome energia da ordem de 8 a 17 Kwh/Kg O_3 . A geração "in loco" permite a liberação de espaço de estocagem.
Usos Principais	Os usos principais incluem desinfecção e oxidação química. Por ser um agente oxidante, o ozônio pode ser usado para aumentar a biodegradabilidade de alguns compostos orgânicos, destruindo sabor e odor e reduzindo o nível de precursores de subprodutos da desinfecção halogenados. Ele não pode ser usado como desinfetante secundário, por ser altamente reativo e não manter um nível residual apreciável pelo tempo desejado no sistema de distribuição.
Eficiência da Desinfecção	O ozônio é um dos mais potentes e eficientes germicidas usados no tratamento de água. É efetivo contra bactérias, vírus e cistos de protozoários. A eficiência da inativação de bactérias e vírus não é afetada pelo pH em níveis entre 6,0 e 9,0. Com o aumento da temperatura, a eficiência da desinfecção também aumenta.
Formação de Subprodutos	Somente o ozônio não forma subprodutos da desinfecção halogenados, mas forma outros subprodutos como aldeídos, cetonas, ftalatos e ácidos orgânicos. Se o íon bromato estiver presente na água bruta ou se for adicionado cloro como desinfetante secundário, formam-se subprodutos da desinfecção halogenados, inclusive íon bromato. Outros subprodutos da ozonização incluem ácidos orgânicos, aldeídos e ftalatos.
Limitações	A produção de ozônio é um processo relativamente complexo. A estocagem do oxigênio está sujeita às leis do código de incêndio.
Pontos de Aplicação	Para desinfecção primária, o ozônio deve ser adicionado após a sedimentação e antes da filtração. Para a oxidação, ele deve ser aplicado antes da coagulação/sedimentação ou filtração, dependendo dos constituintes a serem oxidados.
Segurança	O ozônio é um gás tóxico e as instalações de produção e aplicação devem ser controladas por pessoal especializado. Os níveis ambientais do ozônio nas instalações devem ser monitorados continuamente.

3.6.3.4. Permanganato de Potássio

O permanganato de potássio (KMnO₄) foi introduzido no tratamento de águas de abastecimento de Londres, em 1913, por ALEXANDER HOUSTON [USEPA, 1999 (a)]. Ele é usado, principalmente, para controlar odor e sabor, remover cor, controlar o crescimento biológico nas instalações das ETAs, além de remover ferro e manganês. Em segundo lugar, ele pode ser usado para controlar a formação de THMs e outros SPDs, pois oxida os precursores e reduz a demanda de outros desinfetantes. Assim sendo, o KMnO₄ é mais usado como oxidante, pois é um desinfetante fraco. Ele é altamente reativo nas condições encontradas nas ETAs, oxidando uma grande variedade de substâncias orgânicas e inorgânicas. O KMnO₄, que tem número de oxidação (+7) é reduzido a dióxido de manganês (MnO₂), que tem número de oxidação (+4) e que precipita na solução [HAZEN & SAWYER (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)]; as reações (21) e (22), sob condições ácidas e a reação (23), sob condições alcalinas, são exotérmicas e mostram a formação do MnO₂ [CRC (1990) *apud* USEPA, 1999 (a)]:



O KMnO₄ é fornecido na forma seca. Normalmente, uma solução com concentração de 1 a 4% em massa de KMnO₄ é gerada *in loco*, nas ETAs; sua densidade é cerca de 1,23 g/cm³ e sua solubilidade em água, a 20°C, é de 6,40 g/cm³. Ele é um forte oxidante, que deve ser manuseado cuidadosamente, quando do preparo da solução; os sólidos cristalinos podem causar sérios danos aos olhos, irritação da pele e das mucosas respiratórias e são fatais, se ingeridos. Logo, os procedimentos para manuseio devem incluir óculos de proteção, máscara facial, luvas, avental e botas para minimizar o contato com a pele. Entretanto, ele não gera subprodutos halogenados. Mesmo que o KMnO₄ possa inativar bactérias e vírus, ele não é usado nem como desinfetante primário, nem secundário, quando aplicado às águas das ETAs, devido ao seu custo proibitivo. Além disso, não é desejável manter um residual de KMnO₄ na água, devido a sua tendência de deixar a água com tom rosado.

Nas ETAs convencionais, o KMnO_4 é adicionado na entrada da água bruta, no tanque de mistura rápida junto com os coagulantes ou na água decantada. Normalmente, nas ETAs que operam por filtração direta, esse oxidante é aplicado na entrada da água bruta para aumentar o tempo de contato nas unidades filtrantes. Em todos os casos, o KMnO_4 sempre é adicionado antes da filtração [MONTGOMERY (1985) *apud* USEPA, 1999 (a)]. Seu uso tem pequena interferência nos outros processos das ETAs; porém, deve-se levar em consideração que uma alta dosagem pode formar precipitados de MnO_2 , que devem ser removidos nos filtros, para que a água não saia colorida. O KMnO_4 pode ser usado para oxidar precursores orgânicos na água bruta de entrada das ETAs, minimizando a formação de subprodutos, durante o estágio da desinfecção [HAZEN & SAWYER (1992) *apud* USEPA, 1999 (a)]. Os resultados de testes realizados em duas ETAs piloto (“Chapel-Hill” e “Durham”), nos EUA, mostraram que o pré-tratamento com KMnO_4 reduziu a formação de clorofórmio; entretanto, a redução foi pequena para as dosagens normalmente aplicadas nas ETAs. Os estudos também indicaram que o KMnO_4 é mais reativo em maiores valores de pH e que a pré-oxidação com o mesmo não interferiu na demanda de cloro na água; os principais resultados obtidos foram (SINGER et al., 1980):

- 1) A reatividade do KMnO_4 é função do valor do pH, da dosagem aplicada e da qualidade da água bruta;
- 2) O KMnO_4 reduz o potencial de formação do clorofórmio proporcionalmente à quantidade consumida. Dosagens até 1,0 mg/L não foram efetivas na redução do potencial de formação do clorofórmio;
- 3) Normalmente, para as dosagens empregadas nas ETAs, o efeito do KMnO_4 sobre a produção total do clorofórmio é relativamente pequeno. Se ele for usado, especificamente, para reduzir a formação de THMs, são necessárias altas dosagens. Contudo, uma vantagem do uso do KMnO_4 , no pré-tratamento, é que o ponto de aplicação do cloro pode ser movido para após a filtração, resultando em menor formação de THMs.

Segundo COLTHURST & SINGER (1982) *apud* OLIVEIRA (2002), a pré-oxidação da água bruta com KMnO_4 , em pH igual a 7,0, usando dosagens comumente empregadas nas ETAs,

pode oxidar precursores de THMs e, assim, diminuir um pouco o PFTTHMs. O decréscimo é maior em amostras sujeitas a grandes taxas KMnO_4/COT .

A pré-oxidação com KMnO_4 reduziu o potencial de formação do clorofórmio para a maioria dos precursores típicos de THMs: resorcinol, hidroquinona, catecol, ácido húmico e ácido tânico. O resorcinol, um dos principais precursores de THMs, demonstrou uma redução linear no potencial de formação do clorofórmio, em relação à dosagem de permanganato de potássio (MA & GRAHAM (1986) *apud* OLIVEIRA, 2002).

Outros estudos também demonstraram uma variação do UV-254 para alguns precursores, após a aplicação do KMnO_4 . Isto indica que a estrutura molecular desses precursores possivelmente foi alterada por esse oxidante. A redução do carbono orgânico dissolvido (COD), após a aplicação deste oxidante, indica que parte do precursor foi completamente mineralizada pelo permanganato de potássio, em pH igual a 7,0 (MA & GRAHAM (1986) *apud* OLIVEIRA, 2002).

Vários estudos têm sido feitos em ETAs piloto, no sentido de substituir a pré-cloração por oxidação com KMnO_4 e mover o ponto de aplicação do cloro para a desinfecção da água filtrada.

Geralmente, o pré-tratamento com KMnO_4 combinado com pós-cloração, resulta em menores concentrações de SPDs halogenados do que aquelas que ocorrem com a pré-cloração.

Na Tabela 30, estão listadas as considerações finais para a utilização do permanganato de potássio.

TAB. 30: Características da desinfecção por permanganato de potássio.
FONTE: USEPA, 1999 (a).

CONSIDERAÇÕES	DESCRIÇÕES
Geração	O produto é fornecido na forma seca, sendo transportado em contêineres, tambores ou a granel. A produção da solução “in loco” requer equipamentos de alimentação e mistura.
Usos Principais	Controle de odor e sabor, remoção de cor, controle do crescimento biológico e remoção de Ferro e Manganês.
Eficiência da Desinfecção	Não é bom desinfetante, servindo melhor como produto alternativo para o cloro ou outros desinfetantes, onde se deseja a oxidação química.
Formação de Subprodutos	Não há dados na literatura sobre a formação de subprodutos halogenados da desinfecção pelo permanganato de potássio. O pré-tratamento com permanganato de potássio em combinação com pós-cloração, normalmente, resultará em menores concentrações de subprodutos da desinfecção do que aquelas resultantes com a pré-cloração tradicional.
Limitações	Não sendo bom desinfetante, é usado, principalmente, para minimizar a quantidade de cloro necessária à desinfecção e, portanto, limitando a formação de subprodutos da desinfecção.
Pontos de Aplicação	Tratamento convencional: adição na água bruta, no tanque de mistura rápida junto com os coagulantes e na água decantada de entrada dos filtros. Filtração direta: entrada da água bruta. Em todos os casos, o KMnO_4 pode ser adicionado na água decantada de entrada dos filtros.
Considerações Especiais	Cuidados devem ser levados em consideração em relação à prevenção de alta dosagem. São necessárias mais pesquisas para determinar as propriedades desinfetantes e os subprodutos da oxidação.

3.6.3.5. Peroxônio

O peroxônio é um processo oxidativo avançado (POA), onde se adiciona peróxido de hidrogênio (H_2O_2) à água ozonizada, gerando radicais hidroxilas livres ($\text{OH}^\bullet$) altamente reativos, capazes de controlar compostos orgânicos e compostos causadores de odor e sabor, além de fornecer níveis suficientes de O_3 molecular capaz de garantir a desinfecção. Esse método consegue inativar os microrganismos patogênicos, mesmo não fornecendo um residual desinfetante mensurável.

A adição do peróxido de hidrogênio acelera a decomposição do O_3 e aumenta a concentração de radicais livres ($\text{OH}^\bullet$); a produção é de 1,0 mol $\text{OH}^\bullet$ /mol O_3 . Nesse método, a principal oxidação da MON é feita pelos radicais livres ($\text{OH}^\bullet$), já que o O_3 residual tem vida curta, devido à sua decomposição acelerada. Como os radicais livres ($\text{OH}^\bullet$) são muito reativos, a oxidação é muito mais rápida. As potenciais oxidações do radical livre ($\text{OH}^\bullet$) e do O_3 são mostradas nas reações (24), (25) e (26) [USEPA, 1999 (a)]:



A relação ótima entre H_2O_2 e O_3 , para maximizar a taxa de reação dos radicais livres ($\text{OH}^\bullet$), pode ser determinada através de uma aplicação específica de oxidação. Para a oxidação do tricloroetileno (TCE) e percloroetileno (PCE), em águas subterrâneas, a ótima relação em massa entre $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ é 0,5 [GLAZE et al. (1987) *apud* USEPA, 1999 (a)]. O pH e a alcalinidade devida ao bicarbonato afetam a eficiência do peroxônio; o excesso de H_2O_2 também afeta a eficiência do processo, pois limita a formação dos radicais livres ($\text{OH}^\bullet$) (GLAZE & KANG, 1988).

O processo peroxônio necessita de um sistema de geração de O_3 e de um sistema de alimentação de H_2O_2 ; este pode ser adicionado antes ou depois do O_3 , sendo que a melhor operação é obtida, quando o peróxido de hidrogênio é adicionado após o ozônio. Na prática, a

adição de H_2O_2 , após a ozonização, é feita pela injeção do peróxido na segunda câmara de contato do O_3 [DUGUET et al. (1985) *apud* USEPA, 1999 (a)]. Como a oxidação por radicais livres ($\text{OH}\bullet$) é muito mais efetiva, ela está sendo usada extensivamente para oxidar compostos orgânicos que causam odor e sabor e compostos organoclorados, como o TCE e PCE.

De acordo com KOSAKA et al. (2001), os ácidos húmicos contêm grupos fenólicos que reagem com o O_3 ; concentrações elevadas de H_2O_2 diminuem a remoção de COT, ou seja, o COT residual, após a aplicação do peroxônio, é menor do que o COT residual após, somente, a aplicação do O_3 . Esses pesquisadores verificaram que, para a remoção dos ácidos húmicos, o efeito da adição do H_2O_2 só foi observado nos estágios finais do processo, isto é, após 40 minutos.

O peroxônio deve ser aplicado entre a sedimentação e a filtração; porém, pode afetar outros processos das ETAs, incluindo:

- 1) A oxidação do ferro e manganês pelos radicais livres ($\text{OH}\bullet$) gera óxidos, que devem ser removidos por filtração; isto aumenta a carga dos filtros, aumentando a frequência de retrolavagens;
- 2) Os radicais livres ($\text{OH}\bullet$) são fortes oxidantes, interferindo na aplicação de outros desinfetantes, como o cloro;
- 3) Os radicais livres ($\text{OH}\bullet$) geram MOB, levando ao crescimento biológico nos sistemas de distribuição; logo, essa matéria orgânica deve ser eliminada por filtração.

Os principais subprodutos da desinfecção associados ao peroxônio são semelhantes aos da ozonização, vistos na Tabela 28. Águas desinfetadas com peroxônio, usando cloro como desinfetante secundário, produziu de 67 a 160 $\mu\text{g/L}$ de THMs, sendo 10 a 38% maior do que o uso combinado de O_3/Cl_2 . Contudo, o uso de $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3/\text{NH}_2\text{Cl}$ produziu concentrações de THMs abaixo de 3,5 $\mu\text{g/L}$ (FERGUNSON et al., 1990). As considerações finais para a utilização do peroxônio estão relacionadas na Tabela 31.

TAB. 31: Características da desinfecção por peroxônio ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$).
FONTE: USEPA, 1999 (a).

CONSIDERAÇÕES	DESCRIÇÕES
Geração	Devido à sua instabilidade, o ozônio deve ser produzido no ponto de aplicação. O peróxido de hidrogênio pode ser comprado de fornecedores e ser estocado em locais abertos, mas está sujeito à deterioração.
Usos Principais	O uso principal é a oxidação química. Como agente oxidante, o peroxônio pode ser usado para remover compostos orgânicos sintéticos poluentes e aumentar a biodegradabilidade dos compostos orgânicos. É um desinfetante efetivo, mas não fornece residual mensurável de ozônio.
Eficiência da Desinfecção	O peroxônio é um dos mais potentes e efetivos germicidas usados no tratamento de água. É um pouco mais efetivo contra bactérias, vírus e cistos de protozoários do que o ozônio.
Formação de Subprodutos	O peroxônio não forma subprodutos da desinfecção halogenados, se o íon bromito não estiver presente. Contudo, se for aplicado cloro como desinfetante secundário na presença desse íon, podem ser formados subprodutos da desinfecção bromatados, íon bromato, ácidos orgânicos e aldeídos.
Limitações	O ideal é aplicar o ozônio como desinfetante primário, antes do tratamento por peróxido de hidrogênio.
Pontos de Aplicação	Para oxidação, o peroxônio pode ser aplicado antes da coagulação/sedimentação ou filtração, dependendo dos constituintes a serem oxidados. Para desinfecção, a adição do peróxido de hidrogênio deve ser feita após a ozonização.
Considerações Especiais	A produção de ozônio é um processo complexo. A estocagem do oxigênio deve seguir as normas contra incêndio. O ozônio é um gás altamente tóxico e sua produção e aplicação devem ser controladas. O peróxido de hidrogênio é um material perigoso, requerendo equipamentos especiais de contenção.

3.6.3.6. Radiação Ultravioleta

A radiação ultravioleta (UV) não inativa os microrganismos patogênicos por interação química, mas a absorção dessa radiação causa uma reação fotoquímica que altera os componentes moleculares essenciais às funções celulares desses patógenos. Se a dosagem de UV for suficiente para alcançar os microrganismos, essa radiação poderá desinfetar a água em qualquer grau desejado.

A radiação UV é composta de ondas eletromagnéticas, cujos comprimentos variam de 100 a 400 nanômetros (nm) (entre os espectros dos raios X e da luz visível). Em relação aos efeitos germicidas, a faixa ótima da radiação UV está entre 245 e 285 nm. A desinfecção por UV utiliza lâmpadas de baixa pressão, que emitem energia máxima no comprimento de onda de 253,7 nm; lâmpadas de média pressão, que emitem energia nos comprimentos de onda entre 180 e 1.370 nm e lâmpadas que emitem qualquer comprimento de onda de alta intensidade, de maneira pulsante. Essas lâmpadas são feitas com tubo de quartzo cheio de gás inerte, como o argônio (Ar) e pequena quantidade de mercúrio (Hg). A produção da radiação UV requer energia elétrica para ligar as lâmpadas e transformadores para controlar a energia fornecida. A demanda de UV é medida por espectrofotômetro, através da absorbância no comprimento de onda.

A radiação UV aplicada nas ETAs tem comprimento de onda de 254 nm; esta se dissipa rapidamente na água, inativando os microrganismos patogênicos até os níveis regulamentados. Essa radiação age como um desinfetante físico, não fornecendo residual; logo, só pode ser usada como desinfetante primário e deve ser seguida por um desinfetante químico secundário para proteger os sistemas de distribuição contra a proliferação de coliformes e formação de biofilme. É um processo atraente para o controle da formação de subprodutos da desinfecção, principalmente THMs.

Geralmente, a radiação UV é aplicada na fase final do tratamento, isto é, entre a filtração e o sistema de distribuição, não afetando os outros processos das ETAs.

Como a radiação UV é uma energia na forma de ondas eletromagnéticas, sua efetividade não é limitada pelos parâmetros químicos da água. Além disso, pH, temperatura, alcalinidade e carbono inorgânico total (CIT) não afetam a desinfecção por UV. Entretanto, a dureza da água pode causar problemas na manutenção da limpeza e funcionalidade das conexões das lâmpadas. A presença de material dissolvido ou em suspensão pode proteger os microrganismos da radiação UV, assim como a presença de ferro, sulfetos, nitratos e fenóis, que absorvem a luz UV (ASCE (1990), apud USEPA, 1999 (a); DEMERS & RENNER, 1992).

A radiação UV é sempre levada em consideração, se a desinfecção for feita com O_3 e/ou H_2O_2 , para aumentar a eficiência do processo, constituindo-se nos chamados processos oxidativos avançados (POAs). Os métodos fotoquímicos, incluindo fotólise, são tecnologias de remediação ambiental atrativas para a degradação de poluentes orgânicos e para a mineralização final em ambientes aquáticos e têm sido largamente pesquisados desde 1992, principalmente na Alemanha. Porém, esse processo só pode ser aplicado em pequenas áreas contaminadas. Para o tratamento efetivo, a fotólise requer curtos comprimentos de onda com forte energia de luz UV e outros oxidantes químicos (H_2O_2 e/ou O_3), facilitando a formação de radicais livres ($OH\bullet$) (CHEN et al., 1997).

HAND et al. (1993) aplicaram um processo oxidativo avançado chamado “Fotocatálise Heterogênea” para a destruição dos SPDs e seus precursores. Esse processo utiliza um pó semicondutor, que age como catalisador (dióxido de titânio – TiO_2) e luz UV; quando esse semicondutor catalisador é irradiado com luz UV, forma-se um ambiente redutor na suspensão aquosa oxigenada, causando a oxidação dos compostos orgânicos.

Foram testadas duas águas (Flórida e Califórnia), porque elas tinham características diferentes e porque havia problemas no controle da formação dos SPDs. Os resultados demonstraram que o potencial de formação dos trihalometanos e o potencial de formação dos subprodutos da desinfecção foram significativamente reduzidos pelo processo “Fotocatálise Heterogênea”; porém, houve necessidade de luz de alta intensidade (19 W/L) para se obter altas reduções; uma incidência de luz de baixa intensidade (3 W/L) foi capaz de reduzir o PFTTHMs e

o PFSPDs em quantidade ligeiramente superior à obtida pelo processo de coagulação convencional, ou seja, entre 68 e 84%.

O processo “Fotocatálise Heterogênea” também foi aplicado em águas coaguladas com sulfato de alumínio $[Al_2(SO_4)_3]$. Aumentando-se o tempo de contato e a intensidade da luz incidente, houve decréscimo do PFTTHMs. Com luz solar (1,43 W/L), a redução do PFTTHMs variou entre 40 e 80%, para tempos de contato entre 15 e 60 minutos. Com luz artificial de alta intensidade, a redução do PFTTHMs variou entre 72 e 92%, para os mesmos tempos de contato. Esse processo mostrou-se efetivo na destruição dos compostos orgânicos; porém, a análise econômica demonstrou que o custo da energia para ativar o semicondutor catalisador é muito alto (80% do custo total anual do tratamento).

Os dados da literatura sugerem que a radiação UV aplicada à água pode formar O_3 e outros radicais oxidantes. Baixos níveis de formaldeído foram medidos em águas subterrâneas tratadas com UV, mas a formação de SPDs não foi alterada com a adição de cloro. Em águas superficiais, a concentração máxima de formaldeído produzida foi de 14 $\mu g/L$; logo, a radiação UV aplicada às águas contendo substâncias húmicas produzirá formaldeído em níveis menores. Aplicando cloro livre, após a radiação UV, a taxa de formação do clorofórmio, em pH igual a 8,0, não foi afetada, assim como a taxa de formação de SPDs, em pH igual a 5,0. Com a aplicação de cloraminas, após a radiação UV, as taxas de formação do clorofórmio, ácido tricloroacético, dicloroacetonitrila e cloreto de cianogênio não foram afetadas [MALLEY et al. (1995) *apud* USEPA, 1999 (a)].

Na Tabela 32, estão listadas as considerações finais para a utilização da radiação ultravioleta.

TAB. 32: Características da desinfecção por radiação UV.
FONTE: USEPA, 1999 (a).

CONSIDERAÇÕES	DESCRIÇÕES
Geração	Estão disponíveis lâmpadas ultravioleta de baixa e média pressão.
Usos Principais	Desinfetante físico primário, que necessita de um desinfetante químico secundário para fornecer residual no sistema de distribuição.
Eficiência da Desinfecção	Muito efetiva contra bactérias e vírus em pequenas doses ($5 - 25 \text{ mW.s/cm}^2$ para a remoção de 2-log e $90 - 140 \text{ mW.s/cm}^2$ para a remoção de 4-log). É necessária uma dosagem maior contra os cistos de <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> ($100 - 8000 \text{ mW.s/cm}^2$ para a remoção de 4-log).
Formação de Subprodutos	É produzido somente formaldeído, em pequena quantidade, como subproduto da desinfecção.
Limitações	Águas com altas concentrações de Ferro, Cálcio, turbidez e fenóis limitam a desinfecção por radiação ultravioleta.
Pontos de Aplicação	Antes do sistema de distribuição.
Considerações Especiais	Dosagens de radiação ultravioleta extremamente altas para a inativação dos cistos de <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> tornam impraticável o tratamento de águas superficiais por este método., porque o custo é muito alto.

3.6.3.7. Desinfetantes Interativos

A frequência do uso de desinfetantes interativos tem aumentado nos últimos anos, porque a aplicação de desinfetantes sequenciais é mais efetiva do que a adição individual dos mesmos. Neste processo, há produção de um efeito sinérgico entre dois ou mais desinfetantes, a fim de se obter uma inativação mais efetiva dos patógenos. Normalmente, os desinfetantes usados na desinfecção interativa são identificados como primários ou secundários, ou seja:

- 1) A desinfecção primária refere-se à inativação dos microrganismos para se obter os níveis bacteriológicos regulamentados;
- 2) A desinfecção secundária refere-se à obtenção da qualidade bacteriológica da água no sistema de distribuição, de acordo com a legislação.

As concentrações e os tipos de SPDs formados, dependem, entre outras coisas, da combinação dos desinfetantes usados para se obter a desinfecção primária e manter a qualidade da água. Por exemplo, a desinfecção com ozônio/monocloramina produz menores concentrações de THMs do que a desinfecção por cloro/monocloramina; entretanto, a desinfecção por O_3/NH_2Cl pode aumentar a formação de outros SPDs, como aldeídos e MOB.

Na Tabela 33, estão relacionados os potenciais SPDs formados por várias associações de desinfetantes.

As considerações finais para a utilização da desinfecção interativa estão listadas na Tabela 34.

TAB. 33: Subprodutos da desinfecção associados aos vários processos de oxidação/desinfecção combinados.
FONTE: RICHARDSON et al. (1994) apud USEPA, 1999 (a).

ALTERNATIVAS			POTENCIAIS SPDs	OBSERVAÇÕES
PRÉ- OXIDAÇÃO	DESINFECÇÃO PRIMÁRIA	DESINFECÇÃO SECUNDÁRIA		
CLORO	CLORO	CLORO	Subprodutos da desinfecção halogenados	Formação máxima de subprodutos da desinfecção halogenados, quando comparada à dos outros processos. Os principais componentes são total de trihalometanos e ácidos haloacéticos.
			Aldeídos	Formados em níveis relativamente baixos.
CLORO	CLORO	CLORAMINA	Subprodutos da desinfecção halogenados Cloreto de cianogênio Brometo de cianogênio	A formação de subprodutos da desinfecção halogenados (principalmente total de trihalometanos e ácidos haloacéticos) é significativamente reduzida, quando comparada a processo cloro/cloro/cloro.
			Aldeídos	Formados em níveis relativamente baixos.
DIÓXIDO DE CLORO	DIÓXIDO DE CLORO	CLORO	Subprodutos da desinfecção halogenados	A formação de subprodutos da desinfecção halogenados pode ser reduzida por mudança do ponto de cloração para o final do processo.
			Aldeídos, ácidos carboxílicos, ácido maleico	Formados em níveis relativamente baixos.
			Clorito e clorato	O clorato é formado em maior quantidade, quando se usa dióxido de cloro.
DIÓXIDO DE CLORO	DIÓXIDO DE CLORO	CLORAMINA	Subprodutos da desinfecção halogenados	A formação de subprodutos da desinfecção halogenados (especialmente total de trihalometanos e ácidos haloacéticos) minimizada permite a permanência do cloro livre.
			Aldeídos, ácidos carboxílicos, ácido maleico	Formados em níveis relativamente baixos.
			Cloreto e clorato	O clorato é formado em maior quantidade, quando se usa dióxido de cloro.

TAB. 33: Subprodutos da desinfecção associados aos vários processos de oxidação/desinfecção combinados (Continuação).

ALTERNATIVAS			POTENCIAIS SPDs	OBSERVAÇÕES
PRÉ- OXIDAÇÃO	DESINFECÇÃO PRIMÁRIA	DESINFECÇÃO SECUNDÁRIA		
PERMANGA- NATO DE POTÁSSIO	CLORO	CLORO	Subprodutos da desinfecção halogenados	A formação de subprodutos da desinfecção halogenados pode ser reduzida por mudança do ponto de cloração para o final do processo.
			Aldeídos	Formados em níveis relativamente baixos.
PERMANGA- NATO DE POTÁSSIO	CLORO	CLORAMINA	Subprodutos da desinfecção halogenados	A diminuição da formação de subprodutos da desinfecção halogenados pode ser favorecida, quando comparada à do processo permanganato de potássio/cloro/cloro.
			Aldeídos	Formados em níveis relativamente baixos.
OZÔNIO	OZÔNIO	CLORO	Subprodutos da desinfecção halogenados	A formação de certos subprodutos da desinfecção halogenados pode aumentar ou diminuir, quando comparada à do processo cloro/cloro/cloro. Os subprodutos bromatados podem ser formados, se, na água bruta, estiver presente íon brometo.
			Bromato, aldeídos, ácidos carboxílicos	Mesmo formados em quantidades relativamente altas podem ser removidos por tratamento posterior através de adição de amônia ou filtração.
OZÔNIO	OZÔNIO	CLORAMINA	Subprodutos da desinfecção halogenados Cloreto de cianogênio Brometo de cianogênio	A formação de subprodutos da desinfecção halogenados (especialmente total de trihalometanos) minimizada permite a permanência do cloro livre.
PEROXÔNIO	CLORO OU OZÔNIO	CLORO	Subprodutos da desinfecção halogenados	A formação de certos subprodutos da desinfecção halogenados pode aumentar ou diminuir, quando comparada à do processo cloro/cloro/cloro. Os subprodutos bromatados podem ser formados, se, na água bruta, estiver presente íon brometo.
			Bromato, aldeídos, ácidos carboxílicos	Mesmo formados em quantidades relativamente altas podem ser removidos posteriormente. O peroxônio pode aumentar a formação de bromato.

TAB. 33: Subprodutos da desinfecção associados aos vários processos de oxidação/desinfecção combinados (Continuação).

ALTERNATIVAS			POTENCIAIS SPDs	OBSERVAÇÕES
PRÉ- OXIDAÇÃO	DESINFECÇÃO PRIMÁRIA	DESINFECÇÃO SECUNDÁRIA		
PEROXÔNIO	CLORO OU OZÔNIO	CLORAMINA	Subprodutos da desinfecção halogenados Cloreto de cianogênio Brometo de cianogênio	A formação de subprodutos da desinfecção halogenados pode diminuir, quando comparada à do processo peroxônio/cloro/cloro.
			Bromato, aldeídos, ácidos carboxílicos	Mesmo formados em quantidades relativamente altas, podem ser removidos posteriormente. O peroxônio pode aumentar a formação de bromato.
CLORO	RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (1)	CLORAMINA	Subprodutos da desinfecção halogenados Cloreto de cianogênio Brometo de cianogênio	A pré-oxidação pode formar subprodutos da desinfecção halogenados.
			Aldeídos	Baixos níveis.
PERMANGA- NATO DE POTÁSSIO	RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA (1)	CLORAMINA	Subprodutos da desinfecção halogenados	Níveis muito baixos, porque os oxidantes são pouco reativos.
			Aldeídos, ácidos carboxílicos	Níveis muito baixos, porque os oxidantes são pouco reativos.

(1): Mesmo que a radiação UV “convencional” seja usada como desinfetante primário para inativação de vírus (necessita de filtração por membrana), a radiação UV “pulsante” pode ser capaz de inativar *Giardia* e *Cryptosporidium*.

TAB. 34: Características da desinfecção por desinfetantes combinados.

FONTE: USEPA, 1999 (a).

CONSIDERAÇÕES	DESCRIÇÕES
Geração	A produção depende do tipo de produto químico usado. Ozônio, dióxido de cloro e cloraminas devem ser produzidos no local de uso.
Usos Principais	Dois desinfetantes separados podem ser usados para a desinfecção primária e secundária. Separando as funções das desinfecções, os processos podem ser otimizados para se obter a máxima inativação e a mínima formação de subprodutos da desinfecção.
Eficiência da Desinfecção	O uso da desinfecção interativa como desinfetante primário para vírus, <i>Giardia</i> e <i>Cryptosporidium</i> é possível, por ser, geralmente, mais efetiva que o uso de desinfetantes individuais.
Formação de Subprodutos	Normalmente, a formação de subprodutos da desinfecção é reduzida com o uso de desinfetantes combinados. Especificamente, o uso contínuo de cloro em combinação com outros desinfetantes pode reduzir a formação desses subprodutos.
Limitações	Os dados sobre a eficiência da inativação pelos desinfetantes combinados ainda estão sendo coletados. São necessárias informações adicionais, principalmente em escala real de implementação. A dupla desinfecção (primária/secundária) no controle de subprodutos da desinfecção está estabelecida como sendo uma opção preferida de tratamento.
Pontos de Aplicação	Aplicado para desinfecção primária e secundária. A ozonização deve ser feita após a sedimentação e antes da filtração.
Considerações Especiais	A eficiência e aplicação dos desinfetantes combinados serve para superar as limitações características dos desinfetantes individuais. O desinfetante combinado sempre é um desinfetante mais efetivo.

3.6.4. REMOÇÃO DOS SUBPRODUTOS DA DESINFECCÃO

Além do carvão ativado granular e do carvão ativado em pó, os subprodutos da desinfecção podem ser removidos por outros métodos. São eles:

3.6.4.1. Arraste com Ar (Aeração – “Air Stripping”)

Normalmente, nas ETAs, o arraste com ar é usado para reduzir a concentração de substâncias voláteis que causam odor e sabor, remoção do dióxido de carbono (CO₂) das águas subterrâneas e para a oxidação dos íons ferro e manganês. Esse processo pode ser realizado por ar difuso, ar superficial e arraste com ar em contracorrente, em torres de aeração com enchimento; os equipamentos mais comumente usados no arraste com ar são: difusores de ar, cascatas e aeradores superficiais tipo turbina. Os problemas do arraste com ar são a purificação do ar, para prevenir a contaminação da água (VOGT & REGLI (1981) *apud* OLIVEIRA, 2002).

O arraste por ar difuso pode ser pouco eficiente para reduzir o potencial de formação dos trihalometanos, pois os precursores são substâncias não voláteis e, normalmente, não é utilizado para a remoção dos mesmos. Por outro lado, estudos realizados por HOUEL et al. (1979) *apud* USEPA, 1999 (b), demonstraram a redução do nível do total de THMs, que são voláteis, proporcionando uma remoção de 97,5% de clorofórmio, em torres de enchimento com PVC, onde o ar foi injetado em contracorrente ao fluxo de água. Outros estudos, realizados por UMPHRES et al. (1982), com duas amostras de águas com características distintas, conseguiram os seguintes resultados: no primeiro estudo, água com concentração de TTHMs superior a 400 µg/L teve essa concentração reduzida para menos de 25 µg/L, através de arraste com ar em torre de enchimento, localizada entre o filtro e o reservatório da água tratada; a relação ar/água foi 378 e não houve interferência no tratamento existente. No segundo estudo, através de arraste com ar, com relação ar/água de 45, as remoções obtidas foram: 78% de clorofórmio, 74% de diclorobromometano, 59% de dibromoclorometano e 45% de bromofórmio. Os resultados são compatíveis, pois os THMs bromatados são mais difíceis de serem removidos.

O arraste com ar em torre de enchimento mostra-se como uma alternativa atraente para atender o nível atual regulamentado de 100 µg/L para os THMs, pois fornece um alto grau de tratamento aliado a um custo relativamente baixo.

3.6.4.2. Filtração em Membranas

As membranas foram desenvolvidas na década de 60 e funcionam como um filtro absoluto que elimina todos os compostos maiores que o peso molecular de corte, servindo como uma barreira física e, algumas vezes, química, entre as partículas coloidais ou dissolvidas e a água a ser tratada (SHORNEY & FREEMAN, 1997). Atualmente, com a promulgação de padrões de qualidade mais restritivos, nos EUA, os processos de membranas estão em franco desenvolvimento. A diminuição de mananciais adequados e a ênfase no reuso da água também têm contribuído para o aumento do uso das membranas (JACANGELO & WATSON, 1995).

Geralmente, os sistemas de membranas são caracterizados pelo tamanho de seus poros e pela pressão requerida para o tratamento. Existem quatro tipos de membranas usadas em pequenos sistemas de abastecimento de águas. São elas (JACANGELO & WATSON, 1995):

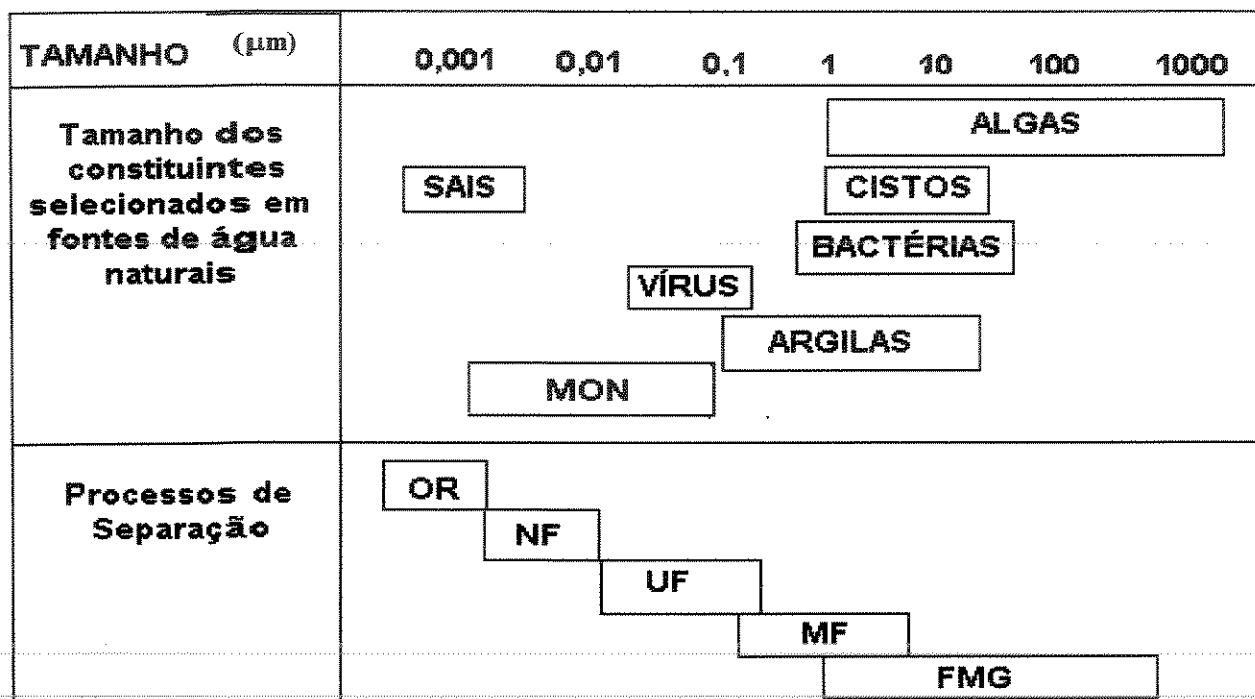
- 1) **Microfiltração (MF)**: o tamanho dos poros varia entre 0,05 e 5 µm, com pressão operacional na faixa de 0,5 a 7,0 bar (7,25 a 101,50 psi). A principal aplicação dessa membrana é a remoção de partículas e microrganismos. Tradicionalmente, é aplicada em pequenas estações de tratamento de água, ou seja, instalações que tratam menos de 3.800 m³/dia; porém, existe uma instalação em San Jose, Califórnia (EUA), que trata 18.900 m³/dia de água por MF. Está em projeto o uso da MF em ETAs com capacidades superiores a 56.800 m³/dia, nos EUA.
- 2) **Ultrafiltração (UF)**: essa membrana tem uma larga faixa de peso molecular de corte e tamanho de poros. Dependendo da aplicação, a pressão operacional varia de 0,5 a 7,0 bar (7,25 a 101,50 psi). As membranas UF “finas”, cujo peso molecular de corte varia de

1.000 a 10.000 daltons, podem ser empregadas para remoção de algumas parcelas da MON das águas naturais. As membranas UF com peso molecular de corte superior a 50.000 daltons e pressão operacional de 0,7 a 2,1 bar (10,15 a 30,45 psi) são usadas, principalmente, para separação sólido/líquido, isto é, remoção de partículas e microrganismos. O tamanho dos poros das membranas mais modernas é, aproximadamente, 0,01 μm .

- 3) **Nanofiltração (NF)**: essas membranas têm peso molecular de corte variando entre 250 e 1.000 daltons e operam com pressões entre 5,0 e 9,0 bar (72,50 a 130,50 psi). Inicialmente, essas membranas foram designadas para a remoção de íons causadores de dureza na água, isto é, cálcio e magnésio, mas, também, são bastante efetivas para a remoção de MON.
- 4) **Osmose Reversa (OR)**: tradicionalmente, essa membrana tem sido empregada para a remoção de sais de águas salobras e marinhas. Dependendo da aplicação, a pressão operacional varia entre 10 e 100 bar (145,00 a 1.450,00 psi), a fim de se obter a pressão osmótica diferencial entre a alimentação salina e o permeado. Essa membrana também pode ser empregada para a remoção de compostos químicos sintéticos selecionados, compostos químicos inorgânicos e MON. Nas aplicações de reuso da água, seu uso está em expansão por ser uma barreira adicional aos microrganismos.

As membranas NF e OR são usadas para a remoção de MON. Inicialmente, as aplicações da membrana NF foram para o tratamento de águas subterrâneas contendo, relativamente, poucos sólidos dissolvidos, mas com alta dureza total, cor e concentração de precursores de SPDs. A membrana NF é capaz de controlar os precursores dos compostos orgânicos clorados; geralmente, consegue-se uma remoção acima de 90% dos precursores de THMs e AHAs.

A relação dos tamanhos dos materiais normalmente encontrados nas águas e as respectivas membranas utilizadas para o tratamento de águas são mostradas na Figura 34.



MON: matéria orgânica natural; OR: osmose reversa; NF: nanofiltração; UF: ultrafiltração; MF: microfiltração; FMG: filtração em meio granular

FIG. 34: Processos de filtração em membranas e os tamanhos relativos dos compostos removidos da água.

FONTE: JACANGELO & WATSON, 1995.

Estudos realizados por NILSON & DIGIANO (1996) demonstraram que a membrana NF é capaz de reter 80% do COT (SHORNEY & FREEMAN, 1997). Na Figura 35, é mostrada a remoção dos precursores de THMs e AHAS num sistema de distribuição simulado (SDS); os dados mostram que a membrana MF removeu somente 11 e 24% dos precursores de THMs e AHAS, respectivamente. Pelo tratamento convencional, consegue-se remoções superiores. Quando foi empregada a membrana NF, a remoção média dos precursores de THMs e AHAS foi de 95% (JACANGELO & WATSON, 1995).

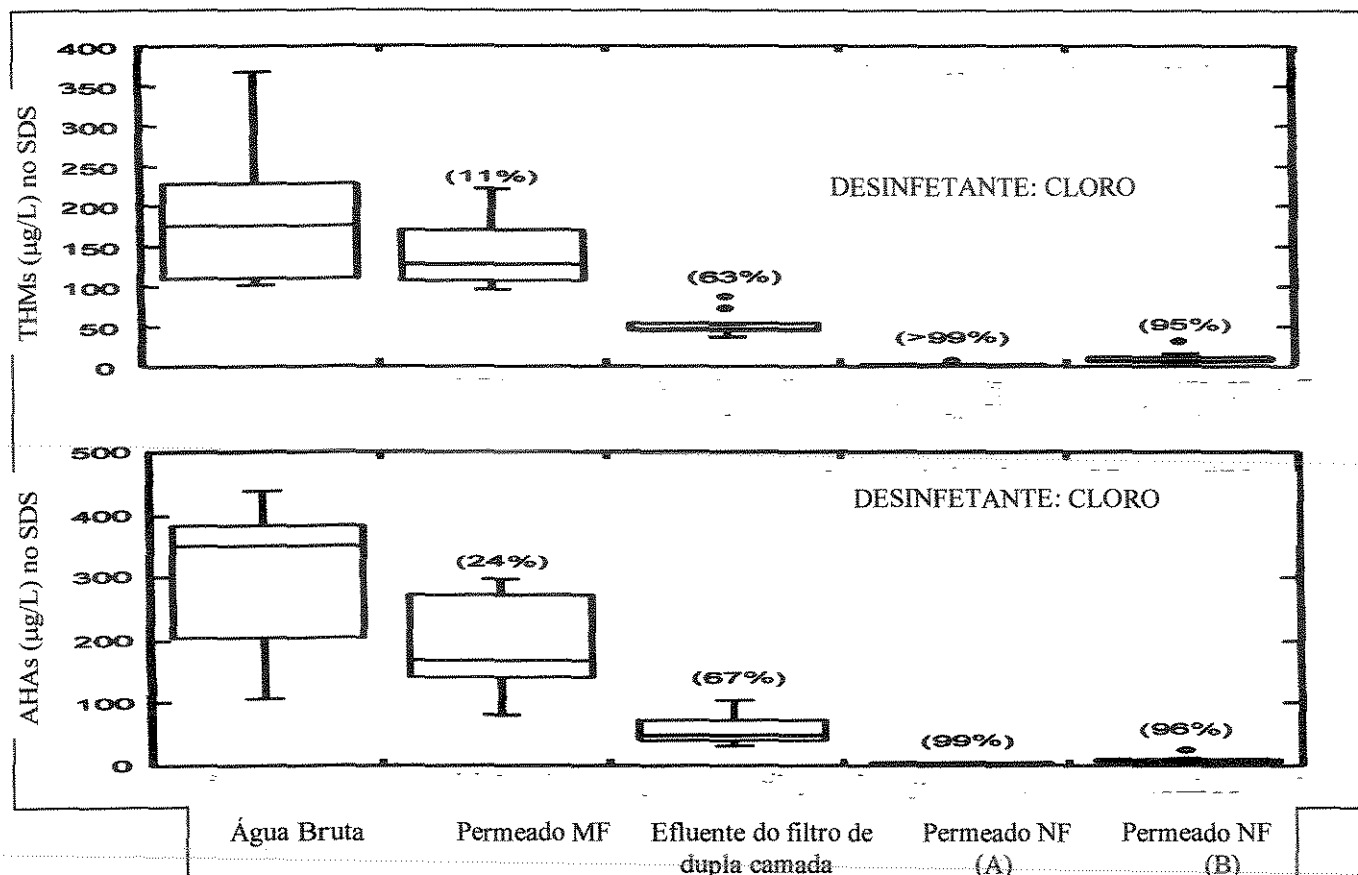


FIG. 35: Remoção de precursores de THMs e AHAs no SDS por MF, tratamento convencional e NF.

FONTE: JACANGELO & WATSON, 1995.

Os pesquisadores continuam a explorar as possibilidades de uso das membranas, assegurando a diminuição dos SPDs, principalmente em ETAs de pequeno porte (HARMS, 1999) e inúmeras patentes estão sendo concedidas. A antecipação de leis mais rigorosas, diminuindo a disponibilidade de mananciais adequados, faz com que mais pesquisas se façam necessárias sobre o uso de processos de filtração por membranas. A produção diária da ETA e o custo do investimento e de tratamento são, também, de grande importância para avaliar o uso otimizado dos processos de membranas na linha de tratamento de água de abastecimento. Porém, para as ETAs brasileiras, o custo ainda é muito elevado e as membranas só podem ser utilizadas em tratamentos pontuais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A pesquisa foi realizada com água proveniente do Sistema Alto Cotia (SABESP), que abastece a região metropolitana da cidade de São Paulo. Esse sistema é composto por duas represas interligadas por um canal de 10 Km (leito do rio Cotia); a represa a montante (Pedro Beicht) regulariza as vazões, enquanto a represa a jusante (Cachoeira da Graça) é operada para sobrelevar o nível d'água para captação e transporte até a ETA Morro Grande. O sistema aquático é totalmente envolvido e protegido por uma reserva florestal composta de 10.000 ha de Mata Atlântica.

O Sistema Alto Cotia foi construído entre 1916 e 1933; atualmente, produz 1,3 m³ de água por segundo, abastecendo 400 mil habitantes distribuídos entre os municípios de Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Granja Viana, Itapequerica de Serra e parte da cidade de São Paulo (zona oeste).

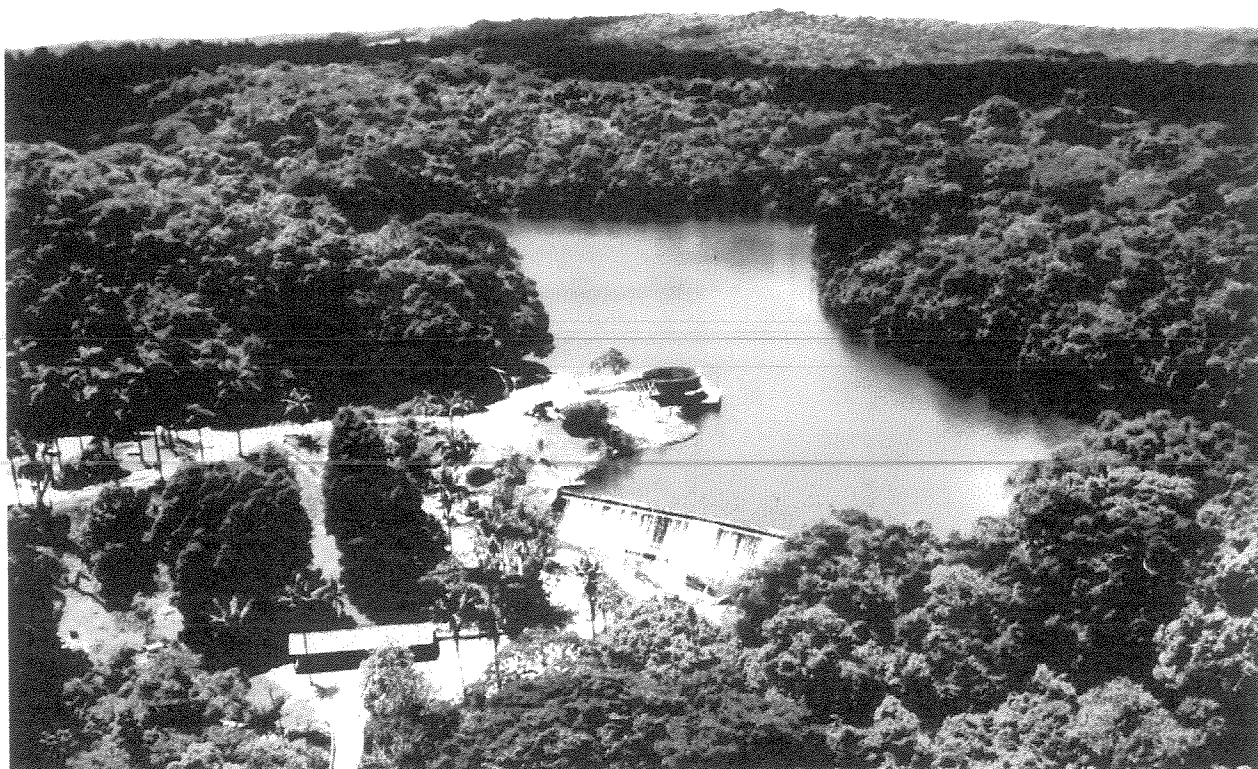


FIG. 36: Represa Cachoeira da Graça.
FONTE: SABESP, 2002.



FIG. 37: ETA Morro Grande – Sistema Alto Cotia.
FONTE: SABESP, 2002.

Neste estudo, foi escolhido o Sistema Alto Cotia, pois este apresenta problemas de formação de trihalometanos. Ambas as represas (Pedro Beicht e Cachoeira da Graça) são mananciais protegidos, contendo muita cobertura vegetal no entorno; dessa forma, a matéria orgânica é estritamente natural e pode-se fazer as correlações com os parâmetros substitutos utilizados nessa pesquisa; além disso, os resultados podem ser comparados com os citados na literatura. MACEDO et al. (1983) *apud* OLIVEIRA (2002) relatou concentrações médias de 103 µg/L na saída da ETA Morro Grande e de 143 µg/L no ponto de distribuição mais afastado da ETA.

O mesmo estudo não poderia ser aplicado, por exemplo, à Represa de Guarapiranga, onde a matéria orgânica é proveniente de despejos de esgotos sanitários.

4.2. ETAPAS DA PESQUISA

A investigação experimental foi desenvolvida nas dependências do Laboratório de Análise Instrumental da Faculdade de Engenharia da FAAP, no Laboratório de Hidráulica e Sanitária da USP e no Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil da UNICAMP.

O desenvolvimento da pesquisa foi dividido em duas (2) etapas.

4.2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA DO MANANCIAL

Semanalmente, entre os meses de setembro de 2001 e maio de 2002, foram coletados 60 litros de água, que ficaram armazenados em galões de 20 litros, à temperatura ambiente, durante o período da análise. O ponto de coleta foi na entrada da captação da ETA Morro Grande (Represa Cachoeira da Graça), ao nível da superfície.

As análises foram realizadas logo após a coleta e os parâmetros estudados para a água *in natura* foram: temperatura pH, alcalinidade, condutividade, turbidez, cor aparente e carbono orgânico total.

Os métodos utilizados para essas análises estão apresentados no *STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER*, 20ª Edição, 2000, publicado conjuntamente por *American Water Works Association* (AWWA), *American Public Health Association* (APHA) e *Water Environment Federation* (WEF).

4.2.2. ENSAIOS DE COAGULAÇÃO QUÍMICA (Teste dos Jarros)

Visando a otimização do tratamento por filtração direta, foram realizados ensaios de coagulação/floculação, usando-se dois (2) coagulantes: sulfato de alumínio [$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$] e cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$).

Quinzenalmente, as soluções dos coagulantes eram preparadas com concentração de 10 g/L (1% em massa).

Para o mecanismo de adsorção-neutralização de cargas, necessário para a filtração direta, os ensaios foram feitos entre os valores de pH de 3,5 e 5,0, com variação de 0,5 unidade. A dosagem dos coagulantes variou de 1,0 a 40,0 mg/L, com incrementos unitários entre 1,0 e 20,0 mg/L e de 5,0 mg/L entre 20,0 e 40,0 mg/L.

Para o mecanismo de varredura utilizado no tratamento convencional, os valores de pH variaram entre 5,5 e 9,5, com intervalos de 0,5 unidade. A dosagem aplicada dos coagulantes foi de 2,0, 5,0 e 8,0 mg/L para todos os valores de pH e variou entre 10,0 e 200 mg/L, com incrementos unitários entre 10,0 e 20,0 mg/L; de 5,0 mg/L entre 20,0 e 50,0 mg/L; de 10 mg/L entre 50,0 e 100 mg/L e de 50,0 mg/L entre 100,0 e 200,0 mg/L. Especificamente, para pH igual a 6,5, além das dosagens de coagulantes citadas, foram feitos ensaios com dosagens variando entre 1,0 e 6,0 mg/L.

Antes do início de cada teste, a água armazenada nos galões de 20 litros era homogeneizada, na caixa de homogeneização, através de agitação mecânica. Essa água era, então, transferida para béckers de 2 litros e, sob agitação magnética, tinha o valor do pH corrigido até o valor desejado, com auxílio de ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH). Com ajuda de provetas de 1 litro, a água era transferida para os jarros do aparelho de coagulação/floculação, os coagulantes eram adicionados nas condições operacionais indicadas na Tabela 35, e iniciava-se o ensaio.

TAB. 35: Condições operacionais da coagulação/floculação usadas na pesquisa.

ETAPAS	MECANISMOS DE COAGULAÇÃO				
	ADSORÇÃO-NEUTRALIZAÇÃO	VARREDURA			
Mistura Rápida	$G = 250 \text{ s}^{-1}$ $t = 1 \text{ min}$	$G = 100 \text{ s}^{-1}$ $t = 5 \text{ min}$			
Floculação	$G = 20 \text{ s}^{-1}$ $t = 3 \text{ min}$	G (s^{-1})	80	50	20
		t (min)	10	10	10

Imediatamente após o término da agitação lenta, foi feita a coleta de 250 mL da água coagulada/floculada seguida de filtração em papel de filtro *WHATMAN 40*, reproduzindo as condições da filtração direta. Os filtrados foram subdivididos em: 50 mL foram analisados em relação à temperatura, pH, alcalinidade, condutividade e turbidez; outros 50 mL sofreram nova filtração em membrana 0,45 μm , sendo que esses novos filtrados foram analisados em relação à cor verdadeira, UV-254 e carbono orgânico dissolvido; outros 150 mL foram reservados para a realização de ensaios em duplicata.

Para a determinação da cor aparente, cor verdadeira e UV-254, os valores de pH foram corrigidos para 7,6, com auxílio de HCl e NaOH; para as análises de COT e COD, as amostras foram acidificadas até pH igual a 2,0. Todas as amostras foram mantidas a 4°C até o momento da análise.

Comparando os parâmetros de qualidade das águas bruta e tratada, foi determinado o percentual de redução desses parâmetros, depois do tratamento; com os resultados do COD e UV-254 foi determinado o parâmetro substituto AUE, que é indicativo de substâncias húmicas presentes na água. Dessa forma, pode-se ter uma idéia da concentração dos precursores de THMs.

4.3. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

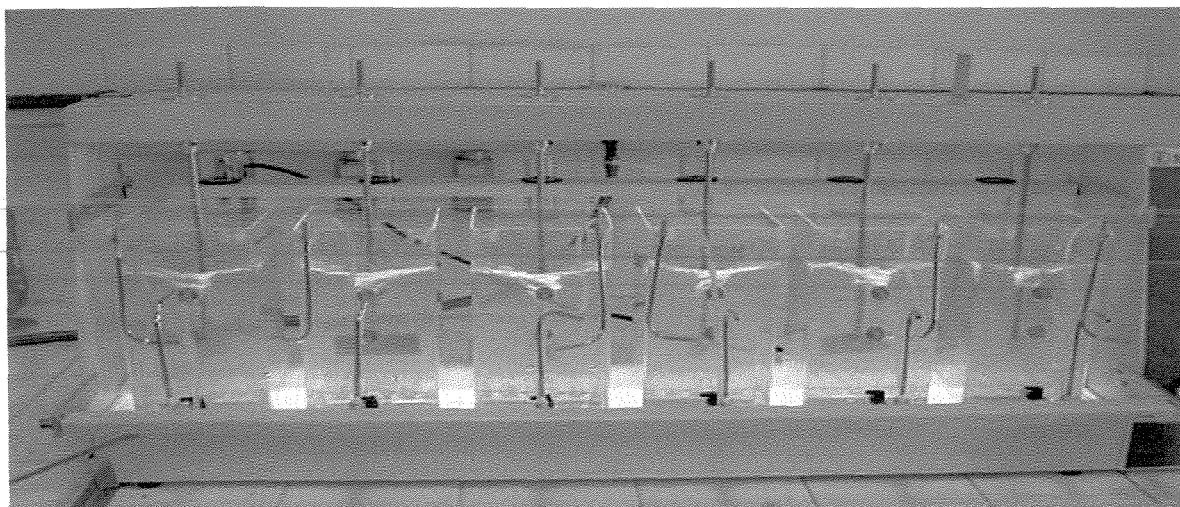
Para cada etapa da pesquisa, foram usados diferentes equipamentos, explicitados nos sub-ítem seguintes.

4.3.1. EQUIPAMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DAS ÁGUAS BRUTA E TRATADA

Os equipamentos empregados na determinação dos parâmetros de qualidade das águas *in natura* e tratada, após filtração em papel de filtro *WHATMAN 40* e membrana 0,45 µm foram: agitador magnético *QUIMIS*, modelo 0261-1; agitador mecânico *ISMATEC*, modelo R-100 C; analisador de carbono orgânico *SHIMADZU*, modelo TOC 5000-A; balança analítica *SCIEN TECH*, modelo SA-210; bomba de vácuo *FABBE PRIMAR*, modelo 166; condutivímetro *PROCYON*, modelo 88; deionizador de água *MILLIPORE*, modelo milli-Q plus; espectrofotômetro *HACH*, modelo DR-2010, para determinação da cor; espectrofotômetro *SHIMADZU*, modelo UV-1203, para determinação do UV-254; potenciômetro digital de bancada *SENSOGLASS*, modelo SP-769 T; termômetro digital de campo *HANNA*, modelo checktemp; termômetro de mercúrio, com faixa de medição compreendida entre -10 e 150°C, com variação de 0,1 grau; turbidímetro *HACH*, modelo 2100-N.

4.3.2. EQUIPAMENTO PARA ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Para os ensaios de coagulação/floculação, foi utilizado o aparelho fabricado por *POLICONTROL*, modelo Floc Control II, com controle microprocessado programável semi-automático (Figura 38). Este aparelho é integrado por um conjunto de seis (6) jarros de acrílico, com volumes individuais úteis de 2 litros; em planta, esses jarros têm seção quadrada e medem 11,5 cm de lado, altura total de 21 cm e paredes com espessura de 5 mm, sem paletas estatoras. O agitador é constituído de um eixo vertical com $\phi = 12$ mm e o rotor de agitação é feito de aço inox com área de 30 cm². O aparelho opera com distribuição simultânea de coagulante, coletor múltiplo de amostras e ajuste de velocidade contínuo, variando entre 10 e 150 rpm.



**FIG. 38: Aparelho Floc Control II .
Laboratório de Análise Instrumental da FAAP.**

4.4. MATERIAIS UTILIZADOS

Além dos equipamentos utilizados, foi necessário o uso dos seguintes materiais: caixa de homogeneização com volume útil de 10 L; frascos de vidro âmbar de 100 mL com tampas rosqueadas; membrana 0,45 μ m *SCHLEICHER & SCHUELL* com $\phi = 47$ mm; papel de filtro *WHATMAN 40* cat.1440 125; pipetadores automáticos *KACIL*, modelos 5/25 e 50/250 μ L; suporte para filtração a vácuo *MILLIPORE* com capacidade de 250 mL; vidrarias e materiais comuns de laboratório.

4.5. PRODUTOS QUÍMICOS UTILIZADOS

Os produtos químicos empregados nas várias etapas da pesquisa estão descritos na Tabela 36.

TAB. 36: Produtos químicos empregados nos ensaios.

PRODUTO QUÍMICO	ORIGEM	CONCENTRAÇÃO	UTILIZAÇÃO
Ácido Clorídrico (HCl)	NALGON	0,1 N	Acerto do pH da água
Ácido Sulfúrico (H₂SO₄)	NALGON	0,1 N	Preparação da solução ácida 0,02 N para determinação da alcalinidade
Arsenito de Sódio (Na₂AsO₃)	BAKER	—	Eliminação dos interferentes na determinação do cloro residual
Cloreto férrico P.A. anidro (FeCl₃ . 6H₂O)	QEEL	—	Coagulante
Hidróxido de Sódio (NaOH)	NALGON	0,1 N	Acerto do pH da água
Hipoclorito de Sódio (NaClO)	NALGON	5 – 6%	Cloração
Solução de Ortotolidina	NALGON	—	Determinação do cloro residual
Solução Tampão pH = 4,0	NALGON	—	Calibração do potenciômetro
Solução Tampão pH = 7,0	NALGON	—	Calibração do potenciômetro
Sulfato de alumínio P.A. anidro [Al₂(SO₄)₃ . 18 H₂O]	NALGON	—	Coagulante
Tampão Fosfato pH = 7,0	NALGON	—	Cloração

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi realizado um total de 690 ensaios para os dois coagulantes, dos quais 192 compreenderam a região de adsorção-neutralização de cargas (valores de pH entre 3,5 e 5,0) e 498 para a região de varredura (valores de pH entre 5,5 e 9,5).

As medidas dos parâmetros de qualidade das águas bruta e clarificada, de interesse desta pesquisa, abrangeram os valores de pH e os parâmetros substitutos para determinação de substâncias húmicas na água, ou seja: turbidez, cor verdadeira, UV-254, COD, AOVE e PFTTHMs.

5.1. CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA BRUTA DO MANANCIAL

A água da Represa Cachoeira da Graça, que compõe o Sistema Alto Cotia e onde foram feitas as coletas, está rodeada por vasta cobertura vegetal, garantindo a presença de matéria orgânica natural necessária a esse estudo.

A Tabela 37 contém os valores médios dos parâmetros de qualidade da água bruta entre os meses de setembro/2001 e maio/2002.

TAB. 37: Valores médios dos parâmetros de qualidade da água bruta entre setembro/2001 e maio/2002.

Análises	Temperatura (°C)	Variação do pH	Turbidez (uT)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	Condutividade $\mu\text{S.cm}^{-1}$	Cor Aparente (uC)	Cor Verdadeira (uC)	UV-254 (cm^{-1})	COT (ppm)	COD (ppm)	AUVE (L/mg.m)
1	24,4	5,69	5,28	3	23,64	105	79	0,257	7,6	7,5	3,4
2	27,6	5,02	3,80	1	22,07	87	51	0,238	6,8	6,4	3,7
3	27,2	5,64	6,74	6	37,28	126	20	0,214	8,0	4,6	4,7
4	24,1	5,53	6,31	3	29,83	117	44	0,233	8,0	5,7	4,1
5	25,2	5,97	4,02	4	24,81	89	27	0,221	6,6	4,5	4,9
6	28,2	5,92	3,65	5	28,40	81	36	0,227	7,0	5,6	4,0
7	26,3	5,79	4,87	5	34,41	97	21	0,218	7,2	4,4	4,9
8	29,6	5,61	1,99	11	41,17	62	62	0,245	5,4	7,2	3,4
9	27,5	5,35	2,75	2	32,19	74	69	0,247	5,8	6,3	3,9
10	27,5	5,35	2,75	2	32,19	74	69	0,247	5,8	6,3	3,9
11	26,1	5,68	7,93	4	25,10	139	93	0,264	9,3	9,0	2,9
12	26,1	5,68	7,93	4	25,10	139	93	0,264	9,3	9,0	2,9
13	26,1	5,68	7,93	4	25,10	139	93	0,264	9,3	9,0	2,9
14	26,1	5,68	7,93	4	25,10	139	93	0,264	9,3	9,0	2,9
15	28,1	6,04	3,54	6	20,71	79	30	0,225	6,2	5,5	4,1
16	28,1	6,04	3,54	6	20,71	79	30	0,225	6,2	5,5	4,1
17	23,8	5,98	2,20	6	28,32	63	26	0,221	5,5	4,5	5,0
18	23,8	5,98	2,20	6	28,32	63	26	0,221	5,5	4,5	5,0
19	23,8	5,98	2,20	6	28,32	63	26	0,221	5,5	4,5	5,0
20	23,8	5,98	2,20	6	28,32	63	26	0,221	5,5	4,5	5,0
21	23,8	5,98	2,20	6	28,32	63	26	0,221	5,5	4,5	5,0
22	23,8	5,98	2,20	6	28,32	63	26	0,221	5,5	4,5	5,0
23	23,8	5,98	2,20	6	28,32	63	26	0,221	5,5	4,5	5,0
24	23,8	5,98	2,20	6	28,32	63	26	0,221	5,5	4,5	5,0
25	27,6	5,26	2,25	2	21,97	69	32	0,226	5,6	5,5	4,1
26	27,6	5,26	2,25	2	21,97	69	32	0,226	5,6	5,5	4,1
27	27,6	5,26	2,25	2	21,97	69	32	0,226	5,6	5,5	4,1
28	27,6	5,26	2,25	2	21,97	69	32	0,226	5,6	5,5	4,1
29	23,8	5,98	2,20	6	28,32	63	26	0,221	5,5	4,5	5,0
30	27,6	5,26	2,25	2	21,97	69	32	0,226	5,5	5,5	4,1
31	24,4	6,46	1,37	4	25,40	50	13	0,207	5,0	3,8	5,5
32	24,8	5,29	1,56	5	29,22	56	23	0,219	5,0	4,9	4,5
33	24,4	6,46	1,42	5	25,40	54	17	0,217	5,1	4,2	5,1
34	21,2	6,20	3,69	4	34,59	84	24	0,223	6,9	5,3	4,2
MÉDIA	25,7	5,02 – 6,46	3,53	4	27,27	82	41	0,231	6,4	5,6	4,3

Resultados semelhantes aos obtidos por EDZWALD et al. (1985) foram comprovados, apontando correlações lineares entre os parâmetros turbidez e cor aparente, turbidez e COT, cor verdadeira e UV-254, cor verdadeira e COD, Cód e UV-254 e COD e AUV, conforme mostrado na Figura 39.

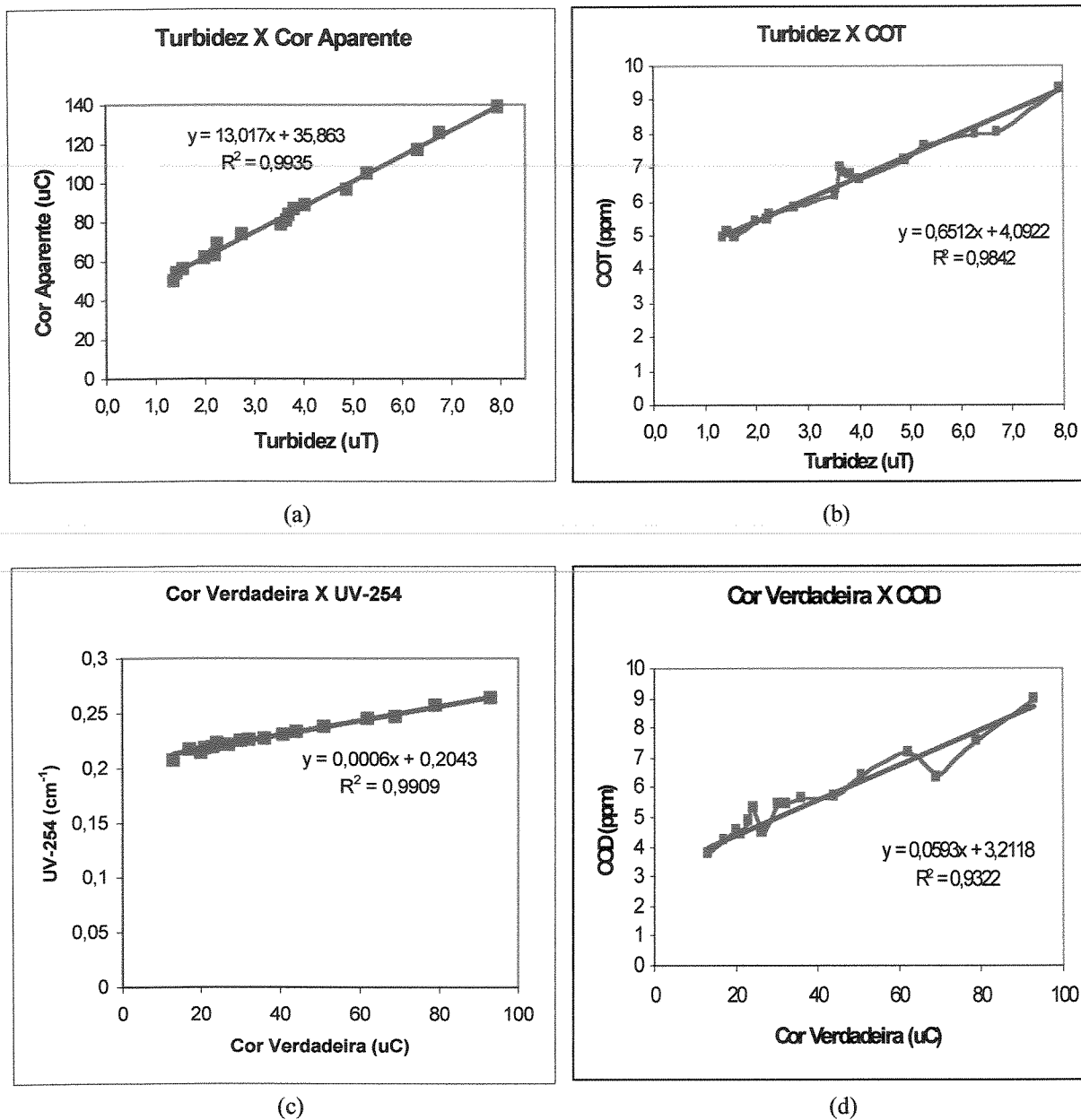


FIG. 39: Correlações entre os parâmetros de qualidade da água bruta:

- (a): turbidez X cor aparente;**
- (b): turbidez X COT;**
- (c): cor verdadeira X UV-254;**
- (d): cor verdadeira X COD.**

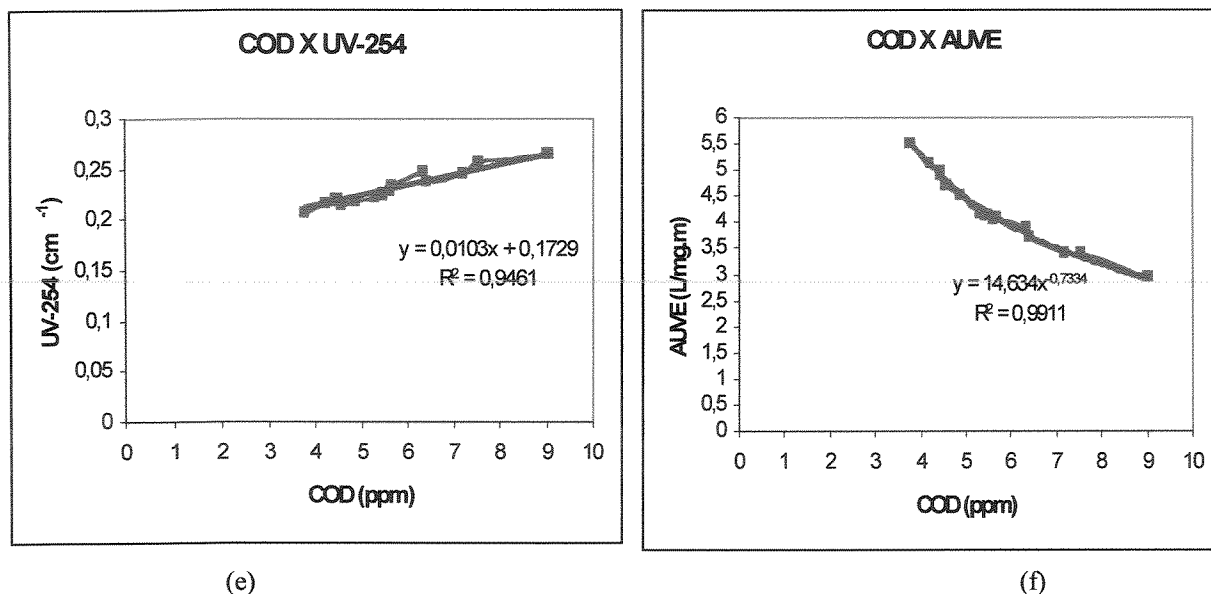


FIG. 39: Correlações entre os parâmetros de qualidade da água bruta (continuação):
(e): COD X UV-254;
(f): COD X AUE.

A água do manancial apresentou baixa turbidez e elevada cor, indicando forte propensão à formação de THMs, após a cloração, confirmando as citações feitas por MACEDO et al. (1983).

Os dados da ETA Morro Grande, Sistema Alto Cotia, estão representados na Figura 40. A Tabela 38 contém os dados da análise de THMs da ETA Morro Grande, no período de junho de 1997 a fevereiro de 2002, num total de 62 análises e média de 65,9 µg/L. O ponto de coleta da água para análise (5F2) é na saída do reservatório da água tratada.

Nota-se que, em janeiro de 2002, houve extrapolação do limite de 100 µg/L. Este fato pode ser explicado pelo alto índice pluviométrico que atingiu a região do Sistema Alto Cotia, provocando um maior carreamento de matéria orgânica para as águas das Represas Pedro Beicht e Cachoeira da Graça. O índice AUE que relaciona os parâmetros UV-254 e COD, para essa pesquisa também aumentou, como pode ser visto na Tabela 37, análises 17 a 24.

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO ALTO COTIA

Resumo Estatístico

período	número de análises	média	máximo	n° de dados fora do padrão
Jun/97 a Fev/02	62	65,94	123,00	8

Resumo para o QUALSIN - ETA Alto Cotia

Trihalometanos	µg/L	máx. 100	Jun/97 a Fev/0	62	65,94	123,00
Clorofórmio	µg/L	-	Jun/97 a Fev/0	61	59,19	123,00

Trihalometanos - ETA Alto Cotia

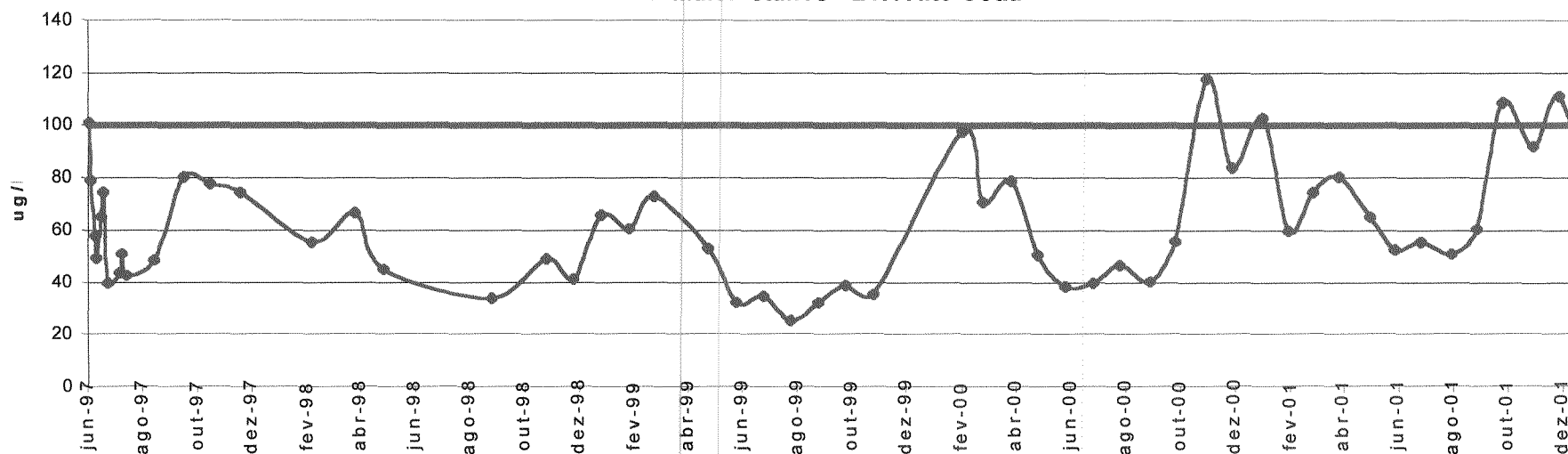


FIG. 40: Análises de THMs da ETA Morro Grande, Sistema Alto Cotia

TAB. 38: Análise de THMs da ETA Morro Grande, Sistema Alto Cotia.

FONTE: Departamento de Controle de Qualidade da Produção, SABESP, 2002.

ANÁLISE DE TRIHALOMETANOS - THM										
ESTÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA DO ALTO COTIA										
data coleta	Clorofórmio		Bromodiclorometano		Diclorodibromometano		Bromofórmio		THM	
		24 h		24 h		24 h		24 h		24 h
9/6/1997	94,00	170,20	7,20	6,40	-	-	-	-	101,20	176,60
11/6/1997	72,20	108,00	7,00	6,80	-	-	-	-	79,20	114,80
16/6/1997	51,60	104,40	6,40	7,20	-	-	-	-	58,00	111,60
18/6/1997	44,00	75,80	5,60	6,80	-	-	-	-	49,60	82,60
23/6/1997	58,80	122,00	6,60	7,20	-	-	-	-	65,40	129,20
25/6/1997	69,40	126,40	5,20	7,60	-	-	-	-	74,60	134,00
30/6/1997	36,60	65,80	3,40	8,00	-	-	-	-	40,00	73,80
14/7/1997	38,00	75,00	5,80	10,40	-	-	-	-	43,80	85,40
16/7/1997	45,00		6,20		-		-		51,20	
21/7/1997	35,80	61,20	7,00	9,00	-	-	-	-	42,80	70,20
21/8/1997	41,30	66,10	7,30	8,70	-	-	-	-	48,60	74,80
23/9/1997	75,60	127,00	5,00	8,60	-	-	-	-	80,60	135,60
22/10/1997	70,80		7,00		-		-		77,80	
24/11/1997	70,00	132,00	4,80	8,00	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	74,80	140,00
13/2/1998	50,00		5,80		-		-		55,80	
1/4/1998	62,00		5,00		-		-		67,00	
4/5/1998	40,00		5,20		-		-		45,20	
1/9/1998	29,00		4,90		-		-		33,90	
1/11/1998	43,00		6,20		<2,0		<2,0		49,20	
1/12/1998	37,00		4,60		<2,0		<2,0		41,60	
1/1/1999	62,00		4,20		<2,0		<2,0		66,20	
1/2/1999	58,00		2,70		<2,0		<2,0		60,70	
1/3/1999	68,00		5,20		<2,0		<2,0		73,20	
1/5/1999	47,10		6,10		<2,0		<2,0		53,20	
1/6/1999	29,10		3,30		<2,0		<2,0		32,40	
1/7/1999	30,20		4,50		<2,0		<2,0		34,70	
1/8/1999	25,40		<5,0		<5,0		<5,0		25,40	
1/9/1999	27,30		5,20		<5,0		<5,0		32,50	
1/10/1999	33,00		6,00		<5,0		<5,0		39,00	
1/11/1999	29,00		6,60		<5,0		<5,0		35,60	
8/2/2000	85,10		13,00		<5,0		<5,0		98,10	
2/3/2000	60,40		10,60		<5,0		<5,0		71,00	
3/4/2000	66,80		12,10		<5,0		<5,0		78,90	
3/5/2000	41,00		9,90		<5,0		<5,0		50,90	
2/6/2000	30,30		8,20		<5,0		<5,0		38,50	
3/7/2000	31,00		9,00		<5,0		<5,0		40,00	
2/8/2000	37,90		8,90		<5,0		<5,0		46,80	
4/9/2000	33,50		6,90		<5,0		<5,0		40,40	
2/10/2000	46,50		9,50		<5,0		<5,0		56,00	
6/11/2000	104,00		14,00		<5,0		<5,0		118,00	
4/12/2000	71,00		13,00		<5,0		<5,0		84,00	
8/1/2001	91,00		12,00		<5,0		<5,0		103,00	
5/2/2001	47,00		13,00		<5,0		<5,0		60,00	
5/3/2001	67,00		7,80		<5,0		<5,0		74,80	
2/4/2001	73,00		7,60		<5,0		<5,0		80,60	
7/5/2001	57,00		8,40		<5,0		<5,0		65,40	
4/6/2001	46,00		6,70		<5,0		<5,0		52,70	
2/7/2001	49,00		6,70		<5,0		<5,0		55,70	
6/8/2001	46,00		5,00		<5,0		<5,0		51,00	
3/9/2001	51,00		9,70		<5,0		<5,0		60,70	
1/10/2001									109,00	
5/11/2001	81,00		11,00		<5,0		<5,0		92,00	
3/12/2001	106,00		5,40		<5,0		<5,0		111,40	
7/1/2002	76,00		<5,0		<5,0		<5,0		76,00	
14/1/2002	76,00		<5,0		<5,0		<5,0		76,00	
17/1/2002	112,00		<5,0		<5,0		<5,0		112,00	
18/1/2002	123,00		<5,0		<5,0		<5,0		123,00	
21/1/2002	112,00		<5,0		<5,0		<5,0		112,00	
30/1/2002	73,00		<5,0		<5,0		<5,0		73,00	
4/2/2002	86,00		<5,0		<5,0		<5,0		86,00	
18/2/2002	73,00		<5,0		<5,0		<5,0		73,00	
25/2/2002	85,00		<5,0		<5,0		<5,0		85,00	

5.2. ENSAIOS DE COAGULAÇÃO QUÍMICA

5.2.1. Ensaio realizado com Sulfato de Alumínio no Mecanismo de Adsorção-Neutralização:

A comprovação das correlações lineares entre os parâmetros substitutos para determinação de substâncias húmicas na água, permitiu considerar o parâmetro de cor verdadeira como indicador para a redução do material orgânico contido na água do manancial.

A Tabela 39 contém os dados pertinentes aos ensaios realizados no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas, com utilização de sulfato de alumínio como coagulante. Os valores de G e T para a mistura rápida e floculação estão explicitados no Capítulo 4.

TAB. 39: Valores obtidos nos ensaios de coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas com sulfato de alumínio.

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH final	Turbidez final (uT)	Cor Verdadeira (uC)		Remoção de Cor (%)
					inicial	final	
1	1	1	3,61	4,52	79	58	27
	2	2	4,08	4,68		48	39
	3	3	3,64	4,89		58	27
	4	4	4,21	5,05		51	35
	5	5	4,01	5,03		46	42
	6	6	4,04	5,01		53	33
2	1	7	3,42	3,00	51	48	6
	2	8	3,48	2,81		30	41
	3	9	3,45	2,54		35	31
	4	10	3,46	2,74		36	29
	5	11	3,45	2,16		31	39
	6	12	3,43	2,08		27	47
3	1	13	3,34	2,20	20	18	10
	2	14	3,42	1,72		12	40
	3	15	3,39	1,72		16	20
	4	16	3,38	1,99		15	25
	5	17	3,39	1,88		17	15
	6	18	3,40	1,35		6	20
4	1	19	3,54	3,21	44	30	32
	2	20	3,55	2,46		29	34
	3	25	3,65	2,41		32	27
	4	30	3,69	2,34		34	23
	5	35	3,75	2,55		31	30
	6	40	3,71	1,80		26	41
5	1	1	4,19	2,76	27	22	19
	2	2	4,13	2,72		15	44
	3	3	4,09	2,82		25	7
	4	4	3,91	2,60		27	0
	5	5	4,06	2,20		15	44
	6	6	3,93	1,82		14	48

TAB. 39: Valores obtidos nos ensaios de coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas com sulfato de alumínio (continuação).

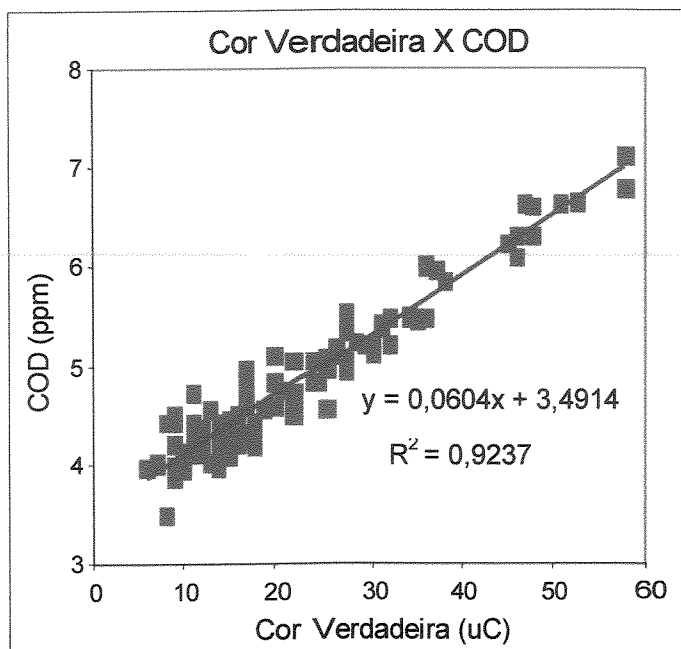
Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH final	Turbidez final (uT)	Cor Verdadeira (uC)		Remoção de Cor (%)
					inicial	final	
6	1	7	2,94	2,10	36	26	28
	2	8	2,97	2,40		17	53
	3	9	2,95	2,13		18	50
	4	10	2,87	2,01		24	33
	5	11	2,90	1,71		21	42
	6	12	3,19	1,62		19	47
7	1	13	2,41	1,42	21	16	24
	2	14	3,75	1,39		11	48
	3	15	2,91	2,30		14	33
	4	16	3,23	1,27		12	43
	5	17	2,18	0,94		11	48
	6	18	3,92	1,30		14	33
8	1	19	3,59	1,57	62	35	44
	2	20	3,48	1,31		22	65
	3	25	3,57	1,59		13	79
	4	30	3,60	1,43		20	68
	5	35	3,34	0,93		22	65
	6	40	3,16	1,22		10	84
9	1	1	3,25	2,74	69	25	64
	2	2	3,23	2,53		14	80
	3	3	4,25	2,17		14	80
	4	4	3,27	2,42		13	81
	5	5	2,74	2,36		12	83
	6	6	3,30	2,16		11	84
10	1	7	3,92	2,64	69	17	75
	2	8	3,91	1,59		10	86
	3	9	3,69	1,35		17	75
	4	10	3,62	0,67		10	86
	5	11	3,60	0,56		9	87
	6	12	3,36	0,39		14	80
11	1	13	3,60	1,48	93	28	70
	2	14	3,44	0,80		20	78
	3	15	4,22	0,77		17	82
	4	16	4,20	0,91		17	82
	5	17	3,99	0,89		11	88
	6	18	4,20	0,75		9	90
12	1	19	4,49	3,23	93	45	52
	2	20	4,45	3,41		47	49
	3	25	4,29	1,92		36	61
	4	30	4,03	1,77		38	59
	5	35	4,25	1,44		34	63
	6	40	4,23	2,05		36	61
13	1	1	4,97	3,42	93	46	51
	2	2	4,96	3,78		37	60
	3	3	4,94	4,15		32	66
	4	4	4,93	4,54		27	71
	5	5	4,91	4,03		27	71
	6	6	4,80	5,13		27	71

TAB. 39: Valores obtidos nos ensaios de coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas com sulfato de alumínio (continuação).

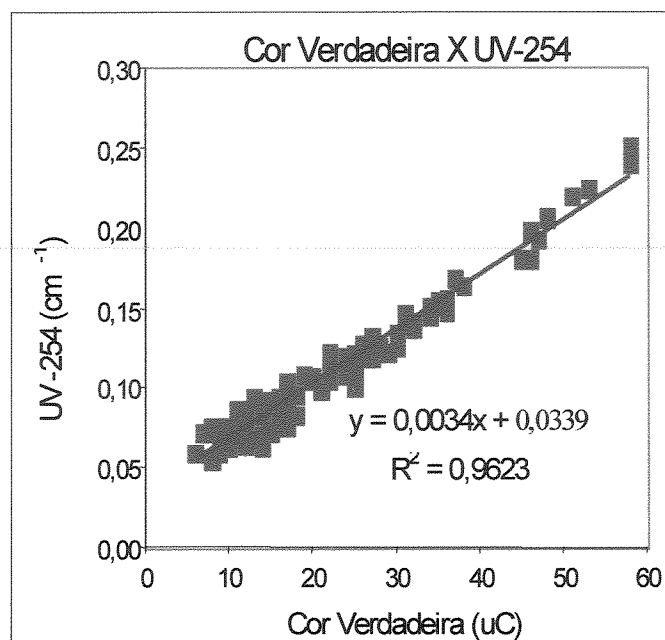
Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH final	Turbidez final (uT)	Cor Verdadeira (uC)		Remoção de Cor (%)
					inicial	final	
14	1	7	4,78	4,53	93	27	71
	2	8	4,81	4,79		24	74
	3	9	4,84	5,12		20	78
	4	10	4,82	5,17		22	76
	5	11	4,83	5,19		25	73
	6	12	4,83	5,23		27	71
15	1	13	4,72	3,18	30	18	40
	2	14	4,65	2,24		15	50
	3	15	4,57	1,15		8	73
	4	16	4,53	1,11		11	63
	5	17	4,50	1,06		10	67
	6	18	4,48	1,03		9	70
16	1	19	4,50	1,05	30	9	70
	2	20	4,50	1,02		6	80
	3	25	4,44	1,10		8	73
	4	30	4,43	0,98		7	77
	5	35	4,34	0,92		7	77
	6	40	4,37	0,94		9	70

Pela Tabela 39, pode-se notar que durante ensaio 11, amostra 6, obteve-se uma remoção de 91% para a turbidez e 90% para a cor, com uma dosagem de alumínio de 19 mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3/\text{L}$ e valor de pH igual a 4,20; nessas mesmas condições, as remoções de COD, UV-254 e AUVe foram, respectivamente, 53, 72 e 43%.

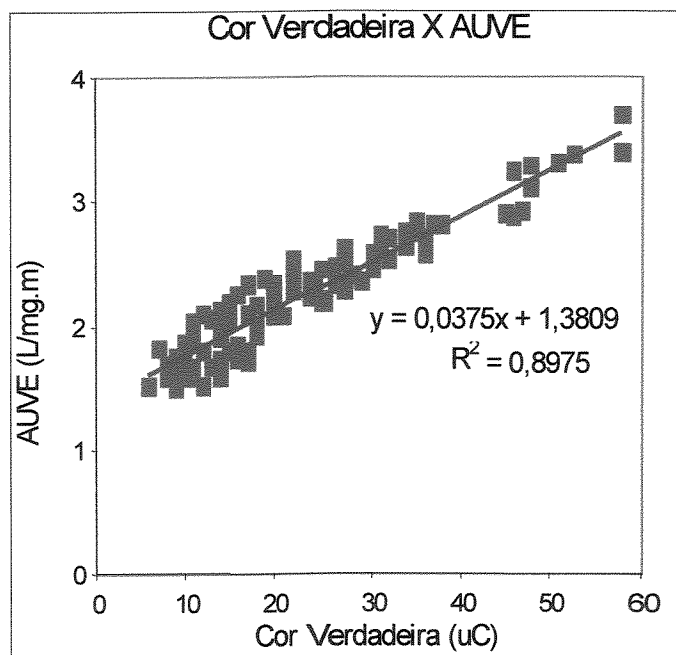
As correlações entre os parâmetros substitutos obtidas nos ensaios de coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização usando sulfato de alumínio como coagulante estão mostradas na Figura 41.



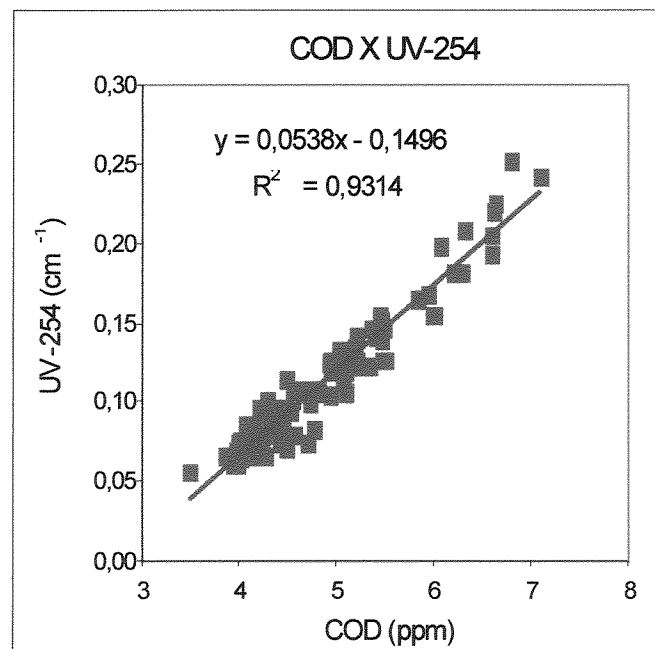
(a)



(b)



(c)



(d)

FIG. 41: Correlações entre os parâmetros substitutos da água clarificada por $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas.

5.2.2. Ensaio realizado com Sulfato de Alumínio no Mecanismo de Varredura:

A Tabela 40 apresenta os dados relativos aos ensaios de coagulação realizados no mecanismo de varredura, utilizando-se sulfato de alumínio como coagulante. Os valores de G e T para esses novos ensaios estão mostrados no Capítulo 4.

TAB. 40: Valores obtidos na coagulação por varredura com $Al_2(SO_4)_3$.

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH final	Turbidez final (uT)	Cor Verdadeira (uC)		Remoção de Cor (%)
					inicial	final	
1	1	10	3,78	4,66	79	54	32
	2	11	4,09	4,61		42	47
	3	12	3,95	4,72		41	48
	4	13	3,79	3,75		47	41
	5	14	3,87	3,22		38	52
	6	15	3,97	2,82		41	48
2	1	16	4,38	0,61	51	19	63
	2	17	4,09	0,78		18	65
	3	18	3,90	0,77		18	65
	4	19	3,91	0,82		19	63
	5	20	3,95	0,79		19	63
	6	25	3,89	0,56		14	73
3	1	30	3,61	0,40	20	6	70
	2	35	3,64	0,78		5	75
	3	40	3,69	0,65		5	75
	4	45	3,69	0,69		3	85
	5	50	3,66	0,77		3	85
	6	60	3,89	0,32		2	90
4	1	70	3,88	1,11	44	9	80
	2	80	4,02	0,98		9	80
	3	90	4,08	1,01		9	80
	4	100	4,11	0,49		9	80
	5	150	4,04	0,72		8	82
	6	200	4,06	0,70		9	80
5	1	10	4,93	1,59	27	26	15
	2	11	4,74	1,03		14	48
	3	12	4,78	0,96		9	67
	4	13	4,85	0,79		7	74
	5	14	4,41	0,45		11	59
	6	15	4,91	0,68		10	63
6	1	16	5,55	3,18	36	31	14
	2	17	4,92	3,19		25	31
	3	18	4,94	2,52		22	39
	4	19	4,19	1,03		29	19
	5	20	3,66	0,45		18	50
	6	25	4,17	0,66		16	56

TAB. 40: Valores obtidos na coagulação por varredura com $Al_2(SO_4)_3$ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH final	Turbidez final (uT)	Cor Verdadeira (uC)		Remoção de Cor (%)
					inicial	final	
7	1	30	4,34	0,54	21	3	86
	2	35	4,49	0,49		0	100
	3	40	3,68	0,41		0	100
	4	45	3,65	0,42		0	100
	5	50	3,89	0,72		0	100
	6	60	3,71	0,83		0	100
8	1	70	3,34	0,49	62	5	92
	2	80	2,30	0,54		7	89
	3	90	2,02	0,46		11	82
	4	100	2,25	0,82		6	90
	5	150	2,11	0,41		14	77
	6	200	2,06	0,52		5	92
9	1	10	6,30	2,44	69	23	67
	2	11	5,24	2,09		17	75
	3	12	6,30	2,05		14	80
	4	13	6,14	1,38		15	78
	5	14	6,10	0,95		15	78
	6	15	6,01	0,51		13	81
10	1	16	6,10	0,51	69	9	87
	2	17	6,12	1,09		4	94
	3	18	6,29	0,90		2	97
	4	19	5,96	0,48		8	88
	5	20	5,36	0,35		5	93
	6	25	4,53	0,28		4	94
11	1	30	4,43	0,26	93	23	75
	2	35	4,38	0,23		30	68
	3	40	4,21	0,35		29	69
	4	45	4,20	0,36		21	77
	5	50	4,29	0,25		32	66
	6	60	4,26	0,28		23	75
12	1	70	4,31	0,45	93	22	76
	2	80	4,25	0,88		29	69
	3	90	4,30	0,78		21	77
	4	100	4,32	0,37		23	75
	5	150	4,20	0,83		21	77
	6	200	4,25	0,53		27	71
13	1	10	6,80	2,25	93	31	67
	2	11	6,72	3,57		25	73
	3	12	6,36	3,42		16	83
	4	13	6,52	3,31		19	80
	5	14	6,64	3,29		26	72
	6	15	6,47	3,54		26	72
14	1	16	6,24	3,49	93	24	74
	2	17	6,33	3,30		14	85
	3	18	6,30	3,27		9	90
	4	19	6,45	3,20		10	89
	5	20	6,60	3,26		9	90
	6	25	6,70	3,27		9	90

TAB. 40: Valores obtidos na coagulação por varredura com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH final	Turbidez final (uT)	Cor Verdadeira (uC)		Remoção de Cor (%)
					inicial	final	
15	1	30	5,43	2,17	30	4	87
	2	35	5,22	1,07		3	90
	3	40	4,91	0,54		2	93
	4	45	4,87	0,62		0	100
	5	50	4,63	0,74		0	100
	6	60	4,58	0,88		0	100
16	1	70	4,57	0,92	30	0	100
	2	80	4,62	0,80		0	100
	3	90	4,64	0,97		0	100
	4	100	4,65	2,66		0	100
	5	150	4,58	0,39		0	100
	6	200	4,71	5,45		0	100
17	1	10	6,38	1,70	26	4	85
	2	11	6,37	1,63		2	92
	3	12	6,38	1,51		8	69
	4	13	6,50	1,47		3	88
	5	14	6,60	1,40		0	100
	6	15	6,60	0,94		1	96
18	1	16	6,58	0,65	26	0	100
	2	17	6,60	0,53		1	96
	3	18	6,74	0,37		0	100
	4	19	6,03	0,42		1	96
	5	20	6,01	0,40		0	100
	6	25	6,02	0,43		0	100
19	1	30	5,98	0,40	26	0	100
	2	35	5,13	0,38		1	96
	3	40	4,24	0,36		0	100
	4	45	4,20	0,54		1	96
	5	50	4,14	0,60		1	96
	6	60	4,09	0,66		0	100
20	1	70	4,10	0,92	26	4	85
	2	80	4,14	1,37		4	85
	3	90	4,17	1,43		3	88
	4	100	4,19	0,68		4	85
	5	150	4,28	1,09		14	46
	6	200	4,24	1,11		6	77
21	1	10	6,94	1,81	26	11	58
	2	11	6,73	1,79		15	42
	3	12	6,65	1,77		16	38
	4	13	6,65	1,65		18	31
	5	14	6,64	1,54		18	31
	6	15	6,53	1,43		10	62
22	1	16	6,47	1,27	26	6	77
	2	17	6,53	0,95		8	69
	3	18	6,63	0,43		1	96
	4	19	6,64	0,40		1	96
	5	20	6,66	0,37		0	100
	6	25	6,65	0,36		0	100

TAB. 40: Valores obtidos na coagulação por varredura com $Al_2(SO_4)_3$ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH final	Turbidez final (uT)	Cor Verdadeira (uC)		Remoção de Cor (%)
					inicial	final	
23	1	30	4,93	0,42	26	1	96
	2	35	4,85	0,55		1	96
	3	40	4,86	0,65		1	96
	4	45	4,53	0,33		3	96
	5	50	4,00	0,40		1	96
	6	60	4,15	0,41		0	100
24	1	70	4,00	0,45	26	1	96
	2	80	4,02	0,40		0	100
	3	90	4,10	0,73		0	100
	4	100	4,13	0,97		0	100
	5	150	4,17	0,76		1	96
	6	200	4,18	0,96		8	69
25	1	10	7,33	2,22	32	17	47
	2	11	7,15	2,21		11	66
	3	12	6,59	1,64		8	75
	4	13	6,43	1,60		8	75
	5	14	6,39	1,58		9	72
	6	15	6,31	1,38		7	78
26	1	16	6,25	1,15	32	7	78
	2	17	6,27	1,16		8	75
	3	18	6,51	1,08		6	81
	4	19	6,46	0,97		7	78
	5	20	6,32	0,88		7	78
	6	25	6,30	0,86		7	78
27	1	30	5,25	0,81	32	7	78
	2	35	5,15	0,67		2	94
	3	40	4,23	0,44		5	84
	4	45	4,13	0,41		4	88
	5	50	3,92	0,39		4	88
	6	60	3,85	0,34		4	88
28	1	70	3,87	1,10	32	4	88
	2	80	3,86	1,23		4	88
	3	90	3,92	1,89		3	91
	4	100	3,91	2,11		3	91
	5	150	3,93	3,38		4	88
	6	200	4,02	5,71		4	88
29	1	10	7,24	2,13	26	19	27
	2	11	7,21	2,15		21	19
	3	12	7,19	2,15		17	35
	4	13	6,95	2,18		15	42
	5	14	6,86	2,13		23	12
	6	15	6,80	2,10		18	31
30	1	16	6,97	2,24	32	13	59
	2	17	6,63	2,11		15	53
	3	18	6,45	1,94		11	66
	4	19	6,51	2,19		13	59
	5	20	6,57	2,20		12	63
	6	25	6,57	1,69		9	72

TAB. 40: Valores obtidos na coagulação por varredura com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH final	Turbidez final (uT)	Cor Verdadeira (uC)		Remoção de Cor (%)
					inicial	final	
31	1	30	6,51	1,15	13	11	15
	2	35	6,53	0,74		9	31
	3	40	6,54	0,58		7	46
	4	45	6,28	0,52		5	62
	5	50	6,11	0,45		4	69
	6	60	6,16	0,38		3	77
32	1	70	5,47	0,37	23	3	87
	2	80	4,47	0,40		2	91
	3	90	4,39	0,63		3	87
	4	100	4,02	0,89		3	87
	5	150	3,91	2,59		2	91
	6	200	4,00	5,57		5	78
33	1	10	8,26	1,23	17	11	35
	2	11	7,71	1,00		11	35
	3	12	7,69	1,09		11	35
	4	13	7,45	1,04		9	47
	5	14	7,36	1,08		10	41
	6	15	7,30	1,05		10	41
34	1	16	7,47	1,98	24	15	38
	2	17	7,13	1,87		17	29
	3	18	6,95	1,94		11	54
	4	19	7,01	1,78		23	4
	5	20	7,07	1,78		22	8
	6	25	7,07	1,67		22	8
35	1	30	7,01	1,49	32	23	28
	2	35	7,03	1,37		22	31
	3	40	7,04	1,31		21	34
	4	45	6,78	1,15		22	31
	5	50	6,61	1,35		21	34
	6	60	6,66	1,31		20	38
36	1	70	5,97	1,26	32	23	28
	2	80	4,97	1,15		21	34
	3	90	4,89	1,08		18	44
	4	100	4,52	2,70		18	44
	5	150	4,41	2,86		14	56
	6	200	4,50	4,43		14	56

EDWARDS & AMIRTHARAJAH (1985) citam o intervalo de valores de pH entre 6,0 e 8,0 como o que oferece condições ideais para a remoção de substâncias húmicas pelo hidróxido de alumínio precipitado. Estes resultados também foram comprovados por DI BERNARDO & MENDES (1985) e por VRIJENHOEK et al. (1998). Nessa pesquisa, para o intervalo de pH citado por esses autores, foram obtidas várias reduções máximas, mas considerando a menor dosagem de coagulante [18 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$], a maior eficiência verificada ocorreu sob valor de pH igual a 6,74 (TAB. 40, ensaio 18, amostra 3); as reduções de turbidez, COD, UV-254 e AUVe foram 89, 94, 90 e 84%, respectivamente.

Por outro lado, KAVANAUGH (1978) afirma que são necessárias altas dosagens de coagulantes na remoção de ácidos húmicos para valores de pH superiores a 6,0. Esta afirmação não foi confirmada nessa pesquisa, já que em valor de pH igual a 6,66 e dosagem de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ de 20 mg/L foram obtidas reduções de 83% para a turbidez, 100% para a cor, 100% para o COD, 89% para o UV-254 e 84% para o AUE. As correlações entre os parâmetros substitutos para os ensaios de coagulação realizados no mecanismo de varredura estão representadas na Figura 42.

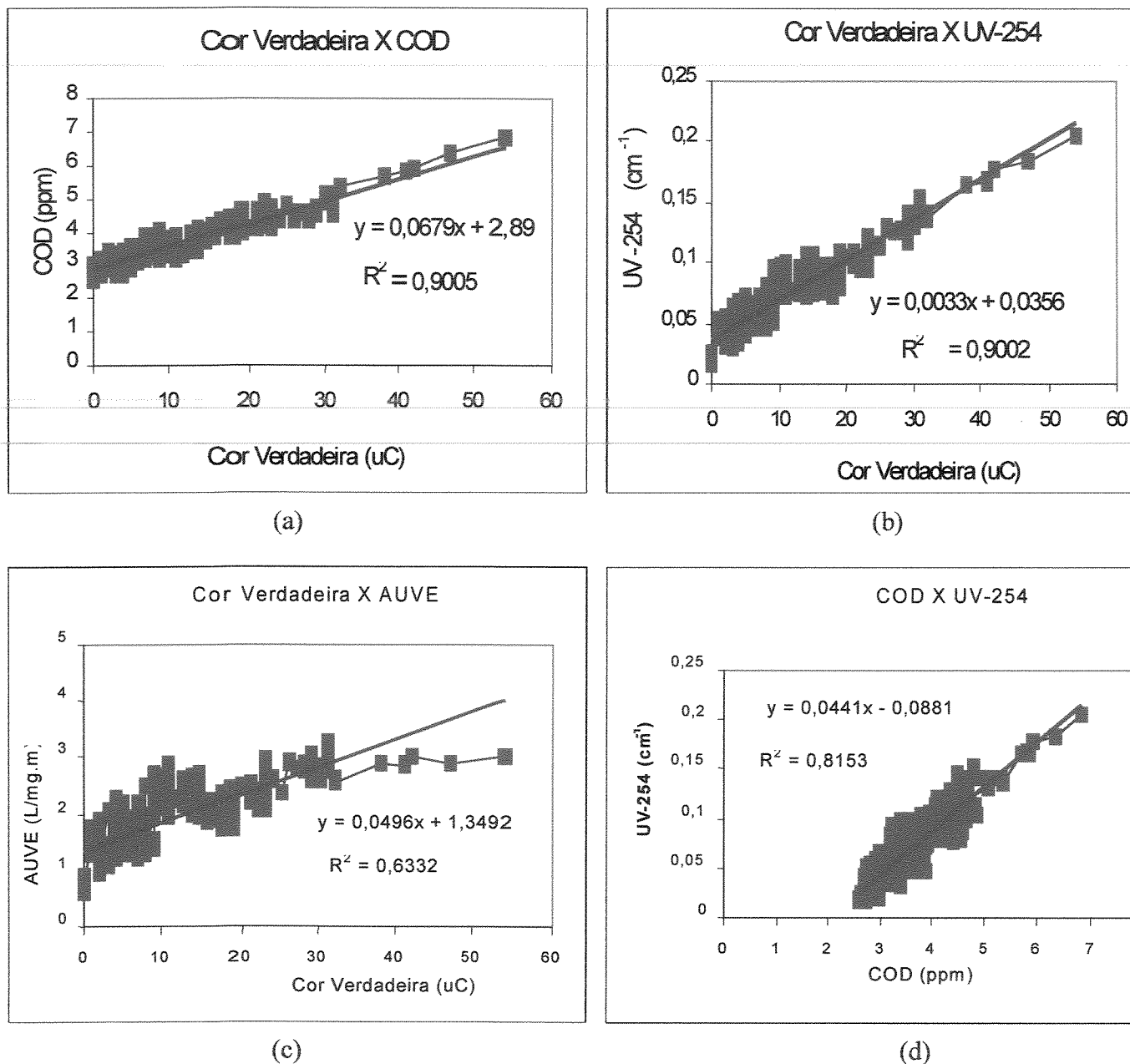


FIG. 42: Correlações entre os parâmetros substitutos da água clarificada por $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ no mecanismo de varredura.

Nas Figuras 43, 44, 45 e 46 são mostradas as curvas de isoremoção após a coagulação com sulfato de alumínio, nos mecanismos de adsorção-neutralização e varredura.

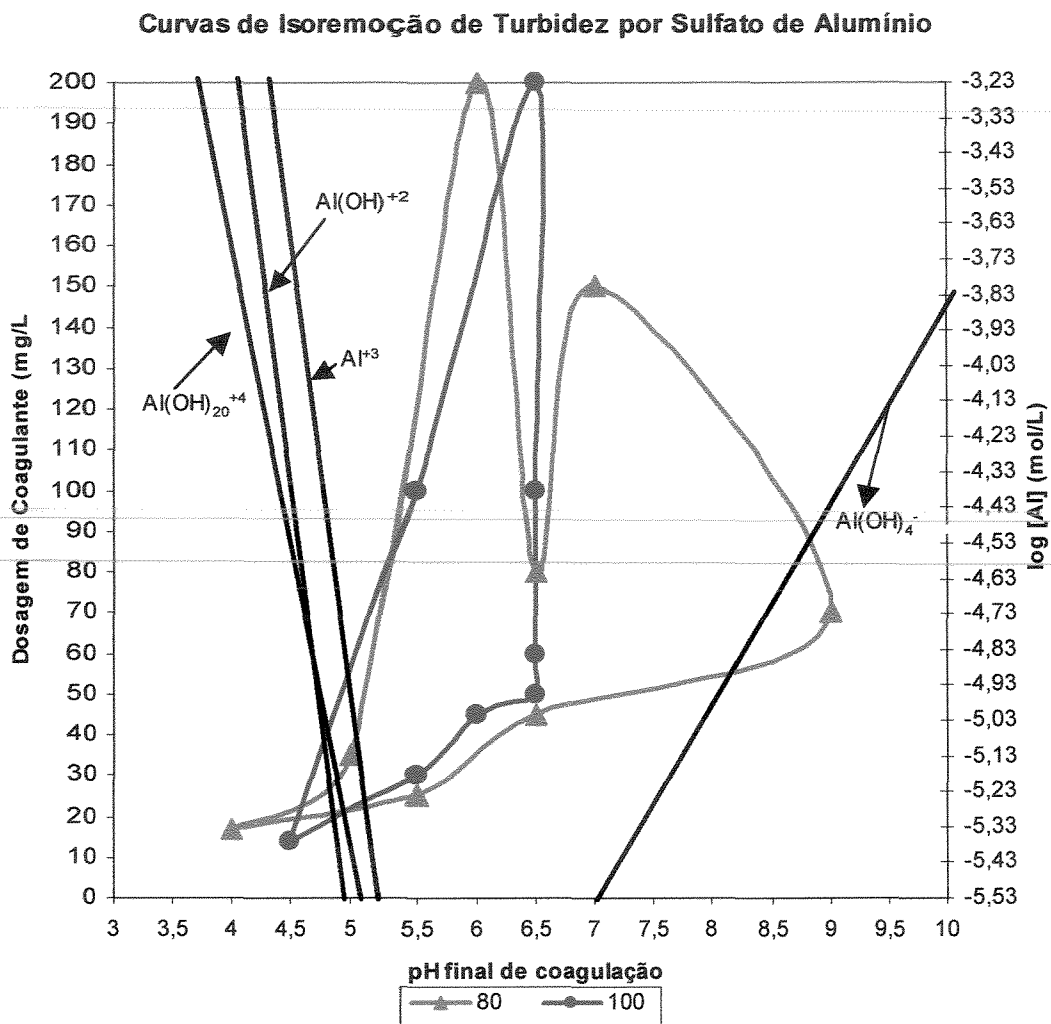


FIG. 43: Curvas de Isoremoção da Turbidez por Sulfato de Alumínio.

Curvas de Isoremoção de Cor por Sulfato de Alumínio

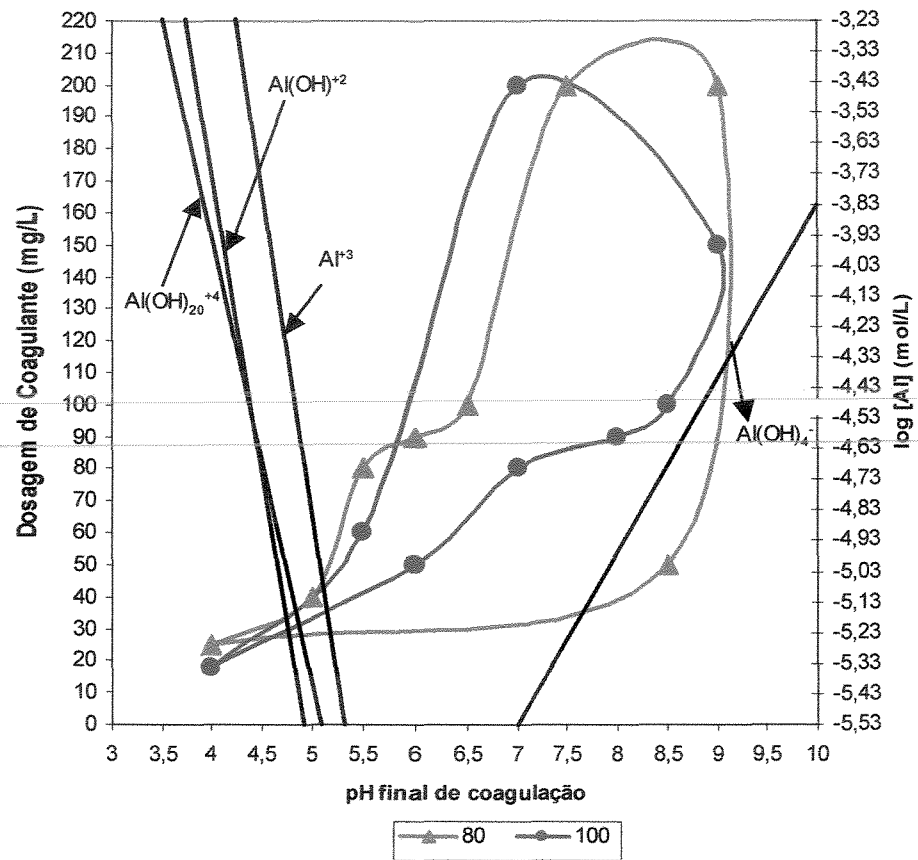


FIG. 44: Curvas de Isoremoção da Cor por Sulfato de Alumínio.

Curvas de Isoremoção de UV-254 por Sulfato de Alumínio

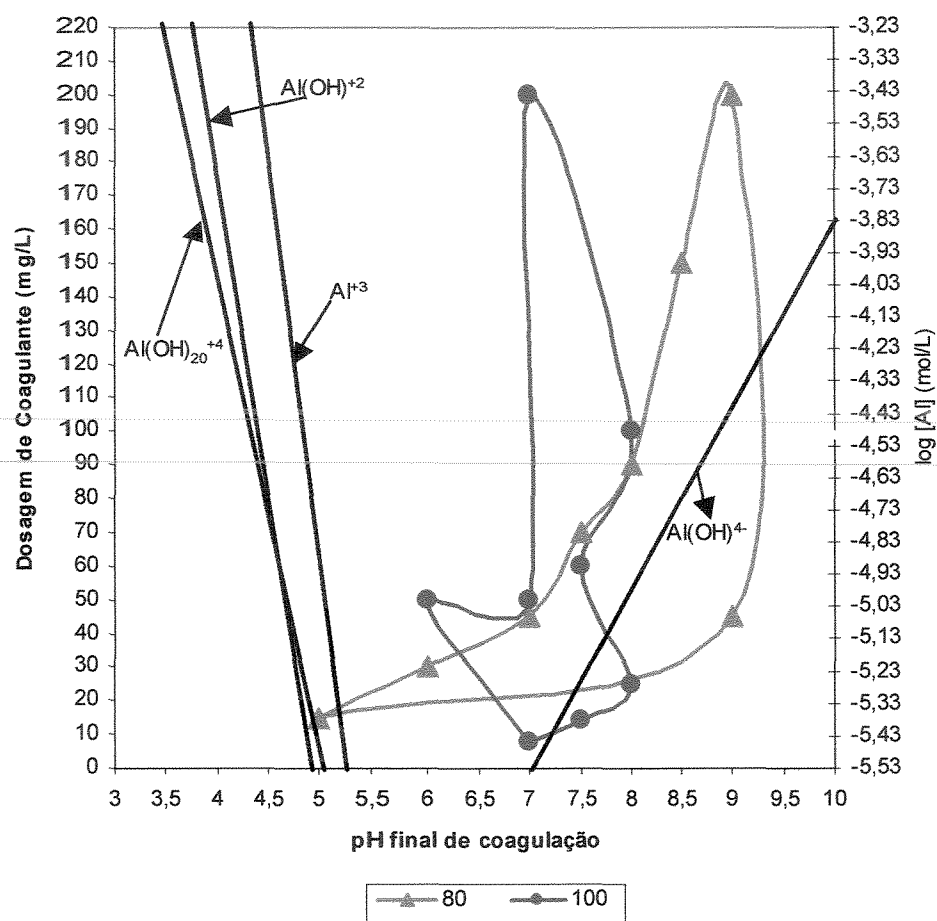


FIG. 45: Curvas de Isoremoção do UV-254 por Sulfato de Alumínio.

Curvas de Isoremoção de AUE por Sulfato de Alumínio

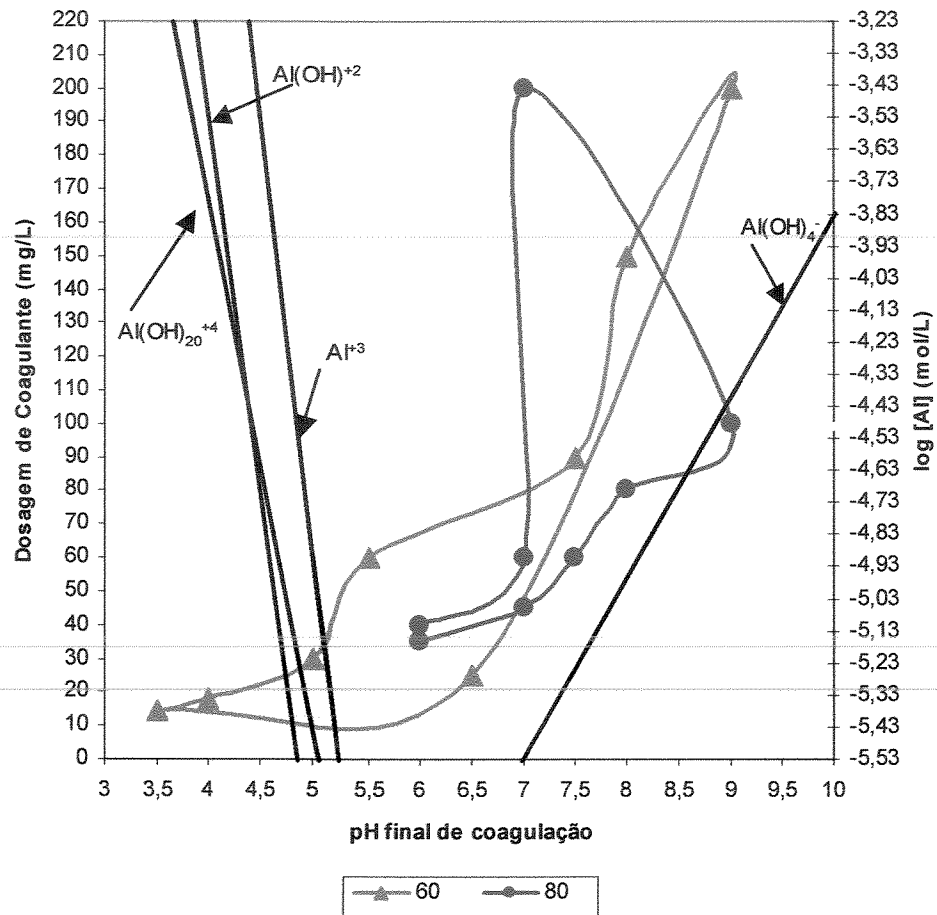


Fig. 46: Curvas de Isoremoção do AUE por Sulfato de Alumínio.

Nos diagramas de coagulação por sulfato de alumínio apresentados nas Figuras 47, 48, 49 e 50 são mostrados os resultados dos valores onde se constatou a máxima redução. Também se observam os domínios de remoção de cor obtidos por EDWARDS & AMIRTHARAJAH (1985) em ensaios de coagulação feitos com $G = 100 \text{ s}^{-1}$ para os dois mecanismos de coagulação.

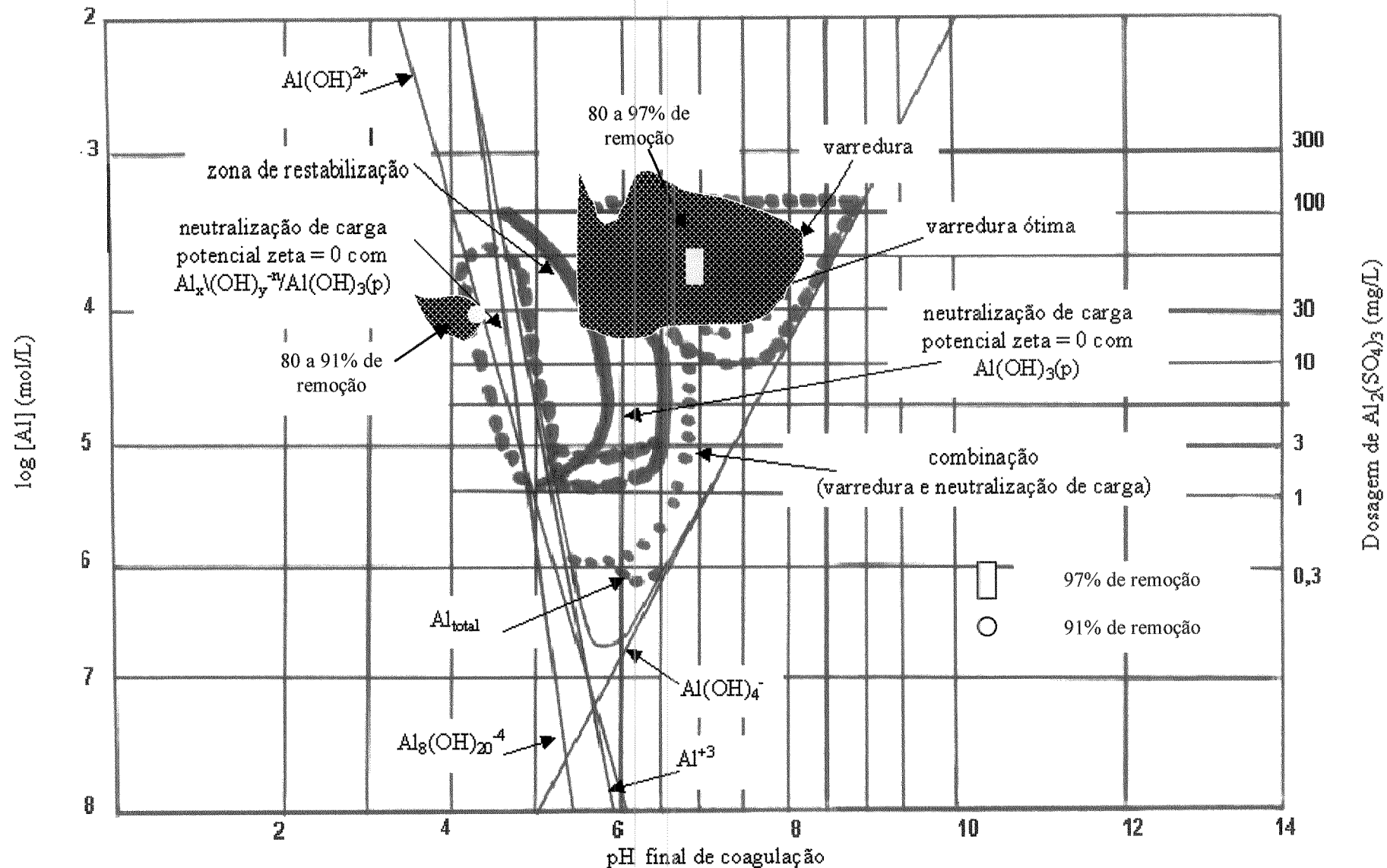


Fig. 47: Remoção de Turbidez por Sulfato de Alumínio.

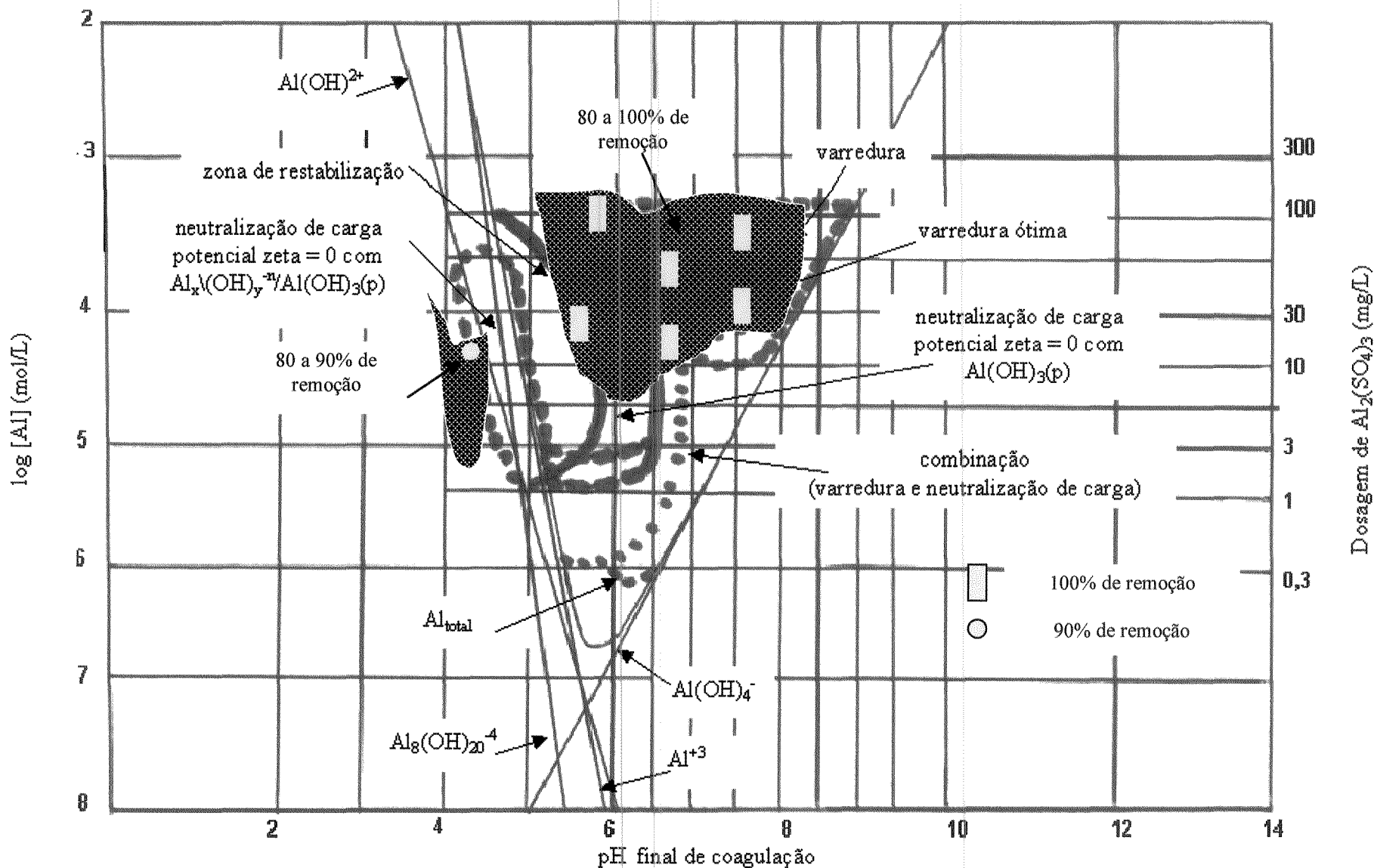


Fig. 48: Remoção de Cor por Sulfato de Alumínio.

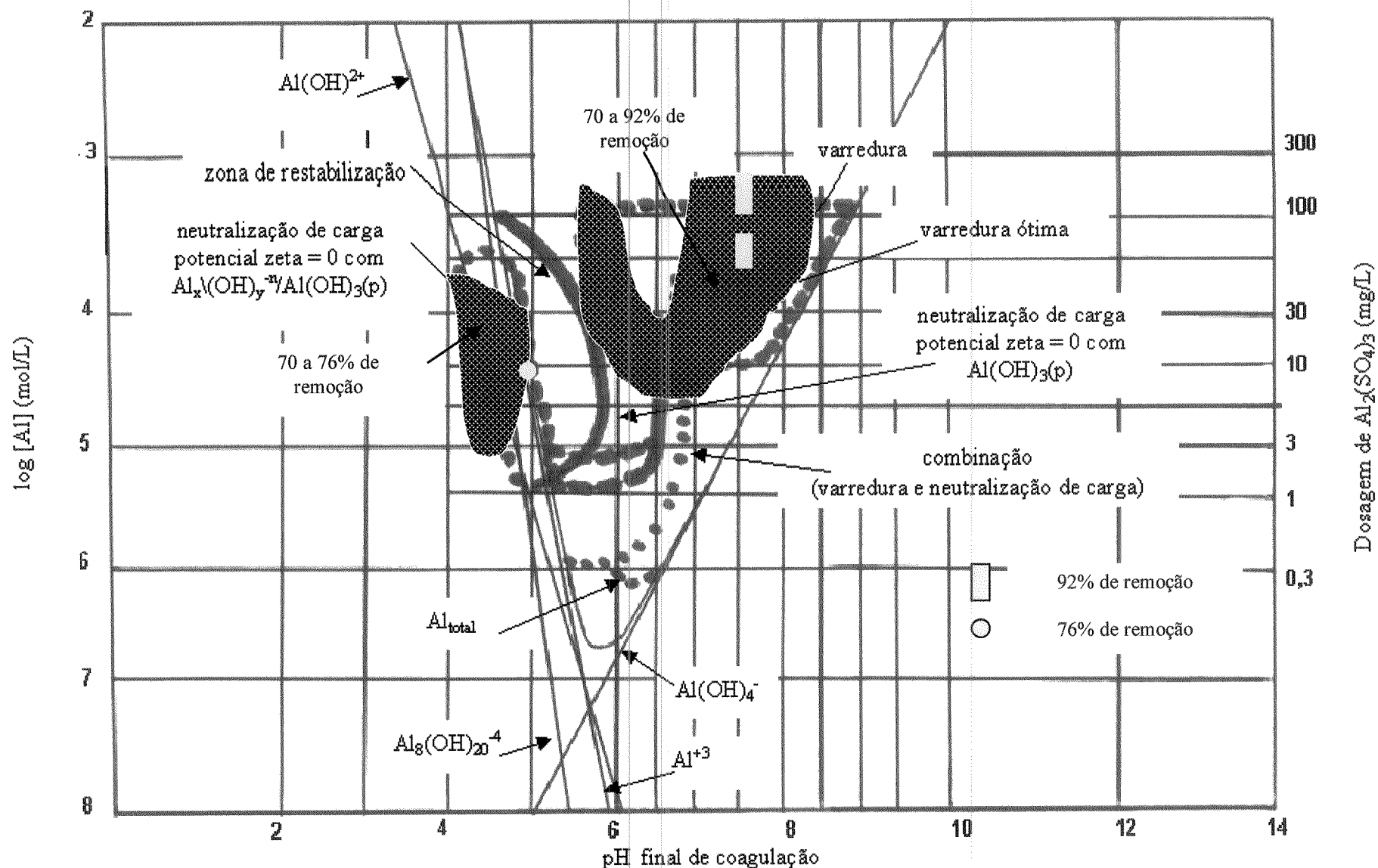


Fig. 49: Remoção de UV-254 por Sulfato de Alumínio.

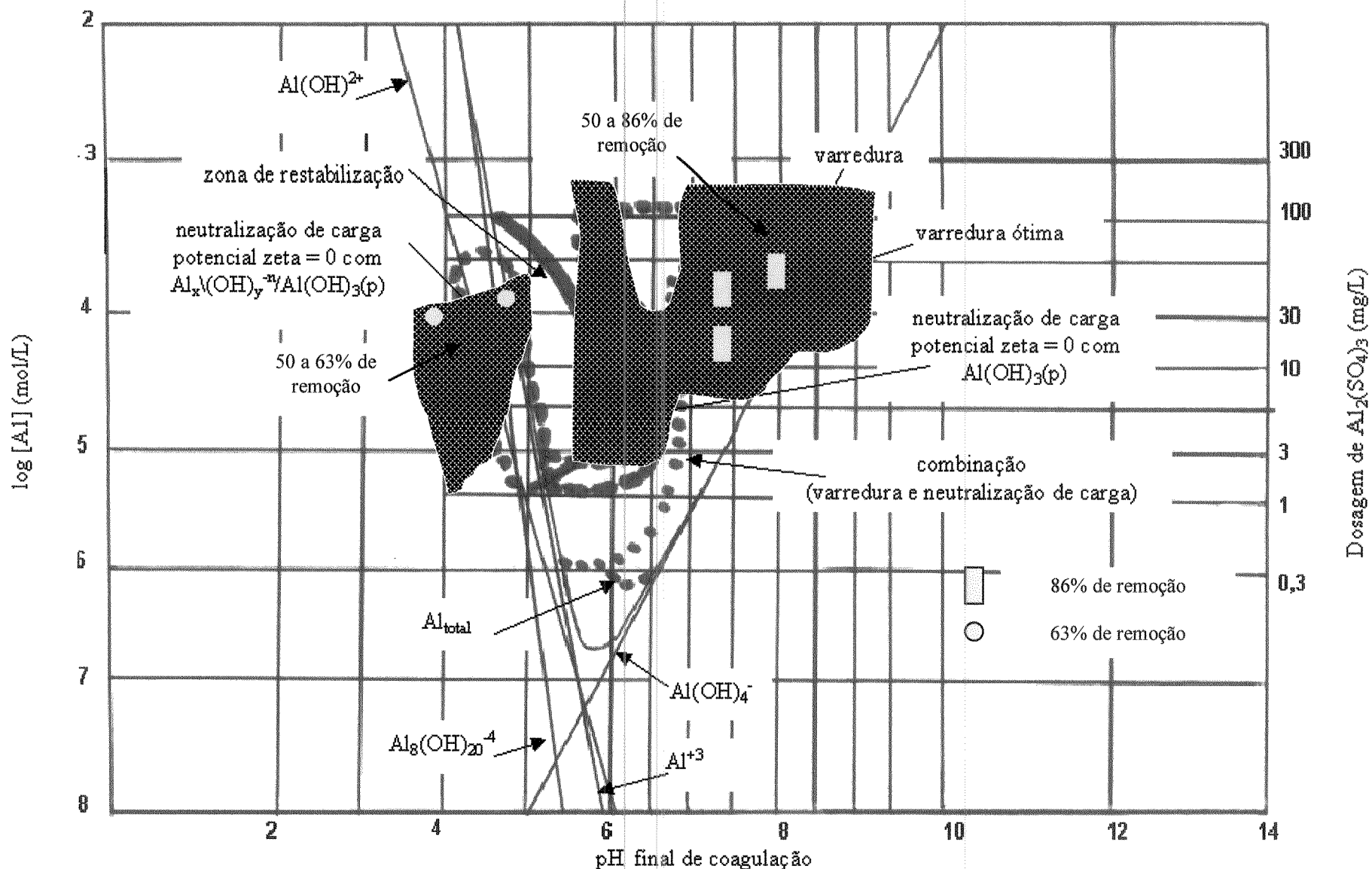


Fig. 50: Remoção de AUV por Sulfato de Alumínio.

5.2.3. Ensaios realizados com Cloreto Férrico no Mecanismo de Adsorção-Neutralização:

Na Tabela 41, estão mostrados os valores obtidos para os ensaios de coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização, utilizando cloreto férrico como coagulante.

TAB. 41: Valores obtidos nos ensaios de coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas com FeCl_3 .

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH	Turbidez final (uT)	Cor		Remoção de Cor (%)
					inicial	Verdadeira (uC) final	
1	1	1	2,80	5,27	79	67	15
	2	2	3,41	4,13		55	30
	3	3	3,02	4,02		57	28
	4	4	2,92	5,21		75	5
	5	5	2,63	5,25		46	42
	6	6	2,65	5,24		49	38
2	1	7	3,48	1,34	51	41	20
	2	8	3,49	1,09		27	47
	3	9	3,33	1,11		24	53
	4	10	3,39	1,24		21	59
	5	11	3,23	0,75		21	59
	6	12	3,24	0,68		20	61
3	1	13	3,38	0,56	20	10	50
	2	14	3,42	0,52		8	60
	3	15	3,41	0,46		8	60
	4	16	3,41	0,51		7	65
	5	17	3,41	0,53		8	60
	6	18	3,34	0,47		13	35
4	1	19	1,71	1,01	44	21	52
	2	20	1,83	0,56		22	50
	3	25	0,70	0,79		29	34
	4	30	1,14	0,89		32	27
	5	35	3,19	0,88		33	25
	6	40	3,27	0,66		31	30
5	1	1	4,30	2,63	27	18	33
	2	2	4,14	2,68		16	41
	3	3	4,20	2,88		16	41
	4	4	3,86	2,54		22	19
	5	5	3,94	2,33		16	41
	6	6	3,84	1,81		12	56
6	1	7	3,84	3,63	36	31	14
	2	8	3,56	2,23		28	22
	3	9	3,53	2,13		23	36
	4	10	3,33	1,44		15	58
	5	11	3,39	1,23		17	53
	6	12	3,34	0,82		16	56

TAB. 41: Valores obtidos nos ensaios de coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas com FeCl₃ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH	Turbidez final (uT)	Cor		Remoção de Cor (%)
					inicial	Verdadeira (uC) final	
7	1	13	3,69	1,85	21	11	48
	2	14	3,66	1,18		7	67
	3	15	3,44	1,23		8	62
	4	16	3,46	0,84		5	76
	5	17	3,40	1,05		6	71
	6	18	3,32	0,65		5	76
8	1	19	3,61	1,39	62	13	79
	2	20	3,59	1,02		12	81
	3	25	3,58	1,22		9	85
	4	30	3,56	1,09		10	84
	5	35	3,55	1,17		12	81
	6	40	3,53	1,37		14	77
9	1	1	4,47	2,21	69	26	62
	2	2	4,03	2,03		17	75
	3	3	3,83	2,18		12	83
	4	4	3,90	2,30		13	81
	5	5	3,90	2,29		11	84
	6	6	3,85	2,09		13	81
10	1	7	4,27	0,74	69	17	75
	2	8	3,51	0,50		8	88
	3	9	4,14	0,39		7	90
	4	10	4,19	0,36		1	99
	5	11	3,83	1,90		7	90
	6	12	3,67	1,30		8	88
11	1	13	3,83	2,00	93	36	61
	2	14	3,84	1,13		26	72
	3	15	3,78	0,94		36	61
	4	16	3,74	0,73		34	63
	5	17	3,75	0,62		33	65
	6	18	3,82	0,72		40	57
12	1	19	4,18	0,98	93	27	71
	2	20	4,13	0,65		18	81
	3	25	3,98	0,74		16	83
	4	30	3,87	1,56		36	61
	5	35	3,82	1,66		40	57
	6	40	3,83	1,42		32	66
13	1	1	4,54	2,36	93	27	71
	2	2	4,54	2,62		21	77
	3	3	4,52	2,77		14	85
	4	4	4,52	2,94		14	85
	5	5	4,50	3,16		13	86
	6	6	4,50	3,64		10	89

TAB. 41: Valores obtidos nos ensaios de coagulação no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas com FeCl₃ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH	Turbidez final (uT)	Cor		Remoção de Cor (%)
					inicial	Verdadeira (uC) final	
14	1	7	4,45	3,82	93	7	92
	2	8	4,45	2,26		8	91
	3	9	4,41	2,58		8	91
	4	10	4,41	2,43		7	92
	5	11	4,21	1,07		5	95
	6	12	4,21	1,03		4	96
15	1	13	4,53	0,97	30	4	87
	2	14	4,32	0,85		2	93
	3	15	4,65	0,42		0	100
	4	16	4,37	0,38		3	90
	5	17	4,25	0,40		7	77
	6	18	4,21	0,46		7	77
16	1	19	4,54	0,47	30	9	70
	2	20	4,48	0,43		8	73
	3	25	4,32	0,86		13	57
	4	30	4,27	0,49		0	100
	5	35	4,28	0,98		2	93
	6	40	4,23	1,22		0	100

Os resultados apresentados na Tabela 41 mostram que foram obtidas 100% de remoção para a cor para o ensaio 15, amostra 3, com dosagem de coagulante de 10 mg/L e valor de pH igual a 4,65. A máxima remoção de turbidez também ocorreu em valor de pH igual a 4,65 (88%); nesse ensaio as remoções de COD, UV-254 e AUV_E foram 56, 84 e 62%, respectivamente.

Esses resultados diferem dos obtidos nos estudos desenvolvidos por HALL & PACKHAM, EDSWALD & PACKHAM, apud EDWARDS & AMIRTHARAJAH (1985), que apontaram a faixa de valores de pH variando entre 5,0 e 6,5 como sendo a ótima para remoção de cor causada por substâncias húmicas, tendo Al₂(SO₄)₃. 14 H₂O como coagulante. Também LEFREVE & LEGUBE, 1990 apud RIBEIRO (1998) destacam que as remoções ótimas de dois tipos de ácidos fúlvicos de origens diferentes foram conseguidas por DEMPSEY et al. (1984) e RECKHOW & SIBONY (1986), quando a coagulação ocorreu sob valor de pH igual a 4,5,

utilizando FeCl_3 como coagulante, em dosagem de 15 mg/L. As correlações entre os parâmetros substitutos estão mostradas na Figura 51.

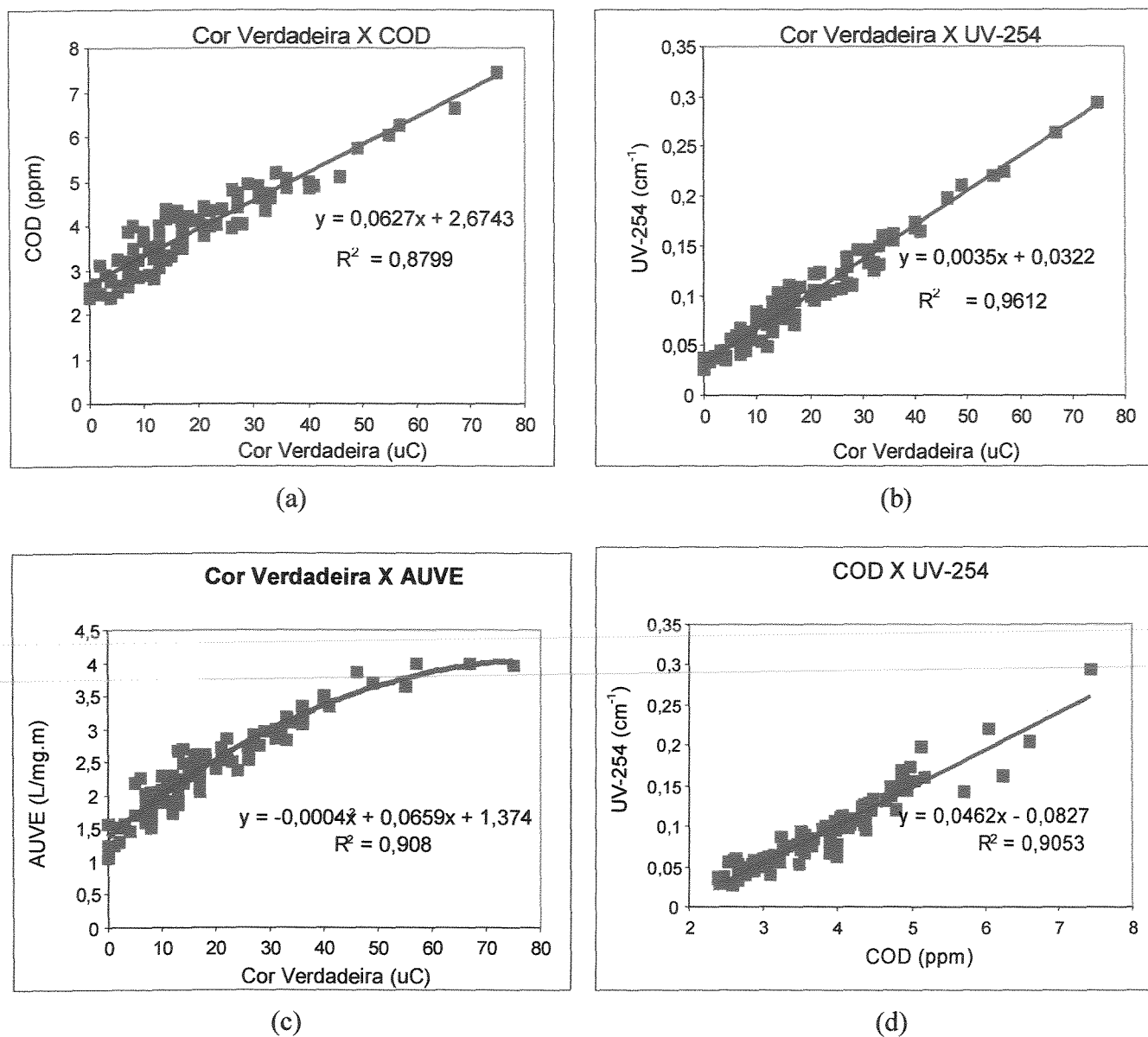


FIG. 51: Correlações entre os parâmetros substitutos da água clarificada por FeCl_3 no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas.

5.2.4 .Ensaios realizados com Cloreto Férrico no Mecanismo de Adsorção-Neutralização:

A Tabela 42 contém os dados relativos aos ensaios de coagulação realizados no mecanismo de varredura, quando foi empregado o cloreto férrico como coagulante.

TAB. 42: Valores obtidos na coagulação por varredura com FeCl_3 .

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH	Turbidez final (uT)	Cor		Remoção de Cor (%)
					inicial	Verdadeira (uC) final	
1	1	10	4,44	5,27	79	46	42
	2	11	4,08	5,18		31	61
	3	12	4,30	5,10		39	51
	4	13	3,68	4,51		40	49
	5	14	3,57	4,32		37	53
	6	15	3,56	2,55		20	75
2	1	16	3,63	0,38	51	18	65
	2	17	3,50	0,39		16	69
	3	18	3,43	0,53		17	67
	4	19	3,41	0,42		14	73
	5	20	3,27	0,66		17	67
	6	25	3,19	0,65		22	57
3	1	30	3,04	0,43	20	10	50
	2	35	2,96	0,31		7	65
	3	40	2,90	0,43		3	85
	4	45	2,81	0,26		4	80
	5	50	3,07	0,29		4	80
	6	60	2,98	0,27		2	90
4	1	70	3,24	0,30	44	14	68
	2	80	3,15	0,19		7	74
	3	90	3,23	0,25		10	77
	4	100	3,24	0,21		8	82
	5	150	3,13	0,34		72	-64
	6	200	3,07	0,21		75	-70
5	1	10	5,37	2,92	27	29	-7
	2	11	4,55	3,07		13	52
	3	12	4,55	2,26		19	30
	4	13	4,21	1,57		10	63
	5	14	4,24	1,08		20	26
	6	15	4,21	1,05		12	56

TAB. 42: Valores obtidos na coagulação por varredura com FeCl₃ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH	Turbidez final (uT)	Cor		Remoção de Cor (%)
					inicial	Verdadeira (uC) final	
6	1	16	4,32	1,44	36	15	58
	2	17	4,30	1,69		21	42
	3	18	4,30	1,55		11	69
	4	19	3,99	0,65		7	81
	5	20	4,02	0,45		8	78
	6	25	3,30	0,27		0	100
7	1	30	3,36	0,60	21	2	90
	2	35	3,19	0,47		2	90
	3	40	3,08	0,81		4	81
	4	45	1,55	1,38		3	86
	5	50	2,82	0,44		2	90
	6	60	2,77	0,42		0	100
8	1	70	3,62	1,81	62	14	77
	2	80	3,48	1,20		13	79
	3	90	3,50	1,86		16	74
	4	100	3,38	1,77		92	48
	5	150	2,97	1,25		58	6
	6	200	2,94	0,54		184	-197
9	1	10	5,91	2,59	69	27	61
	2	11	5,45	2,71		14	80
	3	12	5,42	2,62		10	86
	4	13	5,15	2,62		10	86
	5	14	5,24	2,67		10	86
	6	15	4,97	2,67		10	86
10	1	16	5,31	0,75	69	7	90
	2	17	5,13	0,61		6	91
	3	18	4,55	0,77		5	93
	4	19	4,45	0,94		3	96
	5	20	4,33	0,62		4	94
	6	25	4,05	1,24		5	93
11	1	30	4,00	0,45	93	35	73
	2	35	3,59	1,54		25	63
	3	40	3,96	1,15		34	73
	4	45	2,57	0,96		25	72
	5	50	2,75	2,16		26	72
	6	60	3,41	2,02		26	73

TAB. 42: Valores obtidos na coagulação por varredura com FeCl₃ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH	Turbidez final (uT)	Cor		Remoção de Cor (%)
					inicial	Verdadeira (uC) final	
12	1	70	3,56	2,03	93	25	73
	2	80	3,55	3,22		35	62
	3	90	3,47	1,31		28	70
	4	100	3,45	0,49		52	45
	5	150	3,28	0,42		25	73
	6	200	3,22	0,48		29	69
13	1	10	6,26	3,41	93	30	68
	2	11	5,97	3,69		25	73
	3	12	5,84	3,95		7	92
	4	13	5,44	3,91		6	94
	5	14	5,30	3,70		4	96
	6	15	5,32	3,64		15	84
14	1	16	5,34	3,61	93	16	83
	2	17	5,32	3,43		13	86
	3	18	5,30	3,22		2	98
	4	19	5,27	2,47		7	92
	5	20	5,10	1,73		2	98
	6	25	5,09	1,70		7	92
15	1	30	4,82	2,24	30	11	63
	2	35	4,55	3,07		8	73
	3	40	4,25	3,10		7	77
	4	45	4,20	3,12		6	80
	5	50	4,18	3,19		10	67
	6	60	4,17	3,24		17	43
16	1	70	4,10	3,48	30	7	77
	2	80	4,04	3,22		6	80
	3	90	4,01	3,18		3	90
	4	100	4,00	3,13		0	100
	5	150	3,90	3,28		9	70
	6	200	3,84	4,72		13	57
17	1	10	6,43	2,18	26	35	-35
	2	11	6,40	2,14		27	-4
	3	12	6,37	1,93		7	73
	4	13	6,21	1,83		10	62
	5	14	6,13	1,78		8	69
	6	15	6,10	1,57		14	46

TAB. 42: Valores obtidos na coagulação por varredura com FeCl₃ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH	Turbidez final (uT)	Cor		Remoção de Cor (%)
					inicial	Verdadeira (uC) final	
18	1	16	6,09	2,18	26	15	42
	2	17	6,23	1,32		8	69
	3	18	6,34	1,29		7	73
	4	19	6,30	1,65		3	88
	5	20	6,20	1,55		0	100
	6	25	6,20	1,74		1	96
19	1	30	4,72	1,63	26	5	81
	2	35	4,44	1,42		7	73
	3	40	3,01	1,39		3	88
	4	45	2,92	0,95		8	69
	5	50	2,70	0,82		9	65
	6	60	2,72	0,75		0	100
20	1	70	2,65	0,72	26	1	96
	2	80	2,63	0,67		3	88
	3	90	2,52	0,94		96	27
	4	100	2,48	1,34		21	19
	5	150	2,29	0,46		21	19
	6	200	2,19	0,52		232	-792
21	1	10	6,86	2,16	26	49	-88
	2	11	6,73	2,17		27	-4
	3	12	6,42	2,18		2	92
	4	13	6,54	2,15		14	46
	5	14	6,63	2,17		20	23
	6	15	6,51	2,13		13	50
22	1	16	6,40	2,12	26	2	92
	2	17	5,70	2,14		5	81
	3	18	5,80	2,16		7	73
	4	19	5,70	2,12		4	85
	5	20	5,45	1,69		0	100
	6	25	4,72	2,01		2	92
23	1	30	1,73	1,79	26	2	92
	2	35	1,62	1,35		1	96
	3	40	1,34	1,00		0	100
	4	45	1,21	0,74		2	92
	5	50	1,00	0,63		3	88
	6	60	0,72	0,50		0	100

TAB. 42: Valores obtidos na coagulação por varredura com FeCl₃ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH	Turbidez final (uT)	Cor		Remoção de Cor (%)
					inicial	Verdadeira (uC) final	
24	1	70	0,40	0,70	26	1	96
	2	80	0,41	0,67		0	100
	3	90	0,30	0,74		3	88
	4	100	0,21	0,78		2	92
	5	150	0,15	0,47		11	58
	6	200	0,29	0,60		4	85
25	1	10	6,90	2,17	32	30	6
	2	11	6,90	2,10		22	31
	3	12	6,92	2,11		14	56
	4	13	6,83	2,17		27	16
	5	14	6,71	2,17		29	9
	6	15	6,70	2,15		17	47
26	1	16	6,74	2,06	32	14	56
	2	17	6,44	2,00		22	31
	3	18	6,00	2,02		20	38
	4	19	6,13	2,04		13	59
	5	20	6,55	2,04		10	69
	6	25	5,87	1,45		10	69
27	1	30	4,47	2,10	32	10	69
	2	35	4,11	1,14		8	75
	3	40	3,97	0,59		8	75
	4	45	3,87	0,79		10	69
	5	50	3,65	0,95		10	69
	6	60	3,40	1,03		9	72
28	1	70	3,36	2,47	32	1	97
	2	80	3,31	2,95		13	69
	3	90	3,28	3,27		33	-3
	4	100	3,26	3,08		56	-75
	5	150	3,10	3,75		34	-6
	6	200	3,05	4,07		13	59
29	1	10	6,84	2,21	26	33	-27
	2	11	6,85	2,30		32	-23
	3	12	6,82	2,38		33	-27
	4	13	6,77	2,78		25	4
	5	14	6,75	2,72		19	27
	6	15	6,70	3,04		28	-8

TAB. 42: Valores obtidos na coagulação por varredura com FeCl₃ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH	Turbidez final (uT)	Cor		Remoção de Cor (%)
					inicial	Verdadeira (uC) final	
30	1	16	6,69	2,11	32	32	-16
	2	17	6,72	2,24		17	47
	3	18	6,83	2,31		12	63
	4	19	6,62	2,28		21	34
	5	20	6,55	1,83		27	16
	6	25	6,50	1,08		11	66
31	1	30	6,50	0,94	13	9	31
	2	35	6,47	0,88		10	23
	3	40	6,64	0,71		6	54
	4	45	5,29	1,04		5	62
	5	50	4,38	1,97		6	54
	6	60	3,80	2,83		7	46
32	1	70	3,85	2,27	23	12	48
	2	80	3,38	3,24		11	52
	3	90	3,36	4,36		11	52
	4	100	3,30	4,39		10	57
	5	150	3,10	5,41		8	65
	6	200	3,03	4,40		12	48
33	1	10	6,37	1,23	17	32	-88
	2	11	6,25	1,21		30	-76
	3	12	6,17	1,12		31	-82
	4	13	6,02	1,14		27	-59
	5	14	5,98	1,12		29	-71
	6	15	5,74	1,07		26	-53
34	1	16	5,51	2,04	24	27	-13
	2	17	5,43	2,03		29	-21
	3	18	5,23	2,09		27	-13
	4	19	5,07	1,98		26	-8
	5	20	5,13	1,87		25	-4
	6	25	4,94	1,96		27	-13
35	1	30	4,72	1,60	32	23	28
	2	35	4,54	1,69		23	28
	3	40	4,38	1,67		21	34
	4	45	4,14	1,49		20	38
	5	50	4,10	1,40		22	31
	6	60	4,13	1,46		20	38

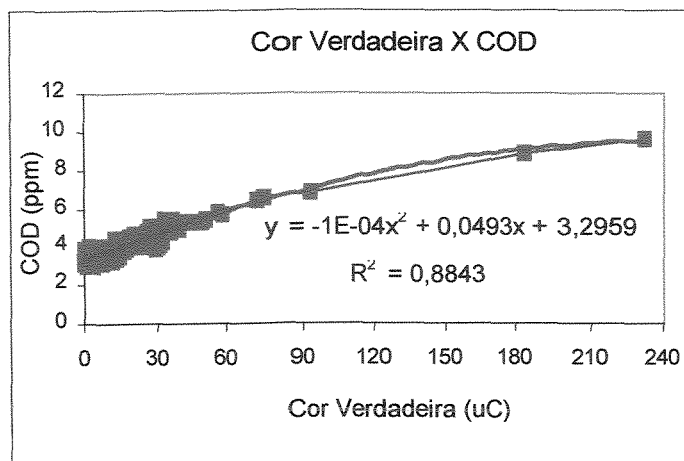
TAB. 42: Valores obtidos na coagulação por varredura com FeCl₃ (continuação).

Ensaio	Amostra	Coagulante (mg/L)	pH	Turbidez final (uT)	Cor		Remoção de Cor (%)
					inicial	Verdadeira (uC) final	
36	1	70	4,09	1,31	32	17	47
	2	80	4,03	1,22		19	41
	3	90	3,96	1,35		22	31
	4	100	3,90	1,28		34	-6
	5	150	3,84	1,24		36	-13
	6	200	3,79	1,33		39	-22

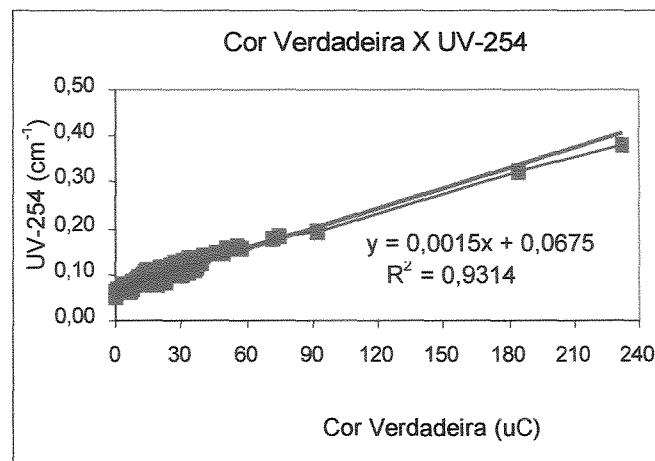
A maior eficiência foi alcançada no ensaio 18, amostra 5, em valor de pH igual a 6,20 e dosagem de FeCl₃ de 20 mg/L; nesse ponto, ocorreram 80% de redução para a turbidez, 100% de redução para a cor, 50% de redução para o COD, 75% de redução para o UV-254 e 64% de redução para o AUVÉ.

AMIRTHARAJAH et al. (1993) citam remoções superiores a 80% da matéria orgânica dissolvida em valor de pH igual a 5,5 e dosagem de coagulante entre 10 e 20 mg/L. Também, de acordo com GARZUZI et al., 1999 *apud* OLIVEIRA (2002), a remoção de compostos orgânicos naturais precursores de THMs, é maximizada na faixa de valores de pH entre 5,8 e 6,3, quando foi utilizado cloreto férrico como coagulante.

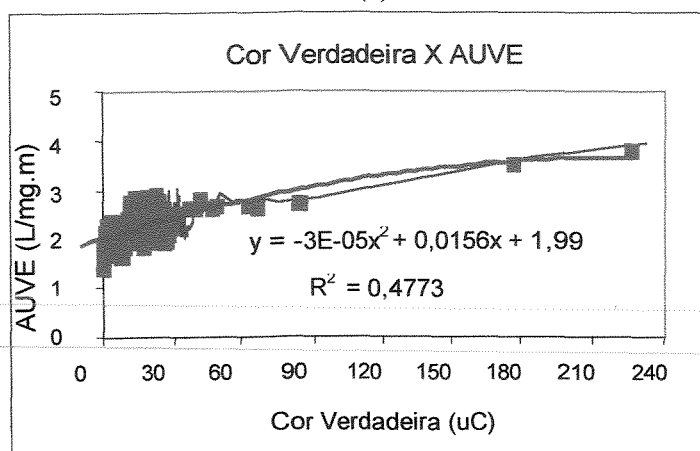
As correlações entre os parâmetros substitutos para esses novos ensaios estão representadas na Figura 52.



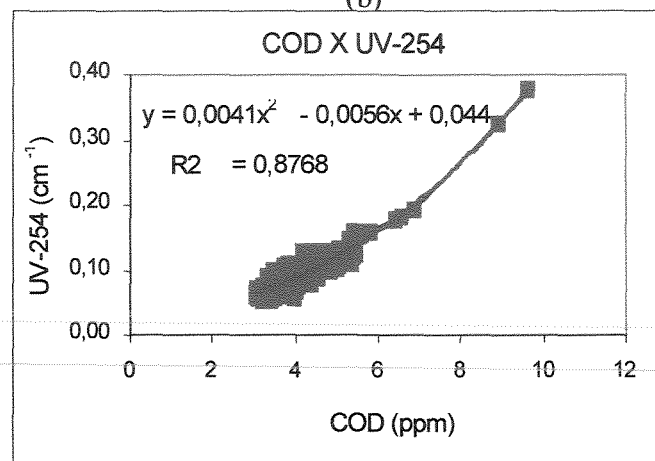
(a)



(b)



(c)



(d)

FIG. 52: Correlações entre os parâmetros substitutos da água clarificada por FeCl_3 no mecanismo varredura.

Nas Figuras 53, 54, 55 e 56 são mostradas as curvas de isoremoção após a coagulação com cloreto férrico, nos mecanismos de adsorção- neutralização e varredura. DI BERNARDO & MENDES (1990) afirmam que as espécies mono e polinucleares do íon ferro são responsáveis pelo mecanismo de coagulação de adsorção-neutralização de cargas e de varredura. Considerando que a cinética do íon ferro é semelhante à do alumínio, os diagramas de coagulação, representados nas Figuras 57, 58, 59 e 60, mostram as regiões onde ocorreram as máximas reduções. Nesses diagramas também estão apontados os domínios de remoção de cor obtidos por EDWARDS & AMIRTHARAJAH (1985).

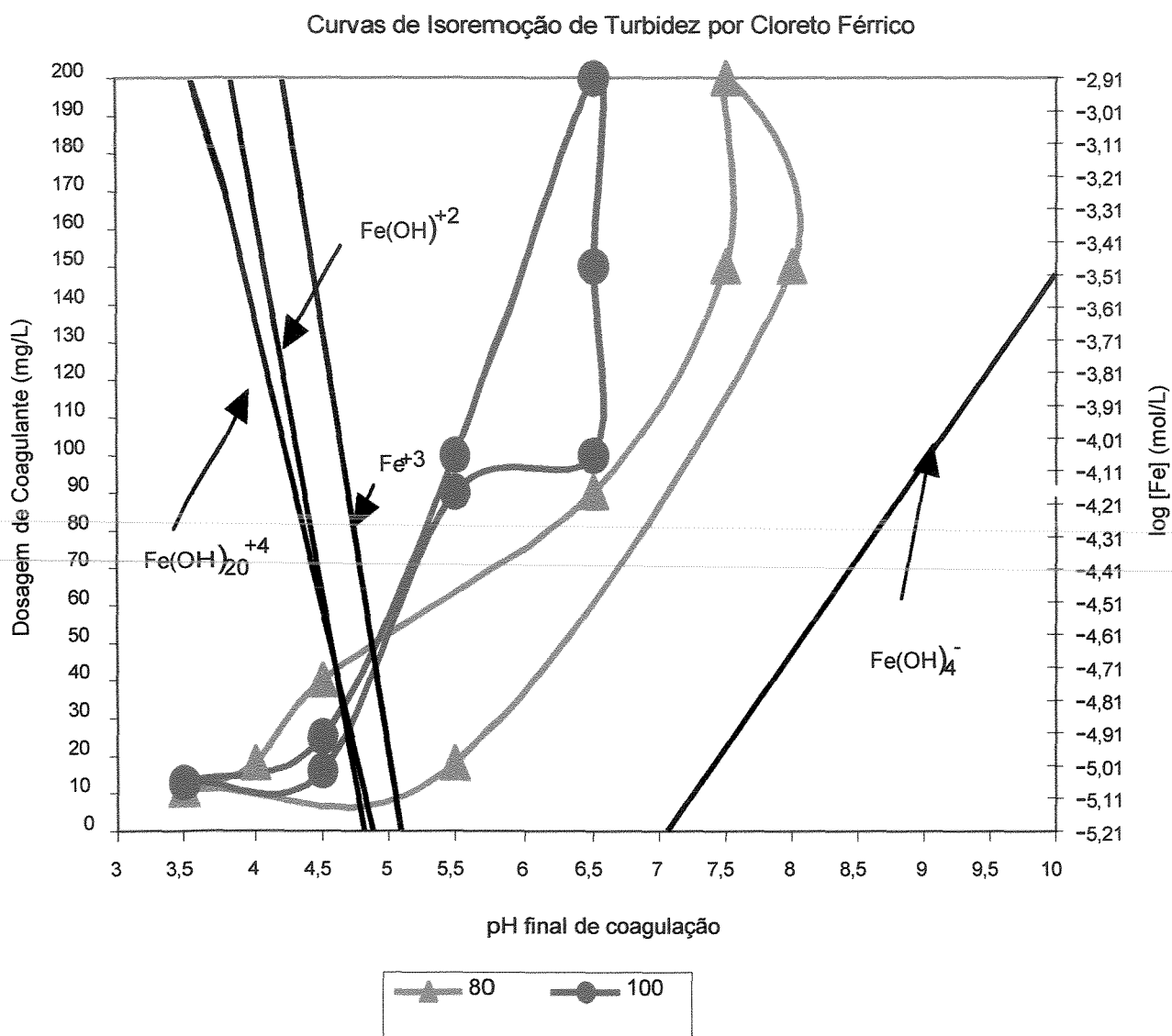


FIG. 53: Curvas de Isoremoção da Turbidez por Cloreto Férrico.

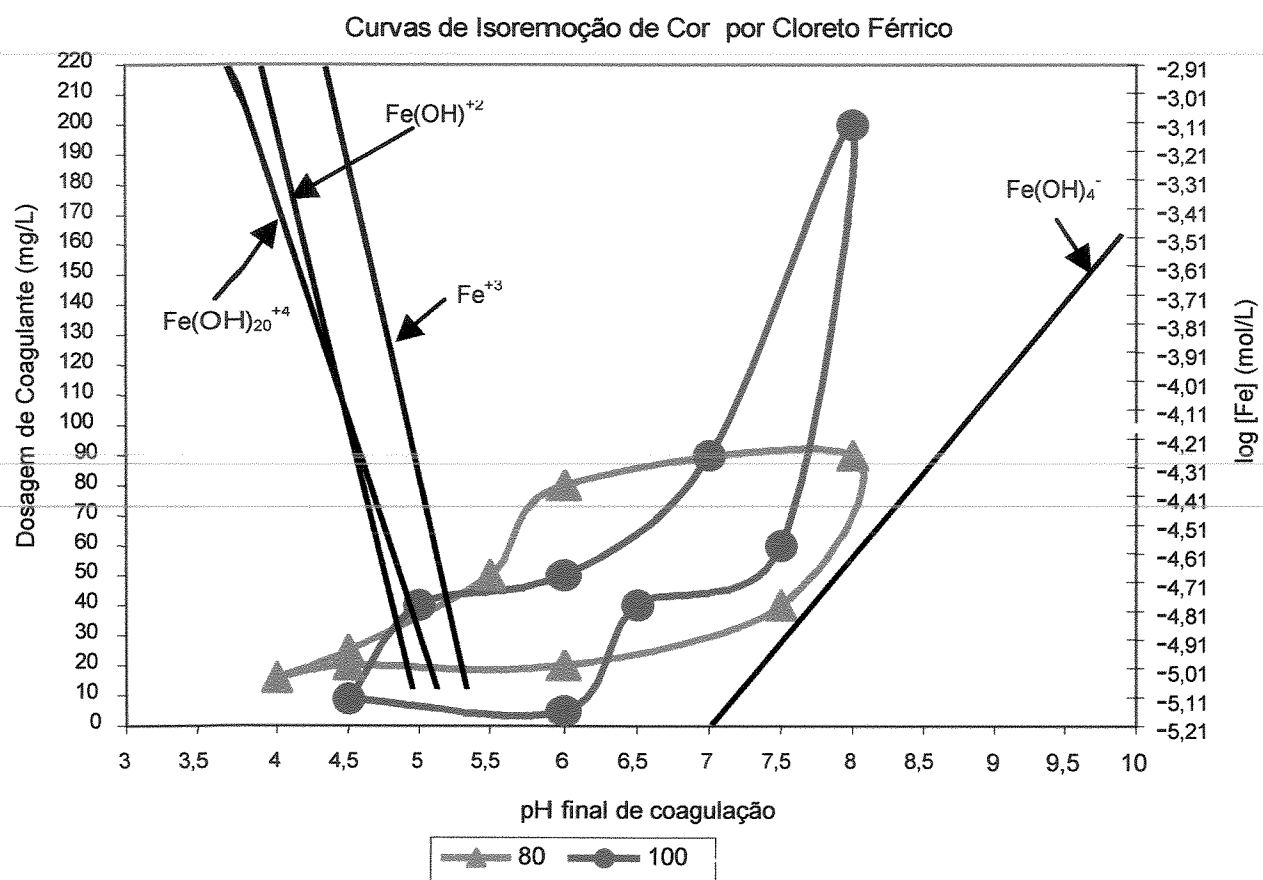


FIG. 54: Curvas de Isoremoção da Cor por Cloreto Férrico.

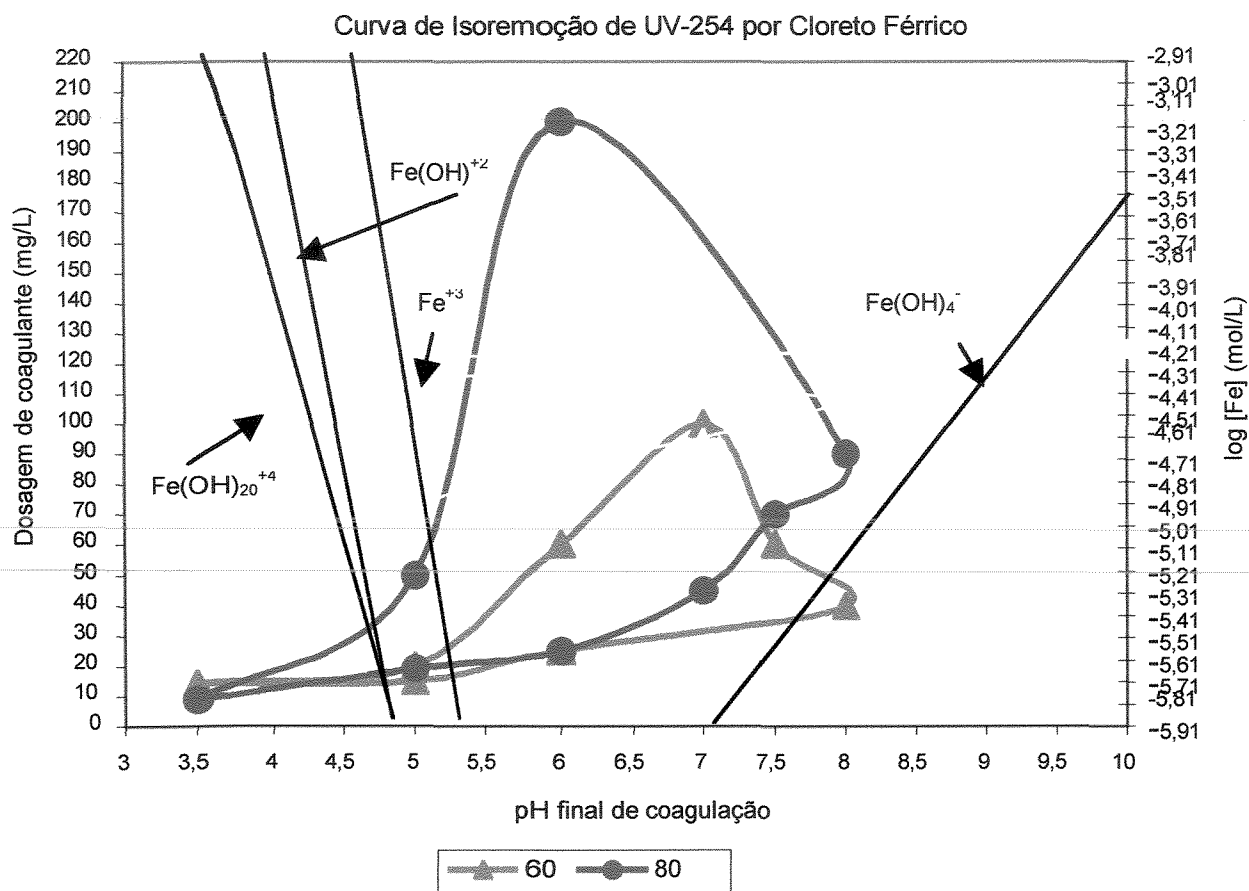


FIG. 55: Curvas de Isoremoção do UV-254 por Cloreto Férrico.

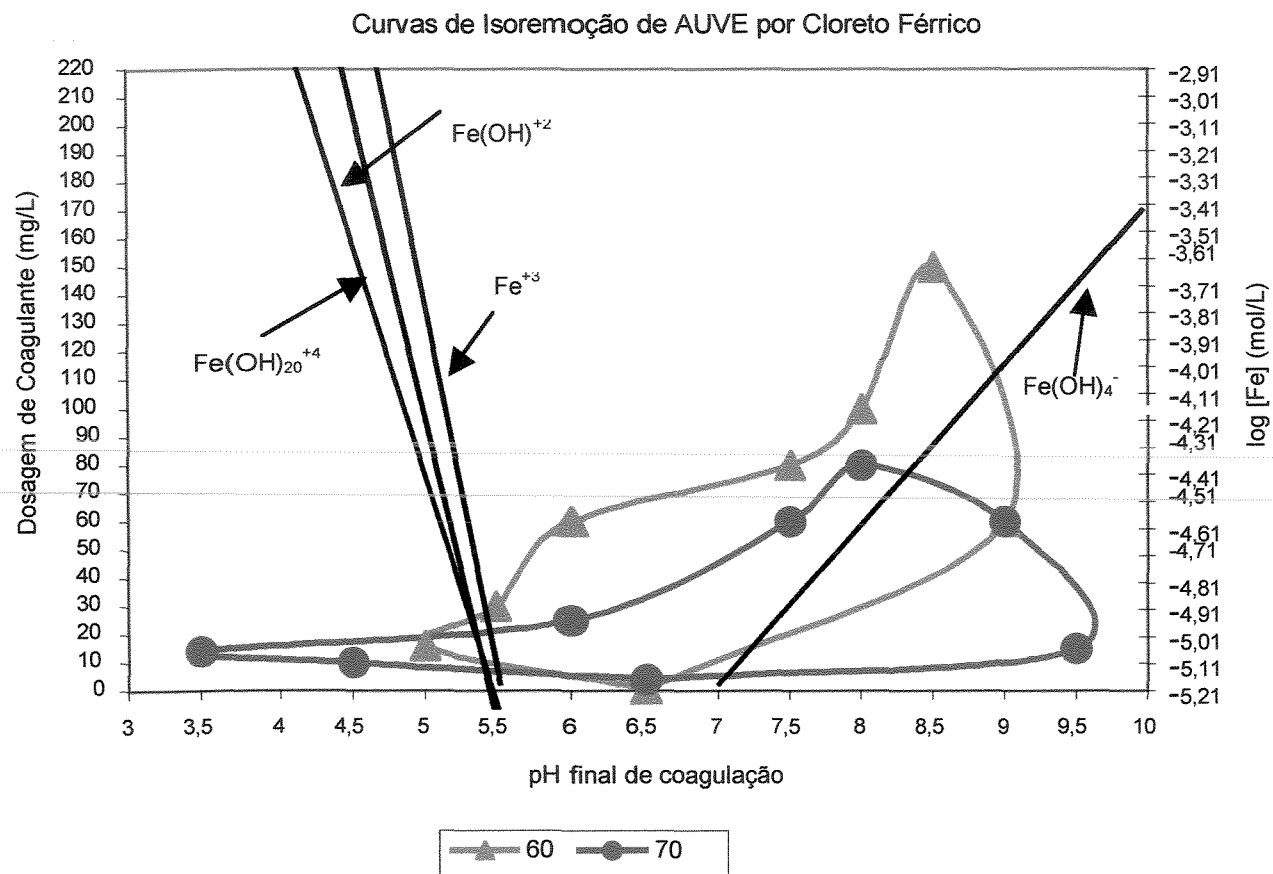


FIG. 56: Curvas de Isoremoção do AVE por Cloreto Férrico.

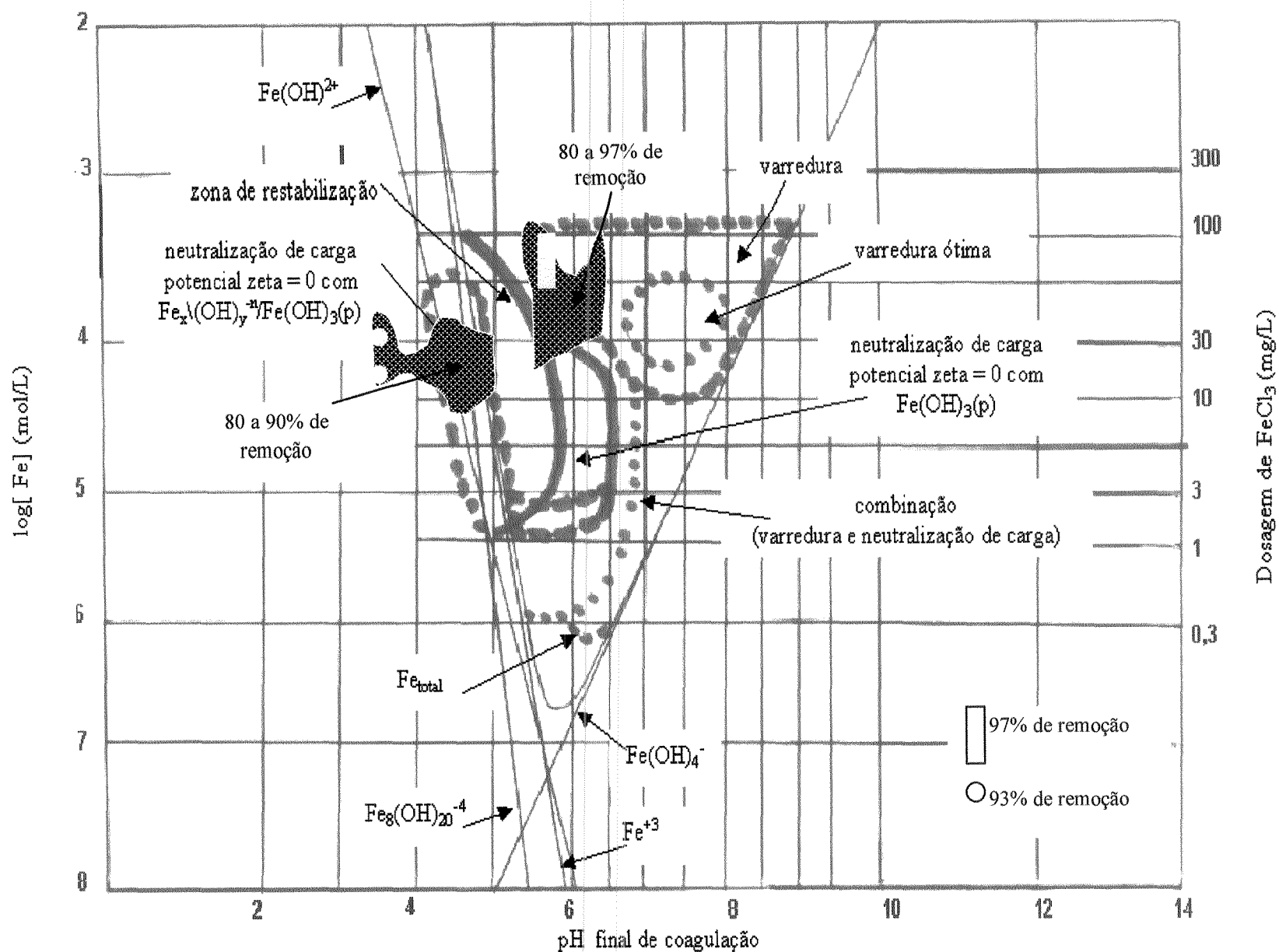


Fig. 57: Remoção de Turbidez por Cloreto Férrico.

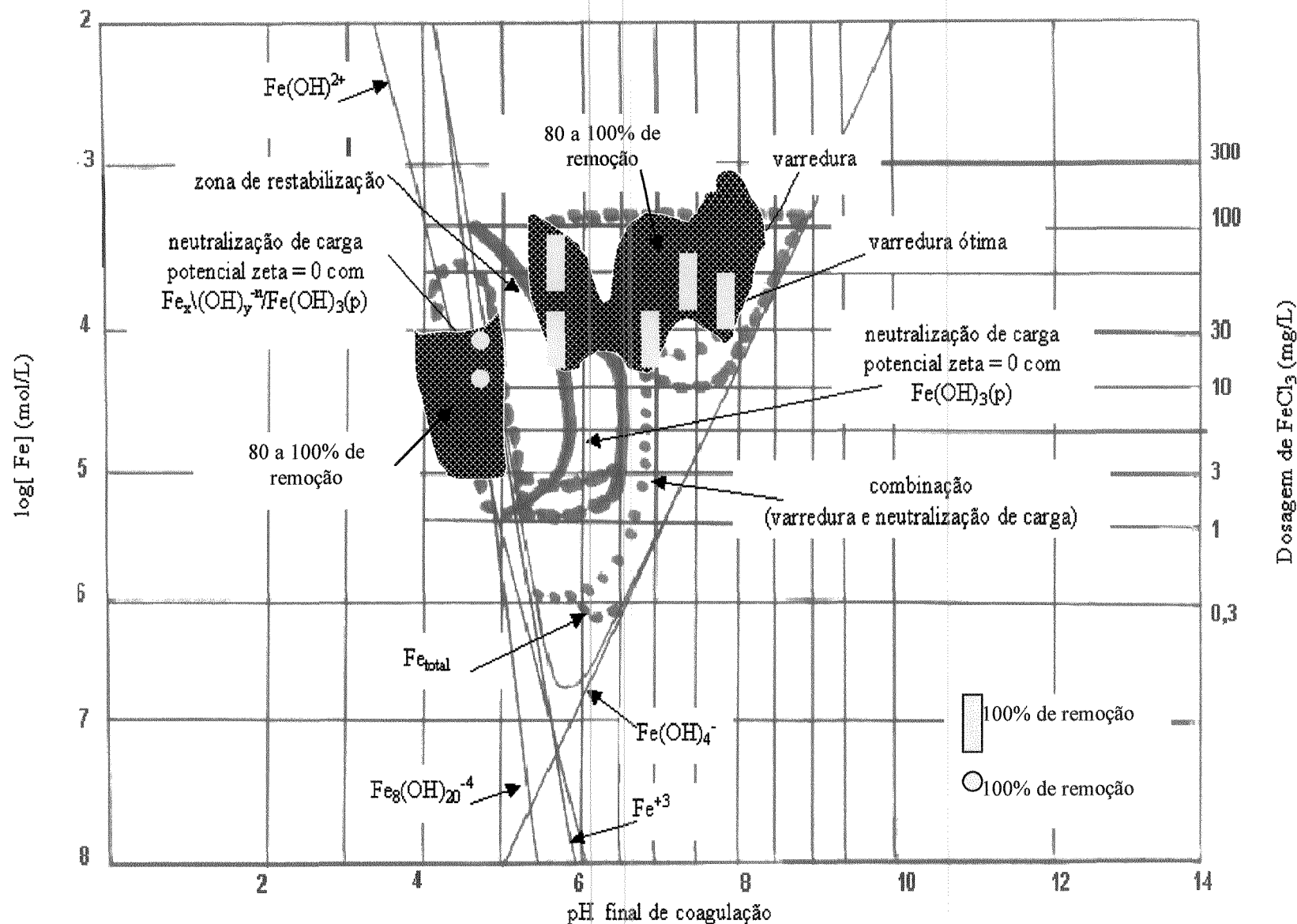


Fig. 58: Remoção de Cor por Cloreto Férrico.

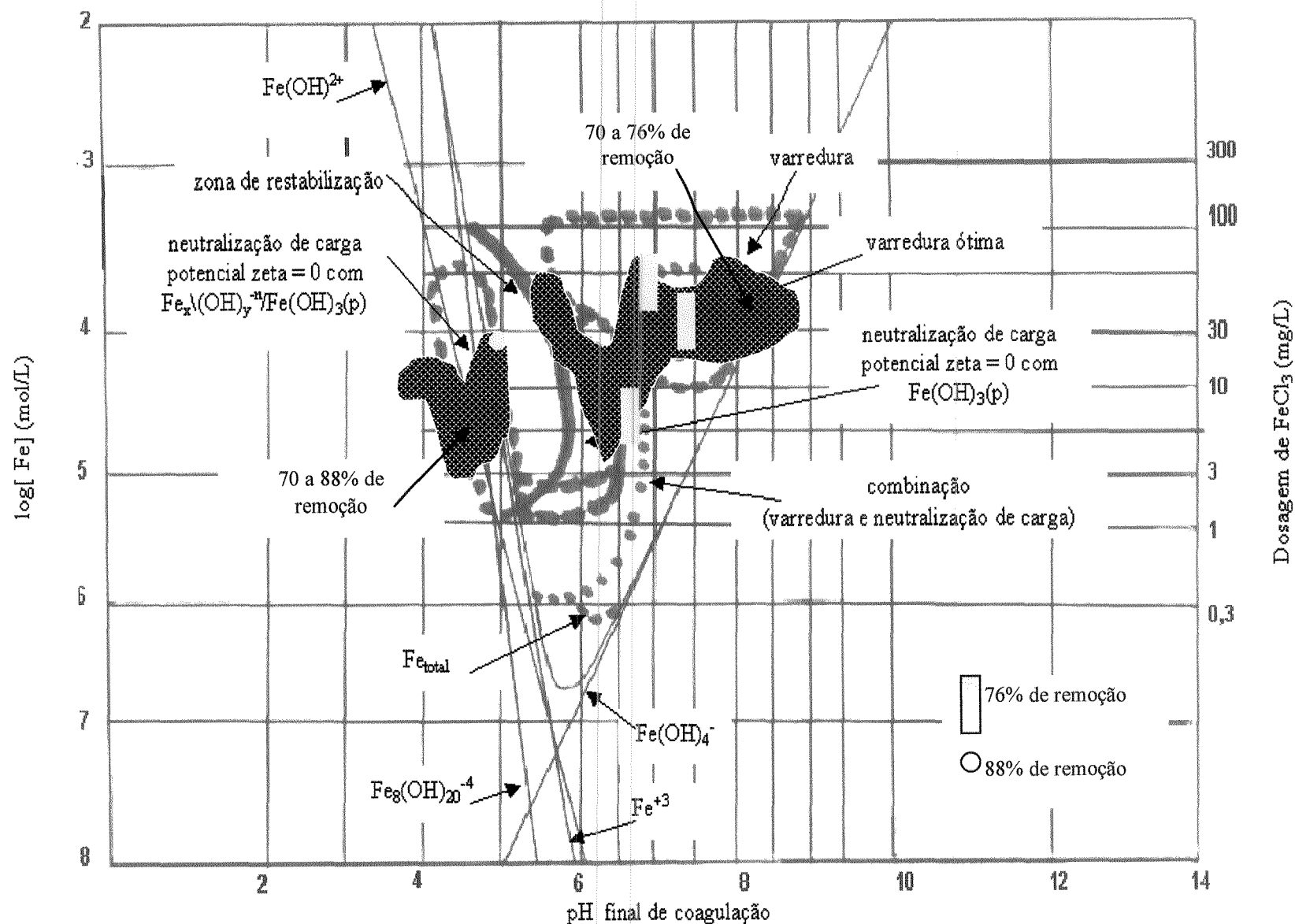


Fig. 59: Remoção de UV-254 por Cloreto Férrico.

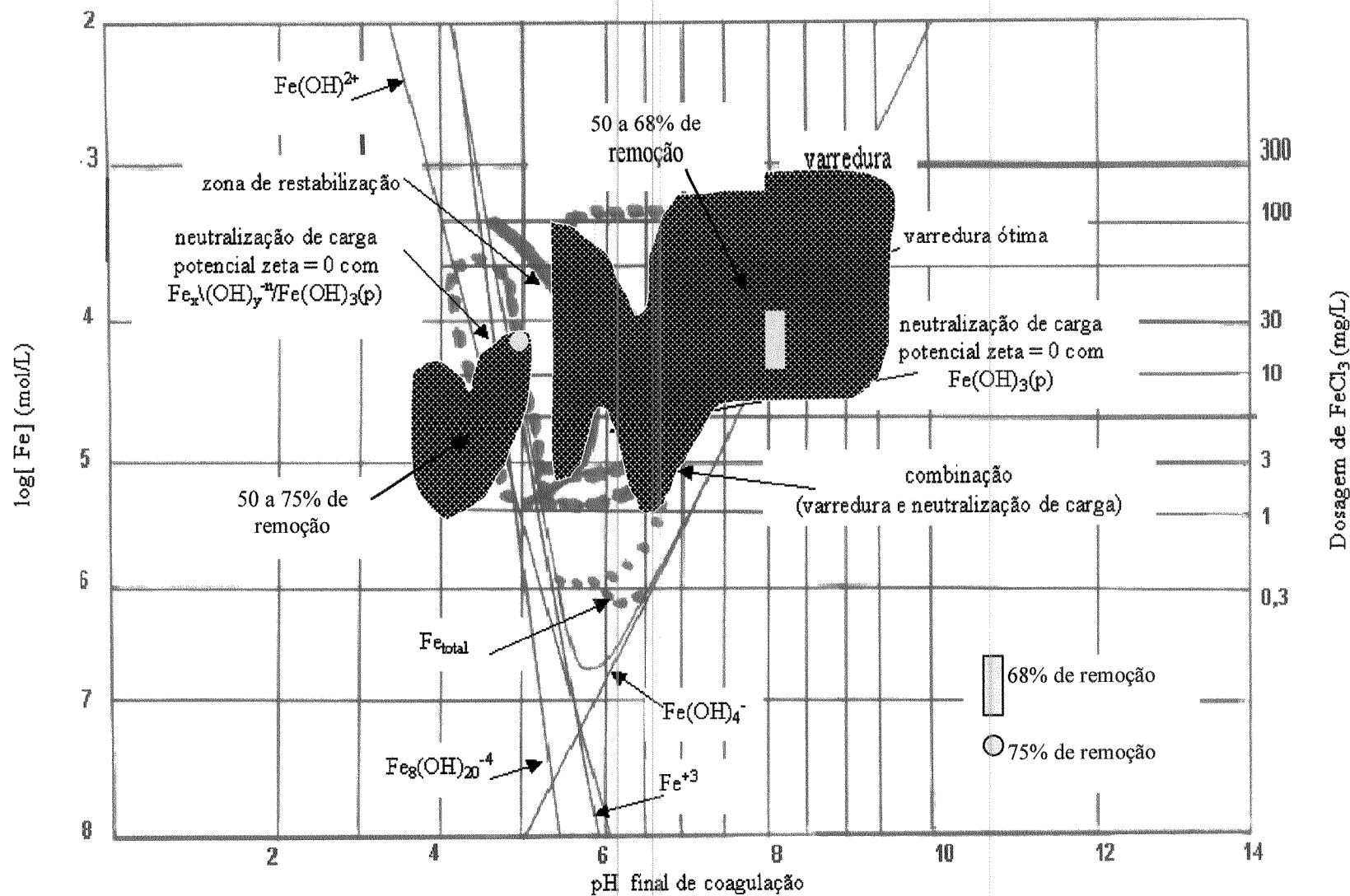


Fig. 60: Remoção de AUV por Cloreto Férrico.

5.3. DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DOS THMs

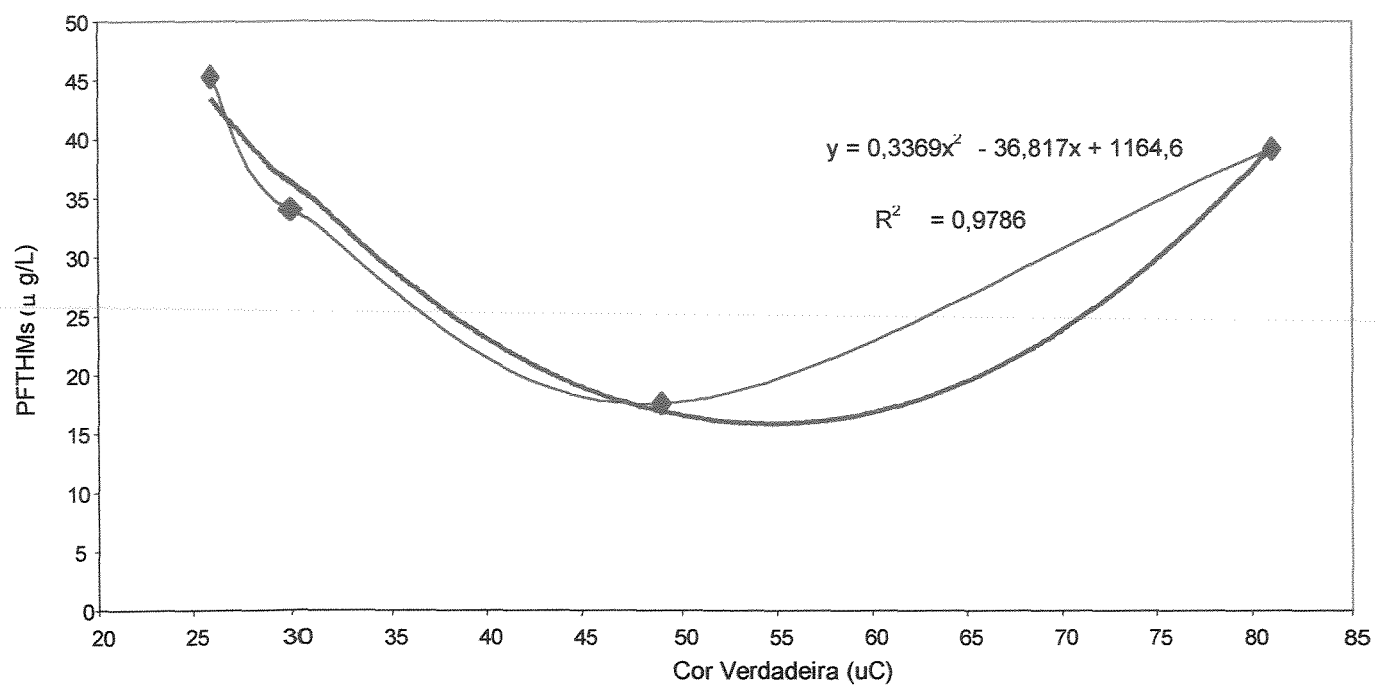
A Tabela 43 contém os dados do potencial de formação dos trihalometanos (PFTHMs) de setembro/2001 a março/2002, obtidos junto à captação da ETA Morro Grande (Sistema Alto Cotia). Nota-se que os resultados são superiores a 300 µg/L, principalmente nos meses mais quentes do ano (novembro e janeiro). Também são apresentados os resultados do COD e do UV-254 para o mesmo período, podendo-se, então, calcular o índice AUE.

TAB. 43: Resultados da análise da água bruta da Represa Cachoeira da Graça, junto à captação da ETA Morro Grande (Sistema Alto Cotia).
FONTE: CETESB, 2002, modificado.

MESES	COD (ppm)	UV-254 (cm ⁻¹)	AUE (L/mg.m)	PFTHMs (µg/L)
Setembro 2001	4,84	0,085	1,8	176
Novembro 2001	6,80	0,137	2,0	392
Janeiro 2002	5,93	0,145	2,4	453
Março 2002	6,79	0,168	2,5	340

As correlações entre os parâmetros substitutos (cor, COD, UV-254 e AUE) e o potencial de formação dos trihalometanos (PFTHMs) estão mostrados na Figura 61.

Cor Verdadeira X PFTHMs



COD X PFTHMs

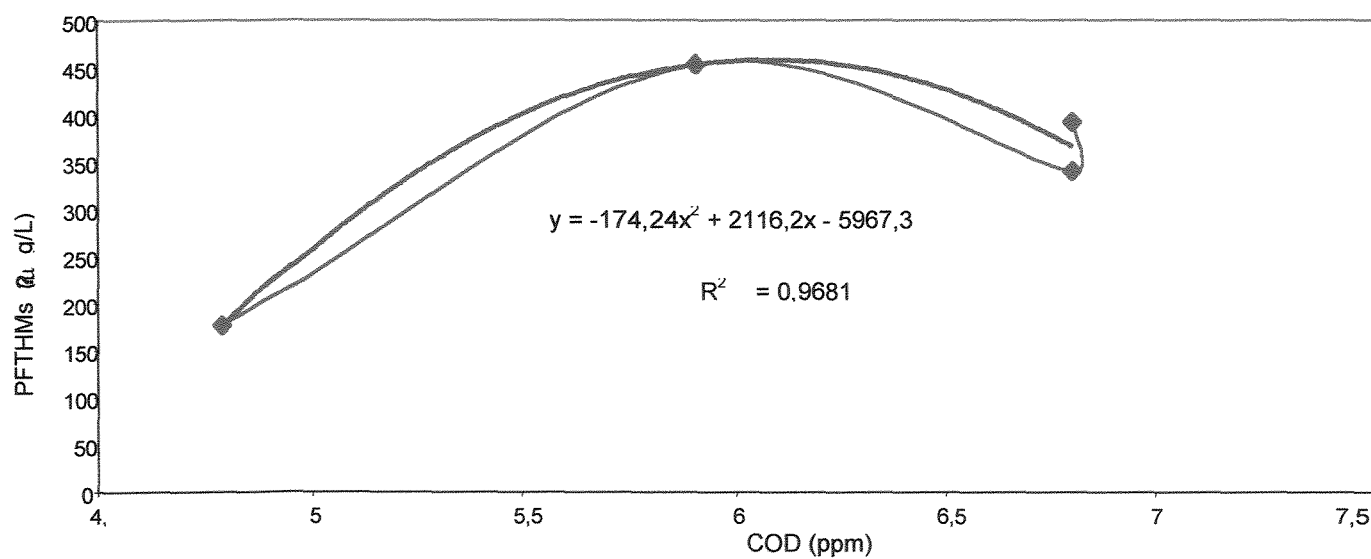


FIG. 61 : Correlações entre parâmetros substitutos e potencial de formação dos trihalometanos.

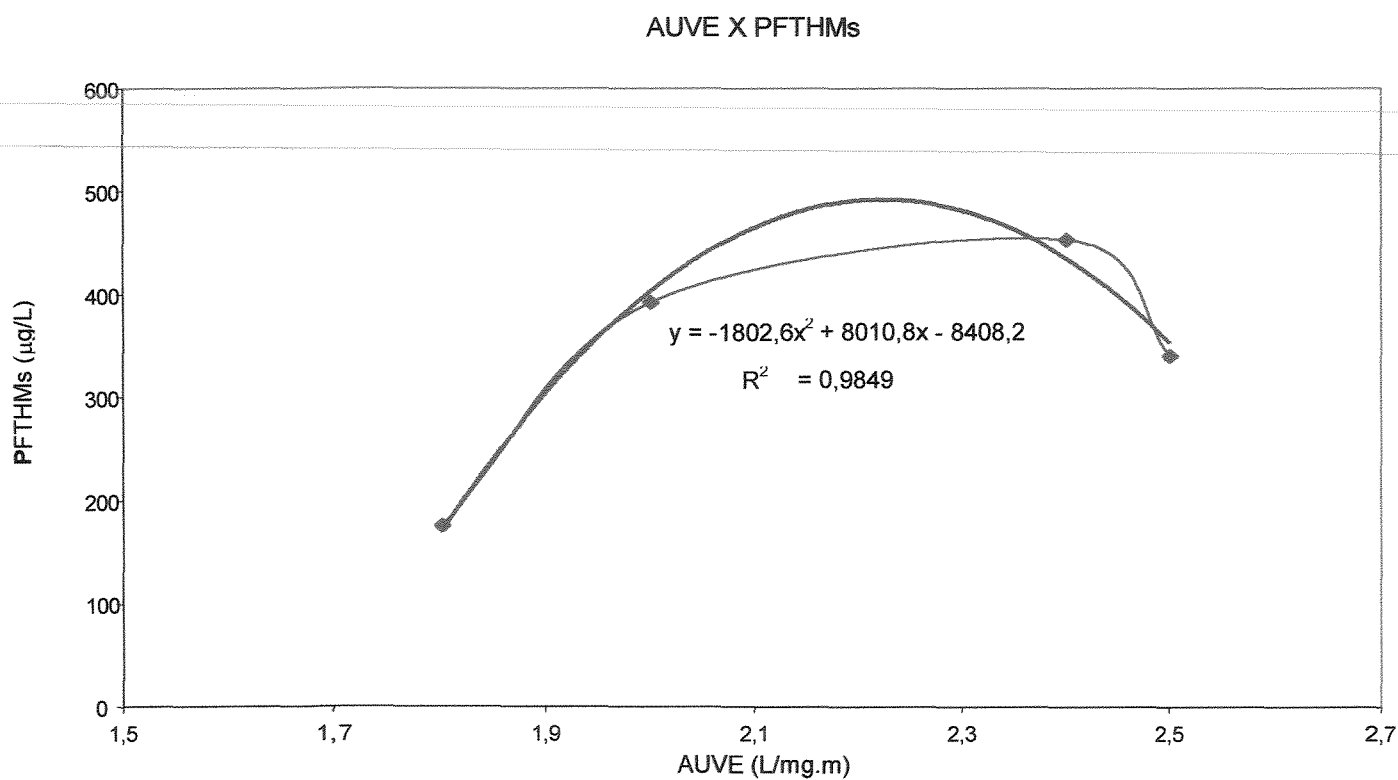
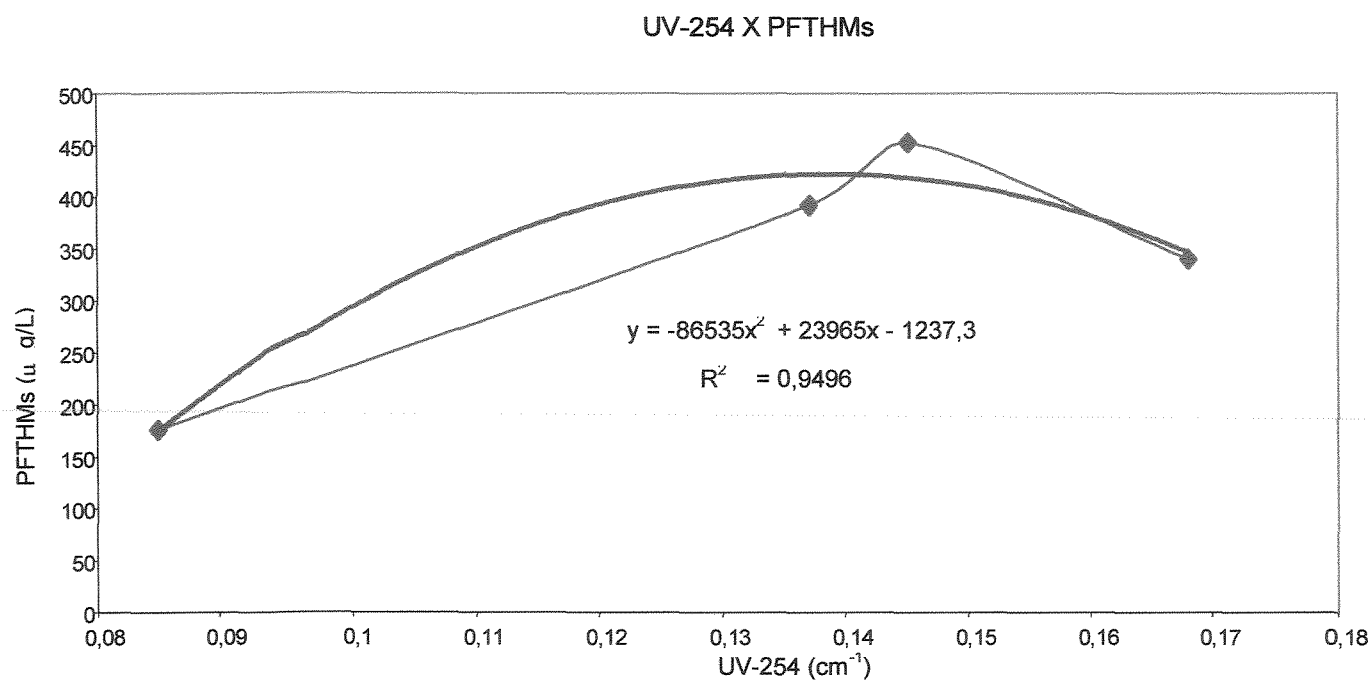


FIG. 61 : Correlações entre parâmetros substitutos e potencial de formação dos trihalometanos (continuação).

As melhores correlações foram obtidas para o parâmetro substituto AUE e os outros parâmetros substitutos, ou seja, cor verdadeira e UV-254 (Figura 62). Conclui-se, portanto, que o parâmetro substituto AUE pode ser usado para a determinação do potencial de formação dos trihalometanos, confirmando as observações feitas por EDZWALD et al. (1985).

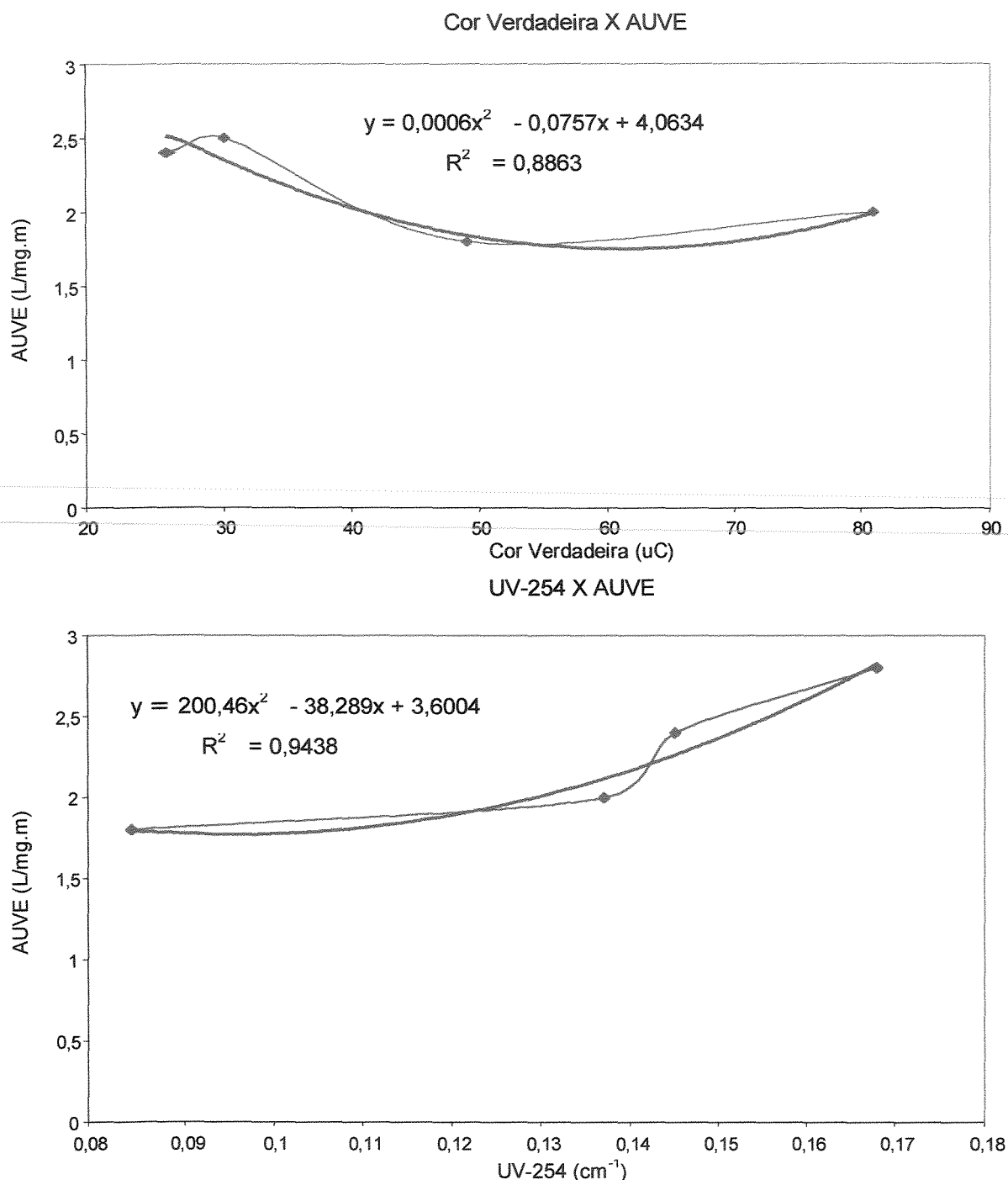


FIG. 62: Melhores correlações para o parâmetro substituto AUE.

5.4. CONSIDERAÇÃO SOBRE A AVALIAÇÃO DOS ERROS EXPERIMENTAIS

A metodologia utilizada para a determinação da cor e do UV-254 exige que o valor do pH das amostras bruta e tratada, após filtração em membrana 0,45 µm, seja 7,6. Durante o ajuste deste parâmetro, para as amostras tratadas com cloreto férrico, ocorreu nova coagulação, principalmente quando aplicadas altas dosagens de coagulante (acima de 150 mg/L), o que ocasionou aumento nos valores da cor e do UV-254. Esse fato pode ser resultante da alteração nas proporções das espécies de ferro hidrolisadas.

O COD não pode ser considerado como parâmetro substituto principal, pois, durante os ensaios, o aparelho sofreu manutenção e as curvas de calibração demoraram a ser refeitas; nesse período, as análises foram feitas, mas os resultados não são precisos.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesse trabalho de pesquisa permitiram concluir que:

- 1) A água que abastece o Sistema Alto Cotia apresentou baixa turbidez e elevada cor, comprovando a formação de THMs, após sua cloração.

- 2) A maior parte do material orgânico presente na água estava sob a forma dissolvida, indicando que a coagulação otimizada aplicada tanto para o processo convencional de tratamento como para o processo de filtração direta pode ser usada para tratá-la.
- 3) No mecanismo de adsorção-neutralização de cargas, necessário à filtração direta, foram observadas remoções de 91% da turbidez e de 90% da cor, quando foi empregado $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e remoções de 90% da turbidez e 100% da cor, quando foi utilizado FeCl_3 .
- 4) No mecanismo de varredura, utilizado no tratamento convencional, obtiveram-se reduções de 97% da turbidez e de 100% da cor, tanto com o uso de sulfato de alumínio como com o uso de cloreto férrico.

- 5) As condições ideais obtidas para o mecanismo de adsorção-neutralização de cargas foram pH = 4,20 e 18 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e pH = 4,65 e 15 mg/L de FeCl_3 .
- 6) Para o mecanismo de varredura, as condições ideais encontradas foram pH = 6,74 e 18 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ e pH = 6,20 e 20 mg/L de FeCl_3 .
- 7) As análises estatísticas de 690 resultados indicam que existe correlação entre os parâmetros substitutos de cor e UV-254 e que o índice AUVE também pode ser usado como parâmetro substituto. As melhores correlações obtidas foram entre cor e UV-254 e as piores entre COD e AUVE.
-
- 8) A análise dos resultados obtidos só é válida para o Sistema Alto Cotia e não deve ser extrapolada para outros sistemas. As condições de ensaios utilizadas somente podem ter validade para outros sistemas de tratamento, após a realização de ensaios experimentais específicos.

7. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que sejam efetuados estudos sobre:

- 1) Correlação entre o índice AOVE e o PFTTHMs para outros sistemas de tratamento que utilizam cloro para desinfecção;
-

- 2) Sejam realizadas novas pesquisas para outros subprodutos da desinfecção, quando não se usa cloro para a desinfecção;

- 3) Planilha de custo para alteração da planta da ETA Morro Grande, para que a água possa ser tratada por filtração direta, no período de estiagem, minimizando, assim, o custo do tratamento;

Sugere-se que:

- 1) Sejam usados os parâmetros substitutos, incluindo o índice AOVE, para a água tratada na ETA Morro Grande.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AIETA, E.M. & BERG, J.D.: "*A Review of Chlorine Dioxide in Drinking Water Treatment*", Journal AWWA, 78 (6): 62 – 72, 1986
2. AMIRTHARAJAH, A.; DENNETT, K.E. & STUDSTILL, A.: "*Ferric Chloride Coagulation for Removal of Dissolved Organic Matter and Trihalomethane Precursors*", Water Sci. Technol., 27 (11): 113 – 121, 1993
3. AMY, G.L.; SIERKA, R.A.; BEDESSEM, J.; PRICE, D. & TAN, L.: "*Molecular Size Distributions of Dissolved Organic Matter*", Journal AWWA, 84 (6): 67 – 75, 1992
4. ANDERSON, M.C.; RHENDAL, C.B.; BUTLER, R.C.; HOLDREN, F.J. & KORNEGAY, B.H.: "*Controlling Trihalomethanes with Powdered Activated Carbons*", Journal AWWA, 73 (8): 432 – 439, 1981
5. AZEVEDO NETO, J.M.: "*Cronologia do Abastecimento de Água até 1970*", Revista DAE, 47 (37), 1984
6. BABCOCK, D.B. & SINGER, P.C.: "*Chlorination and Coagulation of Humic and Fulvic Acids*", Journal AWWA, 71 (3): 149 – 152, 1979
7. BELLAR, T.A.; LICHTENBERG, J.J. & KRONER, R.C.: "*The Occurrence of Organohalides in Chlorinated Drinking Water*", Journal AWWA, 66 (12): 703 – 706, 1974
8. BLACK, B.D.; HARRINGTON, G.W. & SINGER, P.C.: "*Reducing Cancer Risks by Improving Organic Carbon Removal*", Journal AWWA, 88 (6): 40 – 52, 1996
9. CAPECE, J.: "*Trihalomethanes and our Water Supply*", Southern Data Stream, <http://www.SouthernDataStream.com/thm/index.html>, 25/03/2000, 15h40min

10. CDC (“Center of Disease Control”): “*Assessing the Public Threat Associated with Waterborne Cryptosporidiosis: Report of a Workshop*”, Journal AWWA, 80 (2): 88 – 93, 1988
11. CHEN, J.; RULKENS, W.H. & BRUNING, H: “*Photochemical Elimination of Phenols and COD in Industrial Wastewaters*”, Water Sci. Technol. 35 (4): 231 – 238, 1997
12. CHENG-FANG, L; LIN, T.Y & HAO, O.J.: “*Effects of Humic Substance Characteristics on UF Performance*”, Water Sci. Technol. 34 (4): 1097 – 1106, 2000
13. CHOWDHURY, Z.K.; MORAN, M. & CHAFFIN, J.: “*Optimization of NOM Precursors and Arsenic Removal by Enhanced Coagulation*”, AWWA Conference Proceedings, 1994
14. CHRISTMAN, R.F.: “*Identity and Yields of Major Halogenated Products of Aquatic and Fulvic Acid Chlorination*”, Environ. Sci. Technol., 17 (10), 1983
15. COMMITTEE REPORT: “*Organics Removal by Coagulation: A Review and Research Needs*”, Journal AWWA, 71 (10): 588 – 603, 1979

16. CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente): “*Resolução n.º 20*”, Brasil, 1996
17. DANIEL, F.B.; CONDIE, L.W.; ROBINSON, M.; STOBBER, J.A.; YORK, R.C.; OLSON, G.R. & WANG, S.R.: “*Comparative Sub chronic Toxicity Studies of Three Disinfectants*”, Journal AWWA, 82 (10): 61 – 69, 1990
18. DeMERS, L.D. & RENNER, R.C.: “*Alternative Disinfection Technologies for Small Drinking Water Systems*”, AWWA Research Foundation, 1992
19. DE PÁDUA, V.L., DI BERANRDO, L: “*Método Comparativo dos Flocos Formados após Coagulação com $Al_2(SO_4)_3$* ”, 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.
20. DI BERNARDO, L. & MENDES, C.G.N.: “*Coagulação e Filtração Direta Ascendente*”, 13º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1985
21. DI BERNARDO, L.; MENDES, C.G.N. & GUIMARÃES, A.F.: “*Projeto, Execução e Calibração de uma Instalação para a Realização de Ensaios de Floculação*”, 14º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1987
22. DI BERNARDO, L.; MENDES, C.G.N. & GUIMARÃES, A.F.: “*Metodologia para a Realização de Ensaios de Floculação de Águas de Abastecimento*”, 14º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1987

23. DI BERNARDO, L.; GUIMARÃES, A.F. & MENDES, C.G.N.: “*Mecanismos da Coagulação de Águas com Turbidez Elevada e Cor Baixa*”, 14º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1987
24. DI BERNARDO; MENDES, C.G.N. & GUIMARÃES, A.F.: “*Coagulação-Floculação de Águas com Turbidez ou Cor Elevada*”, Revista DAE, 150 (47): 227 – 239, 1987
25. DI BERNARDO, L. & MENDES, C.G.N.: “*Influência da Concentração da Solução de Coagulante na Eficiência da Coagulação, Floculação e Sedimentação de Águas com Qualidade Variável*”, 12º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1990
26. DI BERNARDO, L.: “*Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*”, Vols. 1 e 2, Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES), RJ, Brasil, 1993
27. EDWARDS, G.A. & AMIRTHARAJAH, A.: “*Removing Color Caused by Humic Acids*”, Journal AWWA, 77 (3): 50 – 57, 1985
28. EDZWALD, J.K.: “*Coagulation in Drinking Water Treatment: Particles, Organics and Coagulants*”, Water Sci. Technol., 17 (11): 21 – 35, 1993
29. EDZWALD, J.K.; BECKER, W.C. & WATTIER, K.L.: “*Surrogate Parameters for Monitoring Organic Matter and THM Precursors*”, Journal AWWA, 77 (4): 122 – 132, 1985
30. EIKEBROKK, K.: “*Coagulation-Direct Filtration of Soft, Low Alkalinity Humic Waters*”, Water Sci. Technol., 40 (9): 55 – 62, 1999
31. FERGUSON, D.W.; McGUIRE, M.J.; KOCH, B.; WOLFE, R.L. & AIETA, E.M.: “*Comparing PEROXONE and Ozone for Controlling Taste and Odor Compounds, Disinfection By-products and Microorganisms*”, Journal AWWA, 82 (4): 181 – 191, 1990
32. GALLARD, H. & VON GUNTEN, U.: “*Chlorination of Natural Organic Matter: Kinetics of Chlorination and THM Formation*”, Water Res. 36(2002): 65 - 74
33. GARRIDO, C.: “*Água, o Grande Desafio do Milênio*”, Revista de Engenharia, Instituto de Engenharia –SP, 541: 32 – 59, Março 2000
34. GLAZE, W.H. & KANG, J.W.: “*Advanced Oxidation Process for Treating Groundwater Contaminated with TCE and PCE Laboratory Studies*”, Journal AWWA, 88 (5): 57 – 63, 1988

35. HAND, D.W.; CRITTENDEN, J.C. & PERRAM, D.L.: "*Destruction of Disinfection By-product Precursors Using Photo assisted Heterogeneous Catalytic Oxidation*", AWWA Research Foundation, 1993
36. HARMS, L.L.: "*Alternative Disinfection Technologies and Strategies for Inactivating Protozoan Cysts*", AWWA Conference Proceedings, 1999
37. HAUTALA, K.; PEURAVUORI, J. & PIHLAJA, K.: "*Measurement of Aquatic Humus Content by Spectroscopic Analyses*", Water Res., 34 (1): 256 – 258, 2000
38. HOEHN, R.C.; BARNES, D.B.; THOMPSON, B.C.; RANDALL, C.W.; GRIZZARD, T.J. & SHAFFER, P.T.B.: "*Algae as Sources of Trihalomethane Precursors*", Journal AWWA, 76 (6): 344 – 350, 1980
39. HOIGNÉ, J. & BARDER, H.: "*Rate Constants of Reactions of Ozone with Organic and Inorganic Compounds in Water: Dissociating Organic Compounds*", Water Res., 17: 185 – 194, 1983
40. HUBEL, R.E. & EDZWALD, J.K.: "*Removing Trihalomethane Precursors by Coagulation*", Journal AWWA, 77(7): 98 – 106, 1987
41. ISAAC, R.L.: "*Controle de Trihalometanos em Sistemas de Abastecimento: Remoção por Adsorção em Colunas de Carvão Ativado Granular em Estação de Tratamento de Água*", Dissertação de Mestrado, Engenharia Hidráulica, USP, 1993
42. JACANGELO, J.G. & WATSON, M.: "*Membrane Filtration for Small Drinking Water Systems*", USEPA, 1995
43. KARIMI, A.A. & SINGER, P.C.: "*Trihalomethane Formation in Open Reservoirs*", Journal AWWA, 83 (3): 84 – 88, 1991
44. KAVANAUGH, M.C.: "*Modified Coagulation for Improved Removal of Trihalomethane Precursors*", Journal AWWA, 71 (10): 588 – 603, 1978
45. KRASNER, S.W.; McGUIRE, M.J.; JACANGELO, J.G.; PATANIA, N.L.; REAGAN, K.M. & AIETA, E.M.: "*The Occurrence of Disinfection By-products in US Drinking Water*", Journal AWWA, 81 (8): 41 – 53, 1989
46. KOSAKA, K.; YAMADA, H.; SHISHIDA, K.; ECHIGO, S.; MINEAR, R.A.; TSUNO, H. & MATSUI, S.: "*Evaluation of the Treatment Performance of Multistage Ozone/Hydrogen Peroxide Process by Decomposition By-Products*", Water Res. 35(15): 3587 – 3594, 2001
47. LEME, F.P.: "*Teoria e Técnicas de Tratamento de Água*", Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), SP, Brasil, 1979

48. LYKINS JR., B.W.; CLARK, R.M. & ADAMS, J.Q.: "*Granular Activated Carbon for Controlling THMs*", Journal AWWA, 80 (5): 85 – 92, 1988
49. MENDES, C.G.N. & DI BERNARDO, L: "*Coagulação-Floculação de Água com Qualidade Variável Utilizando o Diagrama de Solubilidade do Alumínio*", 12º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1990
50. MENDES, C.G.N. & DI BERNARDO, L: "*Relação entre Gradiente de Velocidade e Tempo de Mistura na Floculação de Águas com Qualidade Variável*", 12º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1990
-
51. MINISTÉRIO DA SAÚDE: "*Portaria n.º 1469*", Brasil, 2000
52. MOHAMED, A.E.D. & RIZKA, K.A.: "*THMs Formation During Chlorination of Raw Nile River Water*", Water Res., 29 (10): 375 – 378, 1995
53. NORTON, C.D. & LeCHEVALLIER, M.W.: "*Chloramination: Its Effect on Distribution System Water Quality*", Journal AWWA, 89 (7): 66 – 77, 1997
54. ODEGAARD, H.; EIKEBROKK, B. & STORHAUG R.: "*Processes for the Removal of Humic Substances from Water – Na Overview Based on Norwegian Experiences*", Water Sci. Technol., 49 (9): 37 – 46, 1999
-
55. OLIVEIRA, A.C.: "*Minimização da Formação de Trihalometanos no Tratamento de Água de Abastecimento*", Dissertação de Mestrado, Engenharia Hidráulica, USP, 2002
56. ODEN, S.: "*Humic Acids Kolloidchem*", Committee Report for Organics Removal by Coagulation: A Review and Research Needs, Journal AWWA, 71 (10): 588 – 603, 1979
57. PETRUSEVSKI, B.: "*Influence of Algal Species and Cultivations Conditions on Algal Removal in Direct Filtration*", Water Sci. Technol., 27 (11): 211 – 220, 1993
58. RIBEIRO, J.T.: "*Estudo de Remoção de Precursores de THMs para Águas de Abastecimento*", Dissertação de Mestrado, Engenharia Civil, UNICAMP, 1998
59. ROMERO, C.: "*Zeolite Membranes for Removal of Contaminants in Drinking Water*", National Center for Environmental Research, USEPA, 1996
60. ROOK, J.J.: "*Formation of Haloforms During Chlorination of Natural Waters*", Water Treatment and Examination, 23 (2): 234 – 243, 1974

61. SANCHEZ, P.S.; SATO, M.I.Z.; PASCHOAL, C.M.R.B.; ALVES, M.N.; FURLAN, E.V. & MARTINS, M.T.: *"Toxicity Assessment of Industrial Effluents from S. Paulo State, Brazil, Using Short-Term Microbial Assays"*, Environ. Toxicol. and Water Quality, International Journal, Vol. 3, 55 – 80, 1992
62. SEMMIENS, M.J. & FIELD, T.K.: *"Coagulation: Experiences in Organics Removal"*, Journal AWWA, 72 (8): 476 – 483, 1980
63. SEMMIENS, M.J. & STAPLES, A.B.: *"The Nature of Organics Removed During Treatment of Mississippi River Water"*, Journal AWWA, 78 (2): 76 – 81, 1986
64. SHORNEY, H.L. & FREEMAN, S.: *"Control of Disinfection By-product (DBP) Precursors"*, AWWA Conference Proceedings, 1997
65. SINGER, P.C.; BORCHARDT, J.H. & COLTHURST, J.M.: *"The Effects of Permanganate Pretreatment on Trihalomethane Formation in Drinking Water"*, Journal AWWA, 72 (10): 573 – 578, 1980
66. SINGER, P.C. & CHANG, S.D.: *"Correlations Between Trihalomethanes and Total Organe Halides Formed During Water Treatment"*, Journal AWWA, 81 (8): 61 – 65 1989

67. SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento): *"Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos"*, Programa de Modernização do Setor Saneamento, Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano, Governo Federal, Brasília, Brasil, 2000
68. SINSABAUGH III, R.L.; HOEHN, R.C. KNOCKE, W.R. & LINKINS III, A.E.: *"Removal of Dissolved Organic Carbon by Coagulation with Iron Sulfate"*, Journal AWWA, 78 (5), 74 – 82, 1986
69. SKADSEN, J.: *"Nitrification in a Distribution System"*, Journal AWWA, 78 (7): 95 – 103, 1993
70. SMITH, L.A.; DIETRICH, A.M.; MANN, P.D.; HARGETTE, P.H.; KNOCKE, W.R.; HOEHN, R.C. & RANDTKE, S.J.: *"Effects of Enhanced Coagulation on Halogenated Disinfection Byproduct Formation Potentials"*, AWWA Conference Proceedings, 1994
71. SONG, R.; WESTERHOFF, P.; MINEAR, R. & AMY, G.: *"Bromate Minimization During Ozonation"*, Journal AWWA, 89 (6): 69 – 78 , 1997
72. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION FOR THE WATER AND WASTEWATER, APHA, AWWA, WEF, 20ª Edição, 2000

73. STEVENS, A.A.; SLOCUM, C.J.; SEEGER, D.R. & ROBECK, G.G.: *"Chlorination of Organics in Drinking Water"*, Journal AWWA, 8 (11): 615 – 620, 1976
74. SYMONS, J.M.; BELLAR, T.A.; CARSWELL, K.; DeMARCO, J.; KROPP, K.L.; ROBECK, G.G.; SEEGER, D.R.; SLOCUM, C.J.; SMITH, B.L.; STEVENS, A.A.: *"National Organics Reconnaissance Survey for Halogenated Organics"*, Journal AWWA, 67 (11): 634 – 647, 1975
75. TATE, C.H. & TRUSSELL, R.R.: *"Recent Developments in Direct Filtration"*, Journal AWWA, 78 (6): 165 – 169, 1980
76. TOBIASON, J.E.; EDZWALD, J.K. RECKHOW, D.A. & SWITZENBAUN, M.S.: *"Effect of Pre-Ozonation on Organics Removal by In-Line Direct Filtration"*, Water Sci. Technol. 27 (11): 81 – 90, 1993
77. TRUSSELL, R.R. & UMPHRES, M.D.: *"The Formation of Trihalomethanes"*, Journal AWWA, 70 (11): 604 – 610, 1978
78. UMPHRES, M.D.; TATE, C.H.; KAVANAUGH, M.C. & TRUSSELL, R.R.: *"Trihalomethane Removal by Packed-Tower Aeration"*, Journal AWWA, 759 (8): 414 – 418, 1982
-
79. USEPA (United States Environmental Protection Agency): *"National Primary Drinking Water Regulations: Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule Notice of Data Availability"*, Federal Register, 62 (212): 59485 – 59557, 1997
80. USEPA (United States Environmental Protection Agency): *"Alternative Treatments Help Control DBPs"*, Report September, 1998
81. USEPA (United States Environmental Protection Agency): *"Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual"*, Office of Water, Cincinnati, Ohio, EUA, 1999 (a)
82. USEPA (United States Environmental Protection Agency): *"Microbial and Disinfection Byproduct Rules Simultaneous Compliance Guidance Manual"*, Office of Water, Cincinnati, Ohio, EUA, 1999 (b)
83. USEPA (United States Environmental Protection Agency): *"Enhanced Coagulation and Enhanced Precipitative Softening Guidance Manual"*, Office of Water, Cincinnati, Ohio, EUA, 1999 (c)
84. USEPA (United States Environmental Protection Agency): *"Unregulated Contaminant Monitoring Regulation Analytical Methods and Quality Control Manual"*, Office of Water, Cincinnati, Ohio, EUA, 1999 (d)

85. USEPA (*United States Environmental Protection Agency*): “*Protocol for Equipment Verification Testing for Removal of Precursors to Disinfection Byproducts*”, Ann Arbor, Michigan, 2000 (a)
 86. USEPA (*United States Environmental Protection Agency*): “*The History of Drinking Water Treatment*”, Office of Water, EPA 816-F-00-006, 2000 (b)
 87. VRIJENHOEK, E.M.; CHILDRESS, A.E.; ELIMELECH, M.; TANAKA, T.S. & BUEHLER, M.: “*Removing Particles and THMs Precursors by Enhanced Coagulation*”, Journal AWWA, 90 (4): 139 – 150, 1998
 88. WERDERHOFF, K.S. & SINGER, P.C.: “*Chlorine Dioxide Effects on THMFP, TOXFP and the Formation of Inorganic Byproducts*”, Journal AWWA, 79 (9): 107 – 113, 1987
 89. WESTERHOFF, G.P.; HESS, A.F. & BARNES, M.J.: “*Plant Scale Comparison of Direct Filtration Versus Conventional Treatment of a Lake Erie Water*”, Journal AWWA, 78 (6): 148 – 154, 1980
 90. WHITERELL, L.E.; DUNCAN, R.W.; STONE, K.M.; STRATTON, L.J.; ORCIARI, L.; KAPPEL, S. & JILLSON D.A.: “*Investigation of Legionella pneumophila in Drinking Water*”, Journal AWWA, 80 (2): 88 – 93, 1988
-

ANEXO 1

ANÁLISES DA ÁGUA BRUTA

RESULTADOS DAS ANALISES DA AGUA BRUTA DA ETA MORRO GRANDE SISTEMA ALTO COTIA

PARÂMETROS/DATA	04 - 09/09/01	11- 16/09/01	18- 23/09/01	25 - 30/09/01	02 - 07/10/01	09- 14/10/01	16- 21/10/01	23 - 28/10/01
Número da Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8
Hora da Coleta	08:00	07:30	07:30	07:30	07:30	07:00	08:30	07:00
T (lab) (°C)	24,0	27,5	27,0	24,0	25,0	28,0	26,0	29,5
pH (lab)	5,69	5,02	5,64	5,53	5,97	5,92	5,79	5,61
T (pH) (°C)	24,4	27,6	27,2	24,1	25,2	28,2	26,3	29,6
Turbidez (uT)	5,28	3,80	5,74	6,31	4,02	3,65	4,87	1,99
V (H ₂ SO ₄)	0,15	0,05	0,30	0,15	0,20	0,23	0,25	0,55
N (H ₂ SO ₄)	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944
Alcalinidade (ppm CaCO ₃)	2,99	1,00	5,98	2,99	3,99	4,59	4,99	10,97
Condutividade (µScm ⁻¹)	22,8	22,6	37,9	28,6	24,3	29,4	34,4	43,7
Condutividade corrigida (µScm ⁻¹)	23,64	22,07	37,28	29,83	24,81	28,40	34,41	41,17
Cor Aparente (uC)	105	87	126	117	89	81	97	62
Cor Verdadeira (0,45) (uC)	79	51	20	44	27	36	21	62
TC não filtrado (ppm)	9,836	7,872	8,162	9,134	8,770	8,235	8,754	23,460
IC não filtrado (ppm)	2,205	1,088	0,136	1,145	2,132	1,209	1,563	18,022
COT (ppm)	7,631	6,784	8,026	7,989	6,638	7,026	7,191	5,438
TC filtrado (0,45) (ppm)	9,932	7,950	9,511	8,186	7,241	8,377	7,035	8,612
IC filtrado (0,45) (ppm)	2,394	1,532	4,963	2,512	2,765	2,749	2,590	1,406
COD (0,45) (ppm)	7,538	6,418	4,548	5,674	4,476	5,628	4,445	7,206
UV-254 (0,45) (cm ⁻¹)	0,257	0,238	0,214	0,233	0,221	0,227	0,218	0,245
AUVE (0,45) (L/mg.m)	3,409	3,708	4,705	4,106	4,937	4,033	4,904	3,400

ALCALINIDADE: $ALC = \frac{V(H_2SO_4).N(H_2SO_4).50000}{V_{amostra}}$

CONDUTIVIDADE: $COND = \frac{1,025 . LEITURA}{1 + 0,0191 . (T - 25)}$

AUVE: $AUVE = \frac{UV_{254}}{COD}$

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUA DO SISTEMA ALTO COTIA

PARAMETROS/DATA	30/10 - 04/11/01	06- 11/11/01	13 - 18/11/01	20- 25/11/01	27/11 - 02/12/01	04 - 09/12/01	11 - 16/12/01	18 - 23/12/01
Número da Amostra	9	10	11	12	13	14	15	16
Hora da Coleta	07:00	07:00	12:45	12:45	12:45	06:45	06:45	06:45
T (lab) (°C)	27,5	27,5	26,0	26,0	26,0	28,5	28,5	28,5
pH (lab)	5,35	5,35	5,68	5,68	5,68	5,68	6,04	6,04
T (pH) (°C)	27,5	27,5	26,1	26,1	26,1	26,1	28,1	28,1
Turbidez (uT)	2,75	2,75	7,93	7,93	7,93	7,93	3,54	3,54
V (H ₂ SO ₄)	0,10	0,10	0,20	0,20	0,20	0,20	0,30	0,30
N (H ₂ SO ₄)	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944
Alcalinidade (ppm CaCO ₃)	1,99	1,99	3,99	3,99	3,99	3,99	5,98	5,98
Condutividade (μScm ⁻¹)	32,9	32,9	25,0	25,0	25,0	25,0	21,4	21,4
Condutividade corrigida (μScm ⁻¹)	32,19	32,19	25,10	25,10	25,10	25,10	20,71	20,71
Cor Aparente (uC)	74	74	139	139	139	139	79	79
Cor Verdadeira (0,45) (uC)	69	69	93	93	93	93	30	30
TC não filtrado (ppm)	6,600	6,600	9,815	9,815	9,815	9,815	8,466	8,466
IC não filtrado (ppm)	0,798	0,798	0,480	0,480	0,480	0,480	2,264	2,264
COT (ppm)	5,802	5,802	9,335	9,335	9,335	9,335	6,202	6,202
TC filtrado (0,45) (ppm)	8,133	8,133	10,618	10,618	10,618	10,618	8,370	8,370
IC filtrado (0,45) (ppm)	1,799	1,799	1,613	1,613	1,613	1,613	2,923	2,923
COD (0,45) (ppm)	6,334	6,334	9,005	9,005	9,005	9,005	5,447	5,447
UV-254 (0,45) (cm ⁻¹)	0,247	0,247	0,264	0,264	0,264	0,264	0,225	0,225
AUVE (0,45) (L/mg.m)	3,900	3,900	2,932	2,932	2,932	2,932	4,131	4,131

ALCALINIDADE: $ALC = \frac{V(H_2SO_4) \cdot N(H_2SO_4) \cdot 50000}{V_{amostra}}$

CONDUTIVIDADE: $COND = \frac{1,025 \cdot LEITURA}{1 + 0,0191 \cdot (T - 25)}$

AUVE: $AUVE = \frac{UV_{254}}{COD}$

RESULTADOS DAS ANÁLISES DA ÁGUA BRUTA DA ETA MORRO GRANDE SISTEMA ALTO COTIA

PARÂMETROS/DATA	08 - 13/01/02	15 - 20/01/02	22 - 27/01/02	29/01 - 03/02/02	05 - 10/02/02	19 - 24/02/02	26/02 - 03/03/02	05 - 10/03/02
Número da Amostra	17	18	19	20	21	22	23	24
Hora da Coleta	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00
T (lab) (°C)	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0	24,0
pH (lab)	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98
T (pH) (°C)	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8
Turbidez (uT)	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20
V (H ₂ SO ₄)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
N (H ₂ SO ₄)	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944
Alcalinidade (ppm CaCO ₃)	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98
Condutividade (μScm ⁻¹)	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
Condutividade corrigida (μScm ⁻¹)	28,32	28,32	28,32	28,32	28,32	28,32	28,32	28,32
Cor Aparente (uC)	63	63	63	63	63	63	63	63
Cor Verdadeira (0,45) (uC)	26	26	26	26	26	26	26	26
TC não filtrado (ppm)	7,386	7,386	7,386	7,386	7,386	7,386	7,386	7,386
IC não filtrado (ppm)	1,917	1,917	1,917	1,917	1,917	1,917	1,917	1,917
COT (ppm)	5,469	5,469	5,469	5,469	5,469	5,469	5,469	5,469
TC filtrado (0,45) (ppm)	7,332	7,332	7,332	7,332	7,332	7,332	7,332	7,332
IC filtrado (0,45) (ppm)	2,874	2,874	2,874	2,874	2,874	2,874	2,874	2,874
COD (0,45) (ppm)	4,458	4,458	4,458	4,458	4,458	4,458	4,458	4,458
UV-254 (0,45) (cm ⁻¹)	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221	0,221
AUVE (0,45) (L/mg.m)	4,957	4,957	4,957	4,957	4,957	4,957	4,957	4,957

ALCALINIDADE: $ALC = \frac{V(H_2SO_4) \cdot N(H_2SO_4) \cdot 50000}{V_{amostra}}$

CONDUTIVIDADE: $COND = \frac{1,025 \cdot LEITURA}{1 + 0,0191 \cdot (T - 25)}$

AUVE: $AUVE = \frac{UV_{254}}{COD}$

RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ÁGUA SISTEMA ALTO COTIA

PARÂMETROS/DATA	PONTOS EXTRAS						
	12 - 17/03/02	19 - 24/03/02	26 - 31/03/02	02 - 07/04/02	09 - 14/04/02	16 - 21/04/02	14 - 19/05/02
Número da Amostra	25	26	27	28	29	30	31
Hora da Coleta	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00	07:00
T (lab) (°C)	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	5,26	5,26	5,26	5,26	5,98	5,26	6,46
T (pH) (°C)	27,6	27,6	27,6	27,6	23,8	27,6	24,4
Turbidez (uT)	2,25	2,25	2,25	2,25	2,20	2,25	1,37
V (H ₂ SO ₄)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,21
N (H ₂ SO ₄)	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944	0,019944
Alcalinidade (ppm CaCO ₃)	1,99	1,99	1,99	1,99	5,98	1,99	4,19
Condutividade (μScm ⁻¹)	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	24,5
Condutividade corrigida (μScm ⁻¹)	21,97	21,97	21,97	21,97	28,32	21,97	25,40
Cor Aparente (uC)	69	69	69	69	63	69	50
Cor Verdadeira (0,45) (uC)	32	32	32	32	26	32	13
TC não filtrado (ppm)	10,660	10,660	10,660	10,660	7,330	7,493	8,324
IC não filtrado (ppm)	5,028	5,028	5,028	5,028	1,861	1,861	3,359
COT (ppm)	5,632	5,632	5,632	5,632	5,469	5,632	4,965
TC filtrado (0,45) (ppm)	7,456	7,456	7,456	7,456	7,955	7,120	7,221
IC filtrado (0,45) (ppm)	1,994	1,994	1,994	1,994	3,497	1,658	3,462
COD (0,45) (ppm)	5,462	5,462	5,462	5,462	4,458	5,462	3,759
UV-254 (0,45) (cm ⁻¹)	0,226	0,226	0,226	0,226	0,221	0,226	0,207
AUVE (0,45) (L/mg.m)	4,138	4,138	4,138	4,138	4,957	4,138	5,507

ALCALINIDADE: $ALC = \frac{V(H_2SO_4) \cdot N(H_2SO_4) \cdot 50000}{V_{amostra}}$

CONDUTIVIDADE: $COND = \frac{1,025 \cdot LEITURA}{1 + 0,0191 \cdot (T - 25)}$

AUVE: $AUVE = \frac{UV_{254}}{COD}$

ANEXO 2

ANÁLISES DA ÁGUA TRATADA POR $Al_2(SO_4)_3$ NA **ADSORÇÃO-NEUTRALIZAÇÃO DE CARGAS**

ENSAIOS DE JARROS PARA AVALIAR COAGULAÇÃO COM SULFATO DE ALUMÍNIO NA ADSORÇÃO

DATA : 04 - 09/09/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		3,5	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	3,5	1	2	3	4	5	6
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	3,5	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T (lab)	°C	24,0	26,5	26,0	25,5	25,5	25,5	25,5
pH (lab)	-	5,69	3,61	4,08	3,64	4,21	4,01	4,04
T (pH)	°C	24,4	24,3	24,4	24,4	24,5	24,5	24,6
Turbidez (uT)	uT	5,28	4,52	4,68	4,89	5,05	5,03	5,01
Alcalinidade	ppm CaCO_3	2,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μScm^{-1}	23,64	60,57	60,66	62,84	65,92	67,99	66,93
Cor Verdadeira (0,45)	uC	79	58	48	58	51	46	53
COT	ppm	7,631	7,502	7,852	8,375	7,998	8,029	8,329
COD (0,45)	ppm	7,538	6,802	6,602	7,105	6,631	6,097	6,657
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,257	0,251	0,205	0,241	0,220	0,198	0,224
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,409	3,690	3,105	3,392	3,318	3,247	3,365

DATA : 11 - 16/09/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		3,5	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	3,5	7	8	9	10	11	12
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	3,5	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
T (lab)	°C	27,5	26,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,02	3,42	3,48	3,45	3,46	3,45	3,43
T (pH)	°C	27,6	26,7	26,8	26,8	26,7	27,0	27,2
Turbidez (uT)	uT	3,80	3,00	2,81	2,54	2,74	2,16	2,08
Alcalinidade	ppm CaCO_3	1,00	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μScm^{-1}	22,07	41,99	45,09	52,92	54,50	57,66	58,53
Cor Verdadeira (0,45)	uC	51	48	30	35	36	31	27
COT	ppm	6,784	6,210	6,439	6,401	6,106	5,303	5,681
COD (0,45)	ppm	6,418	6,319	5,206	5,476	5,483	5,422	4,971
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,238	0,208	0,134	0,150	0,148	0,140	0,119
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,708	3,292	2,574	2,739	2,699	2,582	2,394

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para todos os jarros.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO SULFATO DE ALUMÍNIO NA ADSORÇÃO

DATA : 18 - 23/09/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		3,5	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	27,0	13	14	15	16	17	18
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,6	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
T (lab)	°C	27,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,64	3,34	3,42	3,39	3,38	3,39	3,40
T (pH)	°C	27,2	29,2	29,2	29,1	29,1	29,1	29,1
Turbidez (uT)	uT	6,74	2,20	1,72	1,72	1,99	1,88	1,35
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S cm^{-1}$	37,28	53,42	54,18	56,18	56,46	57,22	57,32
Cor Verdadeira (0,45)	uC	20	18	12	16	15	17	16
COT	ppm	8,026	6,520	5,383	5,929	5,631	5,352	5,033
COD (0,45)	ppm	4,548	4,438	4,378	4,285	4,083	4,325	4,504
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,214	0,096	0,078	0,079	0,073	0,091	0,078
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,705	2,163	1,793	1,844	1,788	2,104	1,732

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para todos os jarros.

DATA: 25 - 30/09/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		3,5	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	24,0	19	20	25	30	35	40
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	3,8	3,8	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
T (lab)	°C	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,53	3,54	3,55	3,65	3,69	3,75	3,71
T (pH)	°C	24,1	23,8	23,6	23,6	23,7	23,6	23,7
Turbidez (uT)	uT	6,31	3,21	2,46	2,41	2,34	2,55	1,80
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	2,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S cm^{-1}$	29,83	73,01	74,04	74,14	76,52	84,46	88,82
Cor Verdadeira (0,45)	uC	44	30	29	32	34	31	26
COT	ppm	7,989	6,425	6,214	6,383	5,654	6,041	5,293
COD (0,45)	ppm	5,674	5,125	5,208	5,211	5,501	5,364	5,175
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,233	0,125	0,123	0,141	0,145	0,146	0,128
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,106	2,439	2,362	2,706	2,636	2,722	2,473

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para todos os jarros.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR CONDIÇÕES DE SULFATO DE ALUMÍNIO NA ADSORÇÃO

DATA: 02 - 07/10/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,0	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	25,0	1	2	3	4	5	6
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T (lab)	°C	25,0	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
pH (lab)	-	5,97	4,19	4,13	4,09	3,91	4,06	3,93
T (pH)	°C	25,2	25,5	25,4	25,6	25,4	25,5	25,5
Turbidez (uT)	uT	4,02	2,76	2,72	2,82	2,60	2,20	1,82
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS cm ⁻¹	24,81	42,54	41,10	44,99	44,96	46,20	48,13
Cor Verdadeira (0,45)	uC	27	22	15	25	27	15	14
COT	ppm	6,638	6,031	5,708	6,504	5,905	5,360	5,142
COD (0,45)	ppm	4,476	4,708	4,346	5,083	5,033	4,457	4,431
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,107	0,089	0,112	0,132	0,091	0,084
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,937	2,273	2,048	2,203	2,623	2,042	1,896

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para o jarro 6.

DATA: 09 - 14/10/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,0	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	25,0	7	8	9	10	11	12
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
T (lab)	°C	28,0	28,5	28,0	28,0	28,0	28,5	28,5
pH (lab)	-	5,92	2,94	2,97	2,95	2,87	2,90	3,19
T (pH)	°C	28,2	28,6	28,5	28,5	28,6	28,7	28,7
Turbidez (uT)	uT	3,65	2,10	2,40	2,13	2,01	1,71	1,62
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	4,59	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS cm ⁻¹	28,40	43,92	46,41	46,79	48,72	52,85	50,36
Cor Verdadeira (0,45)	uC	36	26	17	18	24	21	19
COT	ppm	7,026	5,001	5,279	5,348	5,819	4,826	4,959
COD (0,45)	ppm	5,628	5,109	4,783	4,191	4,832	4,746	4,560
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,227	0,119	0,082	0,083	0,108	0,099	0,108
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,033	2,329	1,714	1,980	2,235	2,086	2,368

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para o jarro 1.

SULFATO DE ALUMÍNIO NA ADSORÇÃO

DATA: 16 - 21/10/01 FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,0	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	26,0	13	14	15	16	17	18
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	26,0	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
T (lab)	°C	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
pH (lab)	-	5,79	2,41	3,75	2,91	3,23	2,18	3,92
T (pH)	°C	26,3	26,5	26,4	26,4	26,4	26,4	26,4
Turbidez (uT)	uT	4,87	1,42	1,39	2,30	1,27	0,94	1,30
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	4,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS cm ⁻¹	34,41	51,52	46,42	55,51	45,62	48,22	46,02
Cor Verdadeira (0,45)	uC	21	16	11	14	12	11	14
COT	ppm	7,191	5,400	4,662	5,998	4,406	4,491	4,536
COD (0,45)	ppm	4,445	4,217	4,435	4,281	4,094	4,375	4,167
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,218	0,095	0,087	0,091	0,086	0,081	0,085
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,904	2,253	1,962	2,126	2,100	1,851	2,040

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para o jarro 1.

OBS.: Transbordamento do papel W-40 do jarro 3 para amostra a ser filtrada em 0,45 µm.

OBS.: Papel 0,45 µm da marca SS.

DATA: 23 - 28/10/01 FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,0	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	29,5	19	20	25	30	35	40
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	29,5	3,8	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
T (lab)	°C	29,5	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
pH (lab)	-	5,61	3,59	3,48	3,57	3,60	3,34	3,16
T (pH)	°C	29,6	29,2	29,3	29,5	29,4	29,5	29,4
Turbidez (uT)	uT	1,99	1,57	1,31	1,59	1,43	0,93	1,22
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	10,97	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS cm ⁻¹	41,17	58,36	58,73	66,17	65,05	71,83	73,00
Cor Verdadeira (0,45)	uC	62	35	22	13	20	22	10
COT	ppm	5,438	5,394	5,412	5,052	4,954	4,408	4,840
COD (0,45)	ppm	7,206	5,456	5,039	4,554	4,573	4,586	4,101
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,245	0,154	0,123	0,094	0,107	0,106	0,070
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,400	2,838	2,441	2,064	2,340	2,311	1,707

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO SULFATO DE ALUMÍNIO NA ADSORÇÃO

DATA: 30/10 - 04/11/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,5	FLOCULAÇÃO: 20 s 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	27,5	1	2	3	4	5	6
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	27,5	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T (lab)	°C	27,5	29,5	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
pH (lab)	-	5,35	3,25	3,23	4,25	3,27	2,74	3,30
T (pH)	°C	27,5	29,0	29,0	28,9	28,9	29,0	29,0
Turbidez (uT)	uT	2,75	2,74	2,53	2,17	2,42	2,36	2,16
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade corrigida	$\mu S cm^{-1}$	32,19	46,56	37,90	37,11	36,73	38,66	40,57
Cor Verdadeira (0,45)	uC	69	25	14	14	13	12	11
COT	ppm	5,802	6,384	5,673	5,799	5,872	5,803	5,597
COD (0,45)	ppm	6,334	4,568	3,974	4,208	4,015	4,273	4,716
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,247	0,100	0,069	0,071	0,067	0,065	0,074
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,900	2,189	1,736	1,687	1,669	1,521	1,569

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para os jarros 1, 2, 3 e 4.

DATA: 06 - 11/11/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,5	FLOCULAÇÃO: 20 s 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	27,5	7	8	9	10	11	12
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	27,5	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
T (lab)	°C	27,5	25,0	25,0	25,0	25,0	26,5	25,5
pH (lab)	-	5,35	3,92	3,91	3,69	3,62	3,60	3,36
T (pH)	°C	27,5	25,4	25,3	25,4	25,4	25,4	25,4
Turbidez (uT)	uT	2,75	2,64	1,59	1,35	0,67	0,56	0,39
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S cm^{-1}$	32,19	34,38	33,84	34,38	33,16	34,08	33,26
Cor Verdadeira (0,45)	uC	69	17	10	17	10	9	14
COT	ppm	5,802	6,031	4,985	4,919	4,137	3,868	4,003
COD (0,45)	ppm	6,334	4,580	3,941	4,235	4,126	3,872	4,018
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,247	0,079	0,063	0,076	0,065	0,066	0,063
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,900	1,725	1,599	1,795	1,585	1,705	1,568

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO COM SULFATO DE ALUMÍNIO NA ADSORÇÃO

COAGULANTE		DATA:	13 - 18/11/01	FRASCOS: 1 a 6				
		pH:		CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO				
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18 H ₂ O				MISTURA RÁPIDA:		250 s ⁻¹	60" = 1 min	
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L			4,5	FLOCULAÇÃO:		20 s ⁻¹	180" = 3 min	
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	13	13	14	15	16	17	18
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,6	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
T (lab)	°C	26,0	27,0	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
pH (lab)	-	5,68	3,60	3,44	4,22	4,20	3,99	4,20
T (pH)	°C	26,1	25,7	25,7	25,8	25,6	25,7	25,6
Turbidez (uT)	uT	7,93	1,48	0,88	0,77	0,91	0,88	0,75
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	25,10	59,37	52,70	55,83	50,16	50,17	49,66
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	28	20	17	17	11	9
COT	ppm	9,336	5,453	4,111	4,236	4,585	4,575	4,320
COD (0,45)	ppm	9,005	5,224	5,107	4,313	4,964	4,211	4,427
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,126	0,106	0,101	0,104	0,070	0,074
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,405	2,076	2,342	2,095	1,662	1,672

COAGULANTE		DATA:	20 - 25/11/02	FRASCOS: 1 a 6				
Al ₂ (SO ₄) ₃ · 18 H ₂ O		pH:		CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO				
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L				MISTURA RÁPIDA: 250 s ¹ 80" = 1 min				
				FLOCULAÇÃO: 20 s ¹ 180" = 3 min				
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	19	19	20	25	30	35	40
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	3,8	3,8	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
T (lab)	°C	26,0	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
pH (lab)	-	5,68	4,49	4,45	4,29	4,03	4,25	4,23
T (pH)	°C	26,1	25,7	25,6	25,7	25,5	25,7	25,5
Turbidez (uT)	uT	7,93	3,23	3,41	1,92	1,77	1,44	2,06
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	25,10	61,70	55,53	60,18	63,25	69,29	70,46
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	45	47	36	38	34	36
COT	ppm	9,336	7,154	7,188	6,141	5,659	5,705	5,682
COD (0,45)	ppm	9,005	6,225	6,618	6,011	5,837	5,482	5,995
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,181	0,193	0,155	0,164	0,151	0,154
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,908	2,916	2,579	2,810	2,754	2,569

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO COM SULFATO DE ALUMÍNIO NA ADSORÇÃO

DATA: 27/11 - 02/12/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,0	FLOCULAÇÃO: 20 s" 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	5,0	1	2	3	4	5	6
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	50	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T (lab)	°C	26,0	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
pH (lab)	-	5,68	4,97	4,96	4,94	4,93	4,91	4,80
T (pH)	°C	26,1	27,9	27,9	27,8	27,8	27,7	27,7
Turbidez (uT)	uT	7,93	3,42	3,78	4,15	4,54	5,03	5,13
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	3,99	1,99	1,60	1,40	1,20	1,00	1,00
Condutividade	$\mu S/cm$	25,10	43,70	44,00	44,66	37,85	36,46	36,94
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	46	37	32	27	27	27
COT	ppm	9,335	6,992	7,005	7,694	8,725	8,301	8,334
COD (0,45)	ppm	9,005	6,306	5,964	5,482	4,938	4,957	5,337
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,264	0,181	0,168	0,139	0,124	0,126	0,123
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,870	2,817	2,536	2,511	2,542	2,305

DATA: 04 - 09/12/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,0	FLOCULAÇÃO: 20 s" 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	5,0	7	8	9	10	11	12
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	50	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
T (lab)	°C	26,0	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
pH (lab)	-	5,68	4,78	4,81	4,84	4,82	4,83	4,83
T (pH)	°C	26,1	27,8	27,8	28,1	28,1	28,2	28,2
Turbidez (uT)	uT	7,93	4,53	4,79	5,12	5,17	5,19	5,23
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	3,99	1,00	1,00	1,20	1,20	1,20	1,00
Condutividade	$\mu S/cm$	25,10	37,07	38,63	38,80	39,97	41,15	43,65
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	27	24	20	22	25	27
COT	ppm	9,335	6,225	6,163	9,000	8,959	8,823	8,005
COD (0,45)	ppm	9,005	5,473	5,056	4,832	4,503	4,961	5,524
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,264	0,126	0,119	0,106	0,114	0,121	0,126
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,284	2,354	2,194	2,532	2,439	2,281

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO COM SULFATO DE ALUMÍNIO NA ADSORÇÃO

DATA: 11 - 16/12/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,0	FLOCULAÇÃO: 20 s 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	5,0	13	14	15	16	17	18
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	5,0	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
T (lab)	°C	28,5	27,0	27,0	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	6,04	4,72	4,65	4,57	4,53	4,50	4,48
T (pH)	°C	28,1	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
Turbidez (uT)	uT	3,54	3,18	2,24	1,15	1,11	1,06	1,03
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	1,20	1,00	0,60	0,20	-	-
Condutividade	$\mu S cm^{-1}$	20,71	46,57	45,69	45,78	46,76	48,43	49,11
Cor Verdadeira (0,45)	uC	30	18	15	8	11	10	9
COT	ppm	6,202	6,601	6,589	6,022	5,641	5,513	5,327
COD (0,45)	ppm	5,447	4,332	4,250	3,491	4,102	4,022	4,206
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,225	0,084	0,093	0,055	0,083	0,075	0,074
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,131	1,931	2,168	1,576	2,023	1,865	1,759

DATA: 18 - 23/12/01

FRASCOS: 1 a 6

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,0	FLOCULAÇÃO: 20 s 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	5,0	19	20	25	30	35	40
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	5,0	3,8	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
T (lab)	°C	28,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	6,04	4,50	4,50	4,44	4,43	4,34	4,37
T (pH)	°C	28,1	27,4	27,4	27,4	27,4	27,5	27,4
Turbidez (uT)	uT	3,54	1,05	1,02	1,10	0,98	0,92	0,94
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S cm^{-1}$	20,71	49,79	50,87	57,33	60,67	63,98	64,59
Cor Verdadeira (0,45)	uC	30	9	6	8	7	7	9
COT	ppm	6,202	4,166	4,149	4,539	4,588	4,548	4,888
COD (0,45)	ppm	5,447	3,997	3,964	4,438	4,011	3,996	4,509
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,225	0,060	0,060	0,075	0,073	0,073	0,070
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,131	1,501	1,514	1,690	1,820	1,827	1,552

ANEXO 3

ANÁLISES DA ÁGUA TRATADA POR $Al_2(SO_4)_3$ NA

VARREDURA

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO UTILIZADA SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA: 04 - 09/09/01

FRASCOS: 1 A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	10	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	24,0	25,0	24,8	24,5	24,5	24,6	24,5
pH (lab)	-	5,89	3,78	4,09	3,95	3,79	3,87	3,97
T (pH)	°C	24,4	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3	24,3
Turbidez (uT)	uT	5,28	4,66	4,61	4,72	3,75	3,22	2,82
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	2,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	23,64	40,00	40,10	41,24	43,74	43,63	44,05
Cor Verdadeira (0,45)	uC	79	54	42	41	47	38	41
COT	ppm	7,631	8,104	8,069	8,445	7,452	7,241	6,053
COD (0,45)	ppm	7,538	8,859	5,829	5,852	6,349	5,702	5,839
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,257	0,206	0,178	0,166	0,184	0,165	0,169
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,409	3,063	3,002	2,837	2,888	2,894	2,894

DATA: 11 - 16/09/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	10	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,02	4,38	4,09	3,90	3,91	3,95	3,89
T (pH)	°C	27,6	27,2	27,1	27,0	27,0	27,1	26,9
Turbidez (uT)	uT	3,80						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,00	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	22,07	39,45	39,91	40,28	41,37	46,02	49,06
Cor Verdadeira (0,45)	uC	51	19	18	18	19	19	14
COT	ppm	6,784	3,621	3,579	2,875	3,916	4,176	2,786
COD (0,45)	ppm	6,418	4,193	4,202	4,421	4,653	4,545	3,387
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,238	0,094	0,093	0,076	0,098	0,078	0,091
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,708	2,242	2,213	1,719	2,106	1,716	2,687

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA : 18 - 23/09/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	27,0	28,0	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,64	3,61	3,64	3,69	3,69	3,66	3,69
T (pH)	°C	27,2	29,0	29,0	29,0	29,2	29,1	29,1
Turbidez (uT)	uT	6,74						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	37,25	47,14	52,85	55,04	63,20	63,50	72,91
Cor Verdadeira (0,45)	uC	20	8	5	5			
COT	ppm	8,026	2,968	2,853	3,530	3,560	2,961	2,688
COD (0,45)	ppm	4,548	3,097	3,344	3,438	2,921	2,989	2,951
UV-254 (0,45)	cm	0,214	0,055	0,073	0,055	0,060	0,061	0,056
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,705	1,776	2,183	1,600	2,054	2,041	1,698

DATA : 25 - 30/09/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,53	3,88	4,02	4,08	4,11	4,04	4,06
T (pH)	°C	24,1	24,6	24,5	24,2	24,5	24,4	24,4
Turbidez (uT)	uT	6,31	1,11		1,01			
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	2,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	29,83	82,84	90,86	97,22	101,94	136,04	167,04
Cor Verdadeira (0,45)	uC	44	9	9	9	9	8	9
COT	ppm	7,989	3,444	3,953	3,265	3,282	3,108	3,963
COD (0,45)	ppm	5,674	3,970	3,184	3,240	3,423	3,558	3,262
UV-254 (0,45)	cm	0,233	0,091	0,084	0,072	0,083	0,061	0,065
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,106	2,292	2,638	2,222	2,425	1,714	1,999

ENSAIOS DE JAK TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO UTILIZADA SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA: 02 - 07/10/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	10	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	25,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	25,5
pH (lab)	-	5,97	4,93	4,74	4,78	4,85	4,41	4,91
T (pH)	°C	25,2	25,5	25,7	25,5	25,6	25,7	25,6
Turbidez (uT)	uT	4,02	1,59	1,03				
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	3,99	1,00	1,00	1,00	1,60	-	1,99
Condutividade	$\mu S/cm$	24,81	33,91	33,28	32,90	35,27	36,72	36,89
Cor Verdadeira (0,45)	uC	27	26	14	9	7	11	10
COT	ppm	6,638	5,210	3,854	3,865	3,823	3,136	3,429
COD (0,45)	ppm	4,476	4,601	3,741	3,590	3,787	3,215	3,305
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,221	0,121	0,098	0,097	0,054	0,074	0,080
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,937	2,630	2,620	2,702	1,690	2,302	2,421

DATA: 09 - 14/10/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	16	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	3,2	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	28,0	29,0	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
pH (lab)	-	5,92	5,55	4,92	4,94	4,19	3,66	4,17
T (pH)	°C	28,2	28,7	28,8	28,7	28,8	28,6	28,5
Turbidez (uT)	uT	3,65	3,18	3,19	2,52	1,03		
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	4,59	4,99	1,99	1,60	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	28,40	28,43	29,34	28,15	31,15	36,54	34,30
Cor Verdadeira (0,45)	uC	36	31	25	22	29	18	16
COT	ppm	7,028	6,849	6,905	5,469	4,281	2,794	3,353
COD (0,45)	ppm	5,628	4,552	4,826	4,221	4,705	3,942	3,937
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,227	0,140	0,115	0,101	0,126	0,075	0,088
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,033	3,076	2,383	2,393	2,678	1,903	2,235

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO UTILIZANDO SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

COAGULANTE		DATA :	16 - 21/10/01	FRASCOS: 1A a 6 A				
		pH:		CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA				
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$				MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min				
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,0		FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min				
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	26,0	26,5	26,5	26,5	26,5	26,6	26,5
pH (lab)	-	5,79	4,34	4,49	3,68	3,65	3,89	3,71
T (pH)	°C	26,3	26,3	26,3	26,4	26,3	26,4	26,4
Turbidez (uT)	uT	4,87						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	34,41	49,61	49,21	52,41	54,11	58,60	67,98
Cor Verdadeira (0,45)	uC	21						
COT	ppm	7,191	3,259	3,236	2,556	3,054	3,254	3,374
COD (0,45)	ppm	4,445	3,188	2,704	2,664	2,979	2,579	2,990
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,218	0,047	0,023	0,024	0,026	0,020	0,024
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,094	1,474	0,851	0,901	0,873	0,775	0,803

COAGULANTE		DATA :	23- 28/10/01	FRASCOS: 1A a 6 A				
		pH:		CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA				
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$				MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min				
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,0		FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min				
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	29,5	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0
pH (lab)	-	5,61	3,34	2,30	2,02	2,25	2,11	2,06
T (pH)	°C	29,6	29,3	29,3	29,3	28,8	28,5	28,6
Turbidez (uT)	uT	1,99						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	10,97	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	41,17	55,03	67,82	80,13	86,68	95,58	132,83
Cor Verdadeira (0,45)	uC	62	5	7	11	6	14	5
COT	ppm	5,438	3,336	3,299	2,658	2,727	2,999	3,504
COD (0,45)	ppm	7,206	3,054	3,204	3,515	3,275	3,515	3,178
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,245	0,063	0,060	0,073	0,052	0,089	0,050
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,400	2,063	1,873	2,077	1,588	2,532	1,673

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA: 30/10 - 04/11/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 800"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	27,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
pH (lab)	-	5,35	6,30	5,24	6,30	6,14	6,10	6,01
T (pH)	°C	27,5	28,7	28,7	28,7	28,8	28,8	28,7
Turbidez (uT)	uT	2,75	2,44	2,09	2,05	1,38		
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	5,19	4,99	5,19	3,99	3,99	2,99
Condutividade	$\mu S/cm$	32,19	44,71	42,60	36,86	38,99	37,66	38,58
Cor Verdadeira (0,45)	uC	69	23	17	14	15	15	13
COT	ppm	5,802	5,494	5,488	5,367	4,430	3,953	3,152
COD (0,45)	ppm	6,334	4,257	4,349	3,935	3,726	3,790	3,975
UV-254 (0,45)	cm	0,247	0,119	0,084	0,082	0,069	0,074	0,095
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,900	2,795	1,931	2,084	2,389	1,953	2,390

DATA: 06 - 11/11/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 800"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	27,5	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
pH (lab)	-	5,35	6,10	6,12	6,29	5,96	5,36	4,53
T (pH)	°C	27,5	26,3	26,2	26,2	26,2	26,2	26,3
Turbidez (uT)	uT	2,75		1,09				
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	4,99	3,99	5,98	4,39	1,40	1,00
Condutividade	$\mu S/cm$	32,19	45,21	46,29	49,79	49,80	40,38	42,81
Cor Verdadeira (0,45)	uC	69	9			8	5	
COT	ppm	5,802	3,473	3,963	3,996	2,782	2,544	2,157
COD (0,45)	ppm	6,334	3,256	3,161	3,208	3,408	3,155	2,861
UV-254 (0,45)	cm	0,247	0,097	0,056	0,053	0,068	0,041	0,035
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,900	2,181	1,772	1,652	1,995	1,300	1,215

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO COM COAGULANTE SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA : 13 - 18/11/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	26,0	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
pH (lab)	-	5,68	4,43	4,38	4,21	4,20	4,29	4,26
T (pH)	°C	26,1	26,0	26,1	26,0	26,0	26,1	26,0
Turbidez (uT)	uT	7,93						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	25,10	50,09	54,41	55,82	63,06	67,66	71,61
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	23	30	29	21	32	23
COT	ppm	9,335	2,365	2,034	2,415	2,919	2,159	2,226
COD (0,45)	ppm	9,005	4,094	4,914	4,658	4,689	5,322	4,418
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,264	0,122	0,131	0,131	0,110	0,141	0,111
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,980	2,849	2,814	2,346	2,649	2,512

DATA : 20 - 25/11/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	26,0	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5
pH (lab)	-	5,68	4,31	4,25	4,30	4,32	4,29	4,25
T (pH)	°C	26,1	27,8	27,8	28,1	28,1	28,2	28,2
Turbidez (uT)	uT	7,93						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	25,10	84,75	92,04	98,67	101,71	129,92	159,77
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	22	29	21	23	21	27
COT	ppm	9,335	3,317	3,806	4,279	3,588	3,340	3,174
COD (0,45)	ppm	9,005	4,229	4,602	4,224	4,558	4,270	4,544
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,264	0,095	0,138	0,104	0,095	0,101	0,127
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,246	3,065	2,462	2,084	2,385	2,795

**ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA
SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA**

DATA: 27/11 - 02/12/01

FRASCOS: 1A a 6A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
Al ₂ (SO ₄) ₃ . 18 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,0	FLOCULAÇÃO: 80; 60; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	7,0	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	10	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	28,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,5
pH (lab)	-	6,04	6,80	6,72	6,36	6,52	6,64	6,47
T (pH)	°C	28,1	27,4	27,4	27,4	27,4	27,3	27,3
Turbidez (uT)	uT	7,93	2,25	3,57	3,42	3,31	3,29	3,54
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	7,58	7,38	6,98	6,98	6,98	6,98
Condutividade	µScm ⁻¹	25,10	33,62	37,44	40,09	40,38	33,68	37,61
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	31	25	16	19	26	26
COT	ppm	9,335	5,795	7,612	7,301	7,136	6,056	7,231
COD (0,45)	ppm	9,005	4,791	4,822	4,122	4,521	4,367	4,562
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,153	0,114	0,083	0,085	0,128	0,131
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	3,193	2,364	2,014	1,880	2,931	2,872

DATA: 04 - 09/12/01

FRASCOS: 1A a 6A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
Al ₂ (SO ₄) ₃ . 18 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,0	FLOCULAÇÃO: 80; 60; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	7,0	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	10	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	28,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	6,04	6,24	6,33	6,30	6,45	6,60	6,70
T (pH)	°C	28,1	27,4	27,4	27,5	27,5	27,5	27,5
Turbidez (uT)	uT	7,93	3,49	3,30	3,27	3,20	3,26	3,27
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	5,58	5,58	5,58	6,98	7,18	7,58
Condutividade	µScm ⁻¹	25,10	35,48	35,67	34,34	35,51	33,36	34,63
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	24	14	9	10	9	9
COT	ppm	9,335	7,755	6,291	6,791	6,759	6,647	6,635
COD (0,45)	ppm	9,005	4,329	3,769	4,044	3,537	3,880	3,801
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,114	0,092	0,052	0,075	0,071	0,079
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,633	2,441	1,954	2,120	2,062	2,210

**ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO COM ALUMÍNIO
SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA**

DATA: 11 - 16/12/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s' 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	28,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	6,04	5,43	5,22	4,91	4,67	4,63	4,58
T (pH)	°C	28,1	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,4
Turbidez (uT)	uT	3,84	2,17	1,07				
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	5,98	5,58	1,00	1,60	0,60	0,60
Condutividade	$\mu S/cm$	20,71	39,47	45,46	48,80	59,30	62,74	77,62
Cor Verdadeira (0,45)	uC	30						
COT	ppm	6,202	5,645	5,147	3,728	3,457	4,226	3,577
COD (0,45)	ppm	5,447	2,998	3,103	3,154	2,637	2,956	2,985
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,225	0,056	0,038	0,035	0,024	0,023	0,020
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,131	1,868	1,225	1,110	0,910	0,778	0,670

DATA: 18 - 23/12/01

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s' 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	28,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	6,04	4,57	4,62	4,64	4,65	4,68	4,71
T (pH)	°C	28,1	27,4	27,4	27,4	27,4	27,3	27,4
Turbidez (uT)	uT	3,54				2,66		5,45
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	1,99	2,99	2,99	2,99	1,99	3,99
Condutividade	$\mu S/cm$	20,71	80,07	80,56	89,38	92,42	126,56	154,17
Cor Verdadeira (0,45)	uC	30						
COT	ppm	6,202	3,646	3,702	3,736	5,874	2,973	8,965
COD (0,45)	ppm	5,447	2,594	2,957	2,892	2,932	2,997	2,724
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,225	0,017	0,022	0,025	0,021	0,028	0,017
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,131	0,655	0,744	0,864	0,716	0,834	0,624

SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA : 08 - 13/01/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s ⁻¹ 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	24,0	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
pH (lab)	-	5,98	6,38	6,37	6,38	6,50	6,60	6,60
T (pH)	°C	23,8	23,6	23,6	23,5	23,6	23,6	23,6
Turbidez (uT)	uT	2,20	1,70	1,63	1,51	1,47	1,40	
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	6,38	6,38	6,38	6,98	7,98	7,98
Condutividade	$\mu S/cm$	28,32	40,86	41,39	39,57	40,86	42,02	39,28
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26			8			
COT	ppm	5,469	5,412	4,939	4,724	4,749	4,694	4,537
COD (0,45)	ppm	4,458	3,377	3,356	3,264	3,117	2,991	2,711
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,068	0,054	0,081	0,065	0,021	0,043
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,038	1,619	2,482	2,085	0,702	1,586

DATA : 15 - 20/01/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s ⁻¹ 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	24,0	24,6	24,6	24,5	24,5	24,5	24,5
pH (lab)	-	5,98	6,58	6,60	6,74	6,03	6,01	6,02
T (pH)	°C	23,8	23,6	23,6	23,8	23,8	23,8	23,8
Turbidez (uT)	uT	2,20						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	7,98	7,98	10,97	4,99	4,99	4,99
Condutividade	$\mu S/cm$	28,32	37,60	38,02	38,08	37,56	37,66	36,82
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26						
COT	ppm	5,469	3,603	3,601	3,678	3,504	3,113	3,023
COD (0,45)	ppm	4,458	2,717	3,185	2,962	2,748	2,796	2,970
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,025	0,045	0,023	0,047	0,024	0,026
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	0,920	1,413	0,777	1,710	0,858	0,875

**ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO
SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA**

DATA : 22 - 27/01/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,98	5,98	5,13	4,24	4,20	4,14	4,09
T (pH)	°C	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,8	23,7
Turbidez (uT)	uT	2,20						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	5,98	2,99	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	28,32	44,48	50,25	57,17	60,74	66,61	74,31
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26						
COT	ppm	5,469	3,827	3,480	3,197	3,434	3,406	3,353
COD (0,45)	ppm	4,458	2,802	3,032	2,867	3,049	3,059	2,968
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,221	0,020	0,050	0,023	0,054	0,048	0,022
AJVE (0,45)	L/mg.m	4,957	0,714	1,649	0,802	1,771	1,569	0,741

DATA : 29/01 - 03/02/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,98	4,10	4,14	4,17	4,19	4,28	4,24
T (pH)	°C	23,8	23,7	23,7	23,7	23,7	23,6	23,8
Turbidez (uT)	uT	2,20		1,37	1,43		1,09	1,11
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	5,98	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	28,32	78,94	93,13	93,86	102,69	130,49	160,82
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26					14	6
COT	ppm	5,469	3,713	4,150	4,127	3,033	3,553	3,674
COD (0,45)	ppm	4,458	3,395	3,081	3,191	3,032	3,765	3,519
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,221	0,047	0,042	0,046	0,042	0,074	0,046
AJVE (0,45)	L/mg.m	4,957	1,384	1,363	1,410	1,385	1,965	1,307

**ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO COM ALUMÍNIO
SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA**

DATA : 05 - 10/02/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	2,0	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,98	6,94	6,73	6,65	6,65	6,64	6,53
T (pH)	°C	23,8	23,6	23,6	23,7	23,7	23,7	23,7
Turbidez (uT)	uT	2,20	1,81	1,79	1,77	1,65	1,54	1,43
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	10,97	10,37	9,97	9,97	9,97	7,98
Condutividade	$\mu S/cm$	28,32	33,60	35,07	36,47	37,42	38,15	37,10
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	11	15	16	18	18	10
COT	ppm	5,469	5,466	4,723	4,382	4,609	4,541	4,098
COD (0,45)	ppm	4,458	3,801	3,801	4,233	4,268	4,126	3,781
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,221	0,095	0,104	0,078	0,083	0,098	0,085
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,499	2,736	1,843	1,945	2,375	2,248

DATA : 19 - 24/02/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	2,0	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,98	6,47	6,53	6,63	6,64	6,66	6,65
T (pH)	°C	23,8	23,6	23,7	23,8	23,7	23,5	23,5
Turbidez (uT)	uT	2,20	1,27					
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	6,98	7,98	8,98	9,97	9,97	9,97
Condutividade	$\mu S/cm$	28,32	37,81	36,58	35,46	36,58	36,41	36,09
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	6	8				
COT	ppm	5,469	3,994	3,570	3,580	3,497	3,364	3,198
COD (0,45)	ppm	4,458	3,433	3,419	3,152	2,907	2,974	2,929
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,221	0,067	0,064	0,041	0,040	0,024	0,020
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	1,952	1,872	1,301	1,376	0,807	0,683

SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA : 26/02 - 03/03/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	24,0	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
pH (lab)	-	5,98	4,93	4,85	4,86	4,53	4,00	4,15
T (pH)	°C	23,8	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2
Turbidez (uT)	uT	2,20						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	5,58	4,99	4,99	0,60	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	28,32	46,01	52,36	57,67	61,83	62,77	67,87
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26						
COT	ppm	5,469	3,259	3,259	3,255	2,541	2,965	3,059
COD (0,45)	ppm	4,458	3,177	3,069	3,052	3,185	2,718	2,918
UV-254 (0,45)	cm	0,221	0,047	0,050	0,048	0,040	0,038	0,023
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	1,479	1,629	1,573	1,256	1,398	0,683

DATA : 05 - 10/03/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	24,0	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
pH (lab)	-	5,98	4,00	4,02	4,10	4,13	4,17	4,18
T (pH)	°C	23,8	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,3
Turbidez (uT)	uT	2,20						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	28,32	75,05	84,94	93,27	94,51	126,16	151,47
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26						8
COT	ppm	5,469	2,702	2,728	2,890	3,755	2,835	3,805
COD (0,45)	ppm	4,458	2,793	2,913	2,918	2,770	2,953	3,592
UV-254 (0,45)	cm	0,221	0,042	0,022	0,021	0,023	0,041	0,046
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	1,504	0,768	0,755	0,720	1,388	1,281

**ENSAIOS DE SARAIS PARA DETERMINAÇÃO DE SARAIS,
SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA**

DATA: 12 - 17/03/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA:		100 s	300" = 5 min		
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,5	FLOCULAÇÃO:		80; 50; 20 s	600"; 600"; 600" = 30 min		
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	8,5	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	7,33	7,15	6,58	6,43	6,38	6,31
T (pH)	°C	27,6	27,7	27,7	27,7	27,7	27,6	27,6
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,22	2,21	1,64	1,60	1,53	1,38
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	14,96	13,96	8,97	7,98	6,38	5,98
Condutividade	$\mu S/cm$	21,97	54,00	54,20	53,81	49,91	41,99	43,06
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	17	11	8	8	9	7
COT	ppm	5,632	4,587	5,561	5,431	5,076	5,041	5,312
COD (0,45)	ppm	5,462	4,101	3,909	3,431	3,616	3,963	3,889
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,226	0,080	0,075	0,049	0,048	0,080	0,047
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	1,951	1,919	1,428	1,327	2,271	1,209

DATA: 12 - 17/03/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA:		100 s	300" = 5 min		
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,5	FLOCULAÇÃO:		80; 50; 20 s	600"; 600"; 600" = 30 min		
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	8,5	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	6,25	6,27	6,51	6,46	6,32	6,30
T (pH)	°C	27,6	27,7	27,7	27,6	27,6	27,7	27,7
Turbidez (uT)	uT	2,25	1,15	1,16	1,08			
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	5,98	5,98	8,97	7,98	5,98	5,98
Condutividade	$\mu S/cm$	21,97	41,23	41,04	40,62	39,94	41,23	42,01
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	7	8	6	7	7	7
COT	ppm	5,632	3,768	4,998	4,385	4,263	4,025	4,036
COD (0,45)	ppm	5,462	3,755	3,846	3,580	3,402	3,362	3,591
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,226	0,046	0,063	0,049	0,054	0,064	0,062
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	1,225	1,638	1,369	1,587	1,904	1,727

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO
SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA : 19 - 24/03/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,26	5,25	5,15	4,23	4,13	3,92	3,85
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	2,25						
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	1,99	1,60	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	21,97	47,38	49,23	55,36	59,16	66,06	69,28
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	7		5			
COT	ppm	5,632	3,813	3,451	2,994	3,059	3,008	3,016
COD (0,45)	ppm	5,462	3,809	3,409	3,108	3,102	2,896	2,803
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,226	0,064	0,033	0,043	0,041	0,053	0,054
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	1,680	0,968	1,384	1,418	1,830	1,927

DATA : 19 - 24/03/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	27,5	28,0	28,0	28,0	27,5	27,5	28,0
pH (lab)	-	5,26	3,87	3,86	3,92	3,91	3,93	4,02
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	2,25	1,10	1,23	1,89	2,11	3,38	5,71
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	21,97	80,27	85,82	92,14	97,10	127,56	157,72
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32						
COT	ppm	5,632	3,917	4,297	4,381	5,039	7,810	9,335
COD (0,45)	ppm	5,462	2,768	2,945	2,881	3,002	2,686	2,739
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,226	0,053	0,041	0,038	0,034	0,041	0,053
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	1,915	1,392	1,319	1,133	1,526	1,935

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO COM O SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA: 26 - 31/03/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	10	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,26	7,24	7,21	7,19	6,96	6,86	6,80
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,8	27,7	27,8	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	2,20	2,13	2,15	2,15	2,18	2,13	2,10
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	19,94	19,94	15,96	17,95	20,94	20,54
Condutividade	$\mu S/cm$	26,32	56,53	56,82	55,36	55,75	57,89	50,30
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	19	21	17	15	23	18
COT	ppm	5,469	5,324	5,217	5,389	5,443	5,346	4,520
COD (0,45)	ppm	4,458	3,930	4,309	4,232	4,042	4,187	4,197
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,096	0,109	0,080	0,084	0,098	0,078
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	1,880	2,530	1,890	2,078	2,341	1,858

DATA: 26 - 31/03/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	10	16	17	18	19	20	23
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,26	6,97	6,63	6,45	6,51	6,57	6,57
T (pH)	°C	27,6	27,7	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,24	2,11	1,94	2,19	2,20	1,69
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	17,95	11,97	12,96	10,97	10,97	10,97
Condutividade	$\mu S/cm$	21,97	52,83	52,35	51,57	51,96	51,76	54,88
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	13	15	11	13	12	9
COT	ppm	5,632	5,416	5,610	5,417	5,515	5,610	5,549
COD (0,45)	ppm	5,462	3,963	3,943	3,412	3,446	3,309	3,931
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,226	0,092	0,097	0,082	0,074	0,076	0,080
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,321	2,480	2,403	2,147	2,297	2,264

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO
SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA : 02 - 07/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	6,51	6,53	6,54	6,28	6,11	6,16
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	1,37	1,15					
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	4,19	10,97	10,97	10,97	10,97	9,97	9,97
Condutividade	$\mu S/cm$	25,40	57,70	59,55	62,37	65,97	66,64	67,23
Cor Verdadeira (0,45)	uC	13	11	9	7	5		
COT	ppm	4,965	4,817	4,143	3,278	3,017	3,598	2,738
COD (0,45)	ppm	3,759	3,706	3,687	3,306	2,880	2,982	2,725
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,207	0,081	0,084	0,073	0,049	0,068	0,033
AUVE (0,45)	L/mg.m	5,507	2,186	1,546	2,208	1,701	2,280	1,211

DATA : 02 - 07/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	5,47	4,47	4,39	4,02	3,91	4,00
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,8	27,8	27,7	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	1,56					2,59	5,57
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	4,99	7,98	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	29,22	73,17	78,81	90,19	93,48	123,96	153,92
Cor Verdadeira (0,45)	uC	23						5
COT	ppm	4,948	2,726	2,755	2,602	3,473	5,930	9,036
COD (0,45)	ppm	4,874	2,701	3,069	3,169	3,355	2,909	3,604
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,219	0,030	0,040	0,038	0,036	0,038	0,050
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,493	1,111	1,303	1,199	1,073	1,306	1,387

**ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO COM ALUMÍNIO
SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA**

DATA : 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,26	5,26	7,71	7,69	7,45	7,36	7,30
T (pH)	°C	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6
Turbidez (uT)	uT	1,42	1,23	1,00	1,09	1,04	1,08	1,05
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	4,99	5,98	4,99	4,99	4,58	3,98	3,99
Condutividade	$\mu S/cm$	25,40	41,21	41,79	42,09	43,85	42,77	43,16
Cor Verdadeira (0,45)	uC	17	11	11	11	9	10	10
COT	ppm	5,091	4,526	4,672	4,949	4,827	4,974	4,116
COD (0,45)	ppm	4,239	3,879	3,241	3,411	3,264	3,734	3,662
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,217	0,101	0,093	0,098	0,090	0,096	0,098
AUVE (0,45)	L/mg.m	5,119	2,804	2,889	2,873	2,665	2,544	2,676

DATA : 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	7,47	7,13	6,96	7,01	7,07	7,07
T (pH)	°C	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6
Turbidez (uT)	uT	3,69	1,98	1,87	1,94	1,78	1,78	1,67
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	3,99	5,98	5,98	4,99	3,99	1,00	-
Condutividade	$\mu S/cm$	34,69	43,45	43,85	44,24	44,83	46,21	46,09
Cor Verdadeira (0,45)	uC	24	15	17	11	23	22	22
COT	ppm	6,353	5,326	4,481	4,660	4,569	4,852	4,259
COD (0,45)	ppm	5,338	3,953	4,375	3,563	4,474	4,324	4,278
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,223	0,106	0,098	0,086	0,099	0,096	0,098
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,178	2,682	2,240	2,414	2,213	2,220	2,291

**ENSAIOS DE JAR TESTE PARA AVALIAÇÃO DE COAGULAÇÃO COM
SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA**

DATA: 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1% = 10 g/L		9,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	7,01	7,03	7,04	6,78	6,61	6,66
T (pH)	°C	27,6	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2
Turbidez (uT)	uT	2,25	1,48	1,37	1,31	1,15	1,35	1,31
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	21,97	47,81	48,40	49,28	49,87	60,48	52,13
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	23	22	21	22	21	20
COT	ppm	5,632	5,202	5,303	5,121	3,624	5,335	4,724
COD (0,45)	ppm	5,462	4,704	4,880	4,096	4,741	4,619	4,128
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,226	0,103	0,105	0,104	0,104	0,103	0,104
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,180	2,152	2,539	2,194	2,230	2,519

DATA: 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1% = 10 g/L		9,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	5,97	4,97	4,89	4,52	4,41	4,50
T (pH)	°C	27,6	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1
Turbidez (uT)	uT	2,25	1,26	1,15	1,08	2,70	2,86	4,43
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	$\mu S/cm$	21,97	53,91	67,31	83,27	95,99	130,67	165,37
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	23	21	18	18	14	14
COT	ppm	5,632	4,906	4,626	4,764	5,898	6,345	8,124
COD (0,45)	ppm	5,462	4,086	4,498	4,144	4,193	3,481	3,598
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,226	0,114	0,098	0,088	0,090	0,074	0,073
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,790	2,179	2,124	2,146	2,138	2,029

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO Otimizada SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA : 09 - 14/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,5 /6,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	2	2	5	8	2	5	8
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,4	0,4	1,0	1,6	0,4	1,0	1,6
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,26	5,98	5,90	5,87	5,98	5,83	5,80
T (pH)	°C	27,6	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,5
Turbidez (uT)	uT	2,20	2,13	2,17	2,14	2,12	2,14	2,16
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98	5,98
Condutividade	$\mu S/cm$	28,32	30,77	32,15	32,93	39,10	31,66	35,12
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	24	21	18	19	8	
COT	ppm	5,469	5,393	5,445	5,429	4,909	4,948	5,331
COD (0,45)	ppm	4,458	4,451	4,321	3,891	4,614	3,833	3,304
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,221	0,116	0,101	0,073	0,096	0,076	0,061
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,808	2,337	1,876	2,443	1,983	1,846

DATA : 09 - 14/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5 /7,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	2	2	5	8	2	5	8
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,4	0,4	1,0	1,6	0,4	1,0	1,6
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,26	6,35	6,58	6,44	5,98	5,80	5,75
T (pH)	°C	27,6	27,5	27,1	27,4	27,4	27,3	27,3
Turbidez (uT)	uT	2,20	2,15	2,18	1,59	2,34	2,20	
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	5,98	6,38	5,98	5,38	5,98	5,98	4,99
Condutividade	$\mu S/cm$	28,32	31,99	39,22	36,26	34,50	36,72	37,11
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	13	5		14	8	
COT	ppm	5,469	5,394	5,443	4,766	5,337	5,109	3,011
COD (0,45)	ppm	4,458	3,674	3,436	3,175	4,053	3,598	2,864
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,221	0,087	0,061	0,047	0,106	0,056	0,020
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,368	1,775	1,480	2,590	1,556	0,830

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO COM ALUMÍNIO SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA : 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,5 / 8,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXXXX	2	5	8	2	5	8
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXXXX	0,4	1,0	1,6	0,4	1,0	1,6
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	5,72	5,73	6,87	6,69	6,71	6,77
T (pH)	°C	27,6	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,19	2,04	2,02	2,24	2,20	2,08
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	13,96	10,97	9,97	10,97	10,97	11,97
Condutividade	$\mu S/cm$	21,97	37,74	35,58	37,74	38,53	39,71	44,05
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	32	19	12	31	22	19
COT	ppm	5,632	4,963	4,746	4,617	5,329	5,139	5,088
COD (0,45)	ppm	5,462	5,361	4,458	3,444	5,094	4,559	4,316
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,226	0,137	0,086	0,077	0,140	0,094	0,090
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,555	1,864	2,236	2,748	2,062	2,423

DATA : 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,5 / 9,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXXXX	2	5	8	2	5	8
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXXXX	0,4	1,0	1,6	0,4	1,0	1,6
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,26	6,94	6,83	6,77	7,24	6,91	6,83
T (pH)	°C	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,18	2,20	2,25	2,21	2,16	2,17
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	5,98	5,98	4,99	7,98	5,98	5,98
Condutividade	$\mu S/cm$	21,97	37,01	42,19	44,33	38,18	43,65	46,38
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	30	28	31	29	29	28
COT	ppm	5,632	4,749	4,899	4,929	4,800	4,693	4,967
COD (0,45)	ppm	5,462	5,106	4,335	4,715	4,605	4,611	4,614
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,226	0,140	0,126	0,142	0,120	0,142	0,128
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,566	2,893	3,012	2,606	3,080	2,774

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA SULFATO DE ALUMÍNIO NA VARREDURA

DATA : 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA		
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min		
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min		
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	2	5	8
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	0,4	1,0	1,6
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,26	7,14	7,02	6,84
T (pH)	°C	27,6	27,6	27,6	27,6
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,22	2,14	2,14
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	1,99	6,98	5,98	5,58
Condutividade	$\mu S/cm$	21,97	39,26	39,94	40,72
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	31	31	29
COT	ppm	5,632	4,838	4,855	4,891
COD (0,45)	ppm	5,462	4,476	4,501	4,502
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,226	0,146	0,141	0,117
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	3,262	3,133	2,599

DATA : 14 - 19/05/02

FRASCOS: 1A a 6 A

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	1	2	3	4	5	6
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T (lab)	°C	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
pH (lab)	-	6,48	6,32	6,36	6,33	6,21	6,05	5,88
T (pH)	°C	24,4	24,6	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
Turbidez (uT)	uT	1,42	1,04					1,13
Alcalinidade	ppm $CaCO_3$	4,99	4,59	4,59	4,59	3,99	2,99	3,99
Condutividade	$\mu S/cm$	25,40	43,69	40,67	34,46	35,91	38,50	40,05
Cor Verdadeira (0,45)	uC	17	13	13	11	16	11	9
COT	ppm	5,091	3,352	3,315	3,544	3,235	2,877	3,754
COD (0,45)	ppm	4,239	3,625	3,512	3,194	3,867	3,306	3,754
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,217	0,098	0,092	0,073	0,076	0,079	0,097
AUVE (0,45)	L/mg.m	5,119	2,648	2,620	2,286	1,965	2,390	1,385

ANEXO 4

ANÁLISES DA ÁGUA TRATADA POR $FeCl_3$ NA **ADSORÇÃO-NEUTRALIZAÇÃO DE CARGAS**

CLORETO FÉRRICO NA ADSORÇÃO

DATA : 04 - 09/09/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA:		250 s	60" = 1 min		
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		3,5	FLOCULAÇÃO:		20 s	180" = 3 min		
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	3,5	1	2	3	4	5	6
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	10	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T (lab)	°C	24,0	24,5	24,5	24,5	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,68	2,80	3,41	3,02	2,92	2,63	2,65
T (pH)	°C	24,4	24,6	24,4	24,5	24,4	24,3	24,5
Turbidez (uT)	uT	5,28	5,27	4,13	4,02	5,21	5,25	5,24
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	2,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	23,64	66,83	64,60	69,34	70,51	64,31	70,77
Cor Verdadeira (0,45)	uC	79	67	55	57	75	46	49
COT	ppm	7,631	7,561	7,142	6,958	7,817	7,559	7,486
COD (0,45)	ppm	7,538	6,624	6,057	6,252	7,445	5,127	5,727
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,257	0,264	0,221	0,224	0,294	0,198	0,212
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,409	3,986	3,649	3,983	3,949	3,862	3,702

DATA : 11 - 16/09/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA:		250 s	60" = 1 min		
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		3,5	FLOCULAÇÃO:		20 s	180" = 3 min		
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	3,5	7	8	9	10	11	12
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	10	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,02	3,48	3,49	3,33	3,39	3,23	3,24
T (pH)	°C	27,6	27,0	26,9	27,1	27,1	27,2	27,1
Turbidez (uT)	uT	3,80	1,34	1,09	1,11	1,24	0,75	0,68
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,00	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	22,07	48,67	49,75	53,41	55,09	60,30	64,84
Cor Verdadeira (0,45)	uC	51	41	27	24	21	21	20
COT	ppm	6,784	4,452	4,153	4,030	3,950	3,366	3,620
COD (0,45)	ppm	6,418	4,893	4,441	4,384	4,444	3,786	4,128
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,238	0,164	0,129	0,104	0,121	0,096	0,099
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,708	3,352	2,905	2,472	2,723	2,536	2,398

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para todos os jarros.

ENSAIOS DE SANITIZAÇÃO POR COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO CLORETO FÉRRICO NA ADSORÇÃO

DATA: 18 - 23/09/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		3,5	FLOCULAÇÃO: 20 s 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	3,5	13	14	15	16	17	18
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	3,5	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
T (lab)	°C	27,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,64	3,38	3,42	3,41	3,41	3,41	3,34
T (pH)	°C	27,2	26,2	26,2	26,1	26,1	26,1	26,1
Turbidez (uT)	uT	6,74	0,56	0,52	0,46	0,51	0,53	0,47
Alcalinidade	ppm CaCO_3	5,88	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μScm^{-1}	37,28	65,83	66,13	70,98	74,09	75,29	78,20
Cor Verdadeira (0,45)	uC	20	10	8	8	7	8	13
COT	ppm	8,026	3,455	3,026	3,072	2,745	3,851	2,791
COD (0,45)	ppm	4,548	3,667	3,487	2,964	3,044	2,859	3,502
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,214	0,084	0,053	0,052	0,054	0,054	0,093
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,705	2,291	1,520	1,754	1,774	1,889	2,669

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para todos os jarros.

DATA: 25 - 30/09/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		3,5	FLOCULAÇÃO: 20 s 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	3,5	19	20	25	30	35	40
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	3,5	3,8	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
T (lab)	°C	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,53	1,71	1,83	0,70	1,14	3,19	3,27
T (pH)	°C	24,1	24,7	24,4	24,3	24,2	24,4	24,5
Turbidez (uT)	uT	6,31	1,01	0,56	0,79	0,89	0,88	0,66
Alcalinidade	ppm CaCO_3	2,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μScm^{-1}	29,83	94,22	104,41	123,63	133,76	135,42	139,09
Cor Verdadeira (0,45)	uC	44	21	22	29	32	33	31
COT	ppm	7,989	3,861	3,857	4,011	3,777	3,682	3,820
COD (0,45)	ppm	5,674	3,816	3,985	4,944	4,358	4,731	4,878
UV-254 (0,45)	cm^{-1}	0,233	0,101	0,104	0,146	0,126	0,150	0,146
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,106	2,626	2,610	2,953	2,891	3,171	2,993

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para todos os jarros.

CLORETO FÉRRICO NA ADSORÇÃO

DATA: 02 - 07/10/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,0	FLOCULAÇÃO: 20 s 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	1	2	3	4	5	6
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T (lab)	°C	25,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
pH (lab)	-	5,97	4,30	4,14	4,20	3,86	3,94	3,84
T (pH)	°C	26,2	26,4	26,5	26,4	26,5	26,4	26,4
Turbidez (uT)	uT	4,02	2,63	2,68	2,88	2,54	2,33	1,81
Alcalinidade	ppm CaCO_3	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μScm^{-1}	24,81	34,24	36,07	34,74	40,68	41,83	42,73
Cor Verdadeira (0,45)	uC	27	18	16	16	22	16	12
COT	ppm	6,638	5,734	5,372	5,450	5,167	5,464	4,748
COD (0,45)	ppm	4,476	4,111	4,348	4,251	4,339	4,218	3,451
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,108	0,102	0,106	0,124	0,110	0,078
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,937	2,627	2,346	2,494	2,858	2,608	2,260

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para os jarros 2, 4, 5 e 6.

DATA: 09 - 14/10/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,0	FLOCULAÇÃO: 20 s 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	7	8	9	10	11	12
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
T (lab)	°C	28,0	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,92	3,84	6,56	6,53	3,33	3,39	3,34
T (pH)	°C	28,2	27,1	27,1	27,0	27,0	26,8	27,0
Turbidez (uT)	uT	3,65	3,63	2,23	2,13	1,44	1,23	0,82
Alcalinidade	ppm CaCO_3	4,59	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μScm^{-1}	28,40	46,71	40,01	43,05	42,35	45,88	43,44
Cor Verdadeira (0,45)	uC	36	31	28	23	15	17	16
COT	ppm	7,026	6,663	5,059	4,743	4,621	3,985	4,167
COD (0,45)	ppm	5,628	4,658	4,041	4,035	3,301	3,507	4,321
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,227	0,133	0,111	0,101	0,076	0,071	0,108
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,033	2,855	2,747	2,503	2,302	2,037	2,499

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para os jarros 3, 4, 5 e 6.

CLORETO FÉRRICO NA ADSORÇÃO

DATA: 16 - 21/10/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,0	FLOCULAÇÃO: 20 s 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	13	13	14	15	16	17	18
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,6	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
T (lab)	°C	26,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,79	3,69	3,66	3,44	3,46	3,40	3,32
T (pH)	°C	26,3	24,9	24,8	24,8	24,9	24,9	24,8
Turbidez (uT)	uT	4,87	1,85	1,18	1,23	0,84	1,05	0,66
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	4,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	34,41	60,28	52,68	54,12	48,37	55,25	57,41
Cor Verdadeira (0,45)	uC	21	11	7	8	5	6	5
COT	ppm	7,191	4,419	3,633	4,201	2,978	4,017	3,379
COD (0,45)	ppm	4,445	3,532	3,175	3,109	2,608	2,641	2,525
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,218	0,076	0,059	0,063	0,057	0,060	0,055
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,904	2,152	1,858	2,026	2,186	2,272	2,178

DATA: 23 - 28/10/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,0	FLOCULAÇÃO: 20 s 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	19	19	20	25	30	35	40
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	3,8	3,8	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
T (lab)	°C	29,5	27,5	27,6	27,5	27,5	27,6	27,5
pH (lab)	-	5,61	3,61	3,59	3,58	3,56	3,55	3,53
T (pH)	°C	29,6	27,9	27,7	27,8	27,8	27,9	27,9
Turbidez (uT)	uT	1,99	1,39	1,02	1,22	1,09	1,17	1,37
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	10,97	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	41,17	58,56	61,21	66,06	69,86	81,10	90,42
Cor Verdadeira (0,45)	uC	62	13	12	9	10	12	14
COT	ppm	5,438	4,200	3,654	3,602	3,452	3,727	3,933
COD (0,45)	ppm	7,206	3,994	3,260	2,866	3,661	3,511	3,229
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,245	0,077	0,071	0,057	0,076	0,080	0,087
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,400	1,928	2,178	1,989	2,076	2,279	2,694

CLORETO FÉRRICO NA ADSORÇÃO

DATA: 30/10 - 04/11/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA:		250 s	60" = 1 min		
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,5	FLOCULAÇÃO:		20 s	180" = 3 min		
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	27,5	1	2	3	4	5	6
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	27,5	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T (lab)	°C	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,35	4,47	4,03	3,83	3,90	3,90	3,85
T (pH)	°C	27,5	28,4	28,4	28,4	28,5	28,5	28,5
Turbidez (uT)	uT	2,75	2,21	2,03	2,18	2,30	2,29	2,09
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade corrigida	µScm ⁻¹	32,19	39,37	33,01	36,19	37,57	35,84	36,41
Cor Verdadeira (0,45)	uC	69	26	17	12	13	11	13
COT	ppm	5,802	4,941	4,641	4,454	4,964	4,864	4,523
COD (0,45)	ppm	6,334	3,960	3,647	2,825	3,149	2,888	3,076
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,247	0,107	0,081	0,049	0,064	0,055	0,063
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,900	2,702	2,221	1,735	2,032	1,904	2,048

DATA: 06 - 11/11/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA:		250 s	60" = 1 min		
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		4,5	FLOCULAÇÃO:		20 s	180" = 3 min		
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	27,5	7	8	9	10	11	12
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	27,5	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
T (lab)	°C	27,5	25,5	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
pH (lab)	-	5,35	4,27	3,51	4,14	4,19	3,83	3,67
T (pH)	°C	27,5	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3
Turbidez (uT)	uT	2,75	0,74	0,50	0,39	0,36	1,90	1,30
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	32,19	44,01	46,51	48,11	51,11	39,91	38,31
Cor Verdadeira (0,45)	uC	69	17	8	7	1	7	8
COT	ppm	5,802	3,309	2,743	2,682	2,949	4,813	3,923
COD (0,45)	ppm	6,334	3,966	2,991	2,653	2,663	3,060	2,859
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,247	0,095	0,061	0,042	0,033	0,062	0,044
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,900	2,395	2,037	1,583	1,239	2,026	1,539

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 ml. de filtração para os jarros 1, 5 e 6.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO UTILIZADA CLORETO FÉRRICO NA ADSORÇÃO

COAGULANTE			pH:		CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO			
FeCl ₃ .6 H ₂ O					MISTURA RÁPIDA:		250 s ⁻¹ 60" = 1 min	
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L			4,5		FLOCULAÇÃO:		20 s ⁻¹ 180" = 3 min	
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	2,6	13	14	15	16	17	18
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,6	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
T (lab)	°C	26,0	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
pH (lab)	-	5,68	3,83	3,84	3,78	3,74	3,75	3,82
T (pH)	°C	26,1	25,6	25,7	25,6	25,6	25,6	25,6
Turbidez (uT)	uT	7,93	2,00	1,13	0,94	0,73	0,62	0,72
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	25,10	61,11	56,04	56,45	55,74	60,90	60,50
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	36	28	36	34	33	40
COT	ppm	9,335	4,955	3,662	4,291	3,906	3,020	3,920
COD (0,45)	ppm	9,005	4,856	4,791	4,891	5,175	4,636	4,858
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,162	0,121	0,157	0,161	0,131	0,169
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	3,336	2,526	3,210	3,111	2,826	3,479

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para todos os jarros.

COAGULANTE			pH:		CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO			
FeCl ₃ .6 H ₂ O					MISTURA RÁPIDA:		250 s ⁻¹ 60" = 1 min	
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L			4,5		FLOCULAÇÃO:		20 s ⁻¹ 180" = 3 min	
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	2,6	19	20	25	30	35	40
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,6	3,8	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
T (lab)	°C	26,0	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
pH (lab)	-	5,68	4,18	4,13	3,98	3,87	3,82	3,83
T (pH)	°C	26,1	25,7	25,7	25,8	25,6	25,7	25,6
Turbidez (uT)	uT	7,93	0,98	0,68	0,74	1,56	1,66	1,42
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	25,10	74,04	66,05	78,24	95,56	106,71	115,12
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	27	18	16	36	40	32
COT	ppm	9,335	3,224	3,296	3,373	3,869	4,196	4,106
COD (0,45)	ppm	9,005	4,732	4,227	3,546	5,047	4,997	4,477
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,138	0,109	0,089	0,155	0,175	0,133
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,916	2,579	2,510	3,071	3,502	2,971

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA ADSORÇÃO

DATA: 27/11 - 02/12/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,0	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	26,0	1	2	3	4	5	6
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T (lab)	°C	26,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,68	4,54	4,54	4,52	4,52	4,50	4,50
T (pH)	°C	28,1	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4
Turbidez (uT)	uT	7,93	2,38	2,62	2,77	2,94	3,16	3,64
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	0,40	0,40	0,20	0,20	-	-
Condutividade	µS/cm	25,10	28,42	30,09	31,17	30,38	30,66	31,75
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	27	21	14	14	13	10
COT	ppm	9,335	5,368	5,876	5,994	5,749	5,562	6,752
COD (0,45)	ppm	9,005	4,056	4,006	4,168	4,375	3,885	3,889
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,113	0,104	0,103	0,096	0,087	0,073
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,786	2,596	2,471	2,194	2,239	1,877

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para os jarros 5 e 6.

DATA: 04 - 09/12/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,0	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	26,0	7	8	9	10	11	12
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4
T (lab)	°C	26,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,68	4,45	4,45	4,41	4,41	4,21	4,21
T (pH)	°C	26,1	27,4	27,4	27,5	27,4	27,3	27,3
Turbidez (uT)	uT	7,93	3,82	2,26	2,58	2,43	1,07	1,03
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	25,10	34,20	35,97	36,69	38,12	39,47	40,55
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	7	8	8	7	5	4
COT	ppm	9,335	7,024	5,014	5,525	4,733	4,128	4,123
COD (0,45)	ppm	9,005	3,886	3,992	2,910	2,860	3,222	2,764
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,067	0,062	0,053	0,050	0,055	0,040
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	1,724	1,553	1,821	1,748	1,707	1,447

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para os jarros 3 e 5.

OBS.: Entupimento do papel 0,45mm para os jarros 1, 3 e 5.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO UTILIZADA CLORETO FÉRRICO NA ADSORÇÃO

DATA: 11 - 16/12/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 250 s 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,0	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	28,5	13	14	15	16	17	18
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	28,5	2,8	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
T (lab)	°C	28,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	6,04	4,53	4,32	4,65	4,37	4,25	4,21
T (pH)	°C	28,1	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3
Turbidez (uT)	uT	3,54	0,97	0,85	0,62	0,38	0,40	0,46
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	0,60	-	1,60	0,20	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	20,71	43,79	48,31	54,98	56,75	61,17	64,71
Cor Verdadeira (0,45)	uC	30	4	2	0	3	7	7
COT	ppm	6,202	4,240	3,598	3,287	3,184	3,500	3,420
COD (0,45)	ppm	5,447	2,394	3,100	2,400	2,881	2,997	2,647
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,225	0,035	0,040	0,037	0,045	0,057	0,053
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,131	1,462	1,290	1,556	1,562	1,902	2,002

DATA: 18 - 23/12/01

FRASCOS: 1B a 6B

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA ADSORÇÃO					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 250 s ⁻¹ 60" = 1 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,0	FLOCULAÇÃO: 20 s ⁻¹ 180" = 3 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	28,5	19	20	25	30	35	40
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	28,5	3,8	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
T (lab)	°C	28,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	6,04	4,54	4,48	4,32	4,27	4,28	4,23
T (pH)	°C	28,1	27,3	27,3	27,3	27,3	27,4	27,3
Turbidez (uT)	uT	3,54	0,47	0,43	0,86	0,49	0,98	1,22
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	0,60	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	20,71	65,00	65,20	76,88	92,88	103,40	116,25
Cor Verdadeira (0,45)	uC	30	9	8	13	0	2	0
COT	ppm	6,202	3,021	3,142	3,107	3,132	4,029	3,983
COD (0,45)	ppm	5,447	3,226	3,000	3,566	2,407	2,464	2,589
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,225	0,062	0,049	0,066	0,030	0,037	0,027
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,131	1,922	1,633	1,851	1,246	1,502	1,043

ANEXO 5

ANÁLISES DA ÁGUA TRATADA POR FeCl_3 NA

VARREDURA

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 04 - 09/09/01

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	10	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	24,0	25,5	25,5	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,69	4,44	4,08	4,30	3,68	3,57	3,58
T (pH)	°C	24,4	24,4	24,4	24,4	24,5	24,6	24,6
Turbidez (uT)	uT	5,28	5,27	5,18	5,10	4,51	4,32	2,55
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	2,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	23,64	38,05	38,05	38,26	42,53	42,35	44,21
Cor Verdadeira (0,45)	uC	79	46	31	39	40	37	20
COT	ppm	7,831	7,645	7,602	7,462	6,999	6,830	4,848
COD (0,45)	ppm	7,538	6,306	4,495	4,911	5,272	5,067	4,360
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,257	0,146	0,117	0,130	0,139	0,115	0,105
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,409	2,752	2,603	2,647	2,637	2,270	2,397

DATA : 11 - 16/09/01

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	16	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	3,2	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	27,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
pH (lab)	-	5,02	3,63	3,50	3,43	3,41	3,27	3,19
T (pH)	°C	27,6	27,2	27,2	27,2	27,2	27,4	27,4
Turbidez (uT)	uT	3,80	0,38	0,39	0,53	0,42	0,66	0,65
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,00	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	22,07	42,20	42,30	47,90	50,07	54,30	66,06
Cor Verdadeira (0,45)	uC	51	18	16	17	14	17	22
COT	ppm	6,784	2,894	2,993	3,001	2,953	2,973	2,748
COD (0,45)	ppm	6,418	4,518	4,431	4,449	3,491	4,077	4,202
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,238	0,096	0,085	0,087	0,090	0,088	0,094
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,708	2,125	1,918	1,955	2,576	2,109	2,237

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 18 - 23/09/01

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ ·6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s" 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s" 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	27,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	27,5
pH (lab)	-	5,64	3,04	2,96	2,90	2,81	3,07	2,98
T (pH)	°C	27,2	29,0	29,1	29	29,1	28,0	26,1
Turbidez (uT)	uT	6,74	0,43	0,31	0,43	0,26	0,29	0,27
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	37,28	81,80	93,92	104,37	130,51	155,60	192,15
Cor Verdadeira (0,45)	uC	20	10	7	3	4	4	2
COT	ppm	8,026	2,993	2,765	3,121	2,697	2,701	2,709
COD (0,45)	ppm	4,548	3,585	3,165	3,542	3,239	3,594	3,106
UV-254 (0,45)	cm	0,214	0,076	0,064	0,072	0,070	0,075	0,070
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,705	2,120	2,022	2,033	2,161	2,087	2,254

DATA : 25 - 30/09/01

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ ·6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s" 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s" 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	24,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,53	3,24	3,15	3,23	3,24	3,13	3,07
T (pH)	°C	24,1	24,4	24,2	24,3	24,4	24,4	24,5
Turbidez (uT)	uT	6,31	0,30	0,19	0,25	0,21	0,34	0,21
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	2,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	29,83	169,12	223,79	245,18	273,74	371,20	475,01
Cor Verdadeira (0,45)	uC	44	14	7	10	8	72	75
COT	ppm	7,989	2,777	2,783	2,900	2,822	2,525	2,961
COD (0,45)	ppm	5,674	3,540	3,876	3,986	3,329	6,398	6,578
UV-254 (0,45)	cm	0,233	0,095	0,064	0,076	0,072	0,179	0,180
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,106	2,684	1,651	1,907	2,163	2,798	2,736

OBS.: Quando o pH foi corrigido para 7,6 para a medição da cor aparente e cor verdadeira, ocorreu a formação de novos precipitados, tanto na amostra filtrada em W-40, como na amostra filtrada em 0,45 µm, para os jarros 5 e 6.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 02 - 07/10/01

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s ⁻¹ 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s ⁻¹ 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	25,0	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5	26,5
pH (lab)	-	5,97	5,37	4,55	4,55	4,21	4,24	4,21
T (pH)	°C	25,2	26,4	26,3	26,3	26,4	26,4	26,4
Turbidez (uT)	uT	4,02	2,92	3,07	2,26	1,67	1,08	1,05
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	1,99	0,60	0,80	-	-	-
Condutividade	µS/cm	24,81	38,73	39,01	35,11	34,64	35,04	34,24
Cor Verdadeira (0,45)	uC	27	29	13	19	10	20	12
COT	ppm	6,638	6,501	6,418	4,709	3,477	2,812	3,471
COD (0,45)	ppm	4,476	4,929	4,177	4,219	4,031	4,470	3,748
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,103	0,093	0,095	0,078	0,100	0,098
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,937	2,090	2,226	2,252	1,935	2,237	2,615

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 100 mL de filtração para os jarros 3, 4, 5 e 6.

DATA : 09 - 14/10/01

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s ⁻¹ 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s ⁻¹ 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	15	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	28,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,92	4,32	4,30	4,30	3,99	4,02	3,30
T (pH)	°C	28,2	27,0	27,1	27,2	26,8	26,9	27,0
Turbidez (uT)	uT	3,65	1,44	1,69	1,55	0,65	0,45	0,27
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	4,59	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	28,40	61,44	47,89	49,38	51,03	42,14	64,37
Cor Verdadeira (0,45)	uC	36	15	21	11	7	8	0
COT	ppm	7,026	3,501	4,934	3,543	3,100	2,935	2,802
COD (0,45)	ppm	5,628	4,413	4,142	3,992	3,104	4,006	3,960
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,227	0,100	0,102	0,094	0,065	0,077	0,056
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,033	2,266	2,463	2,355	2,094	1,922	1,414

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para os jarros 1, 2 e 3.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 16 - 21/10/01

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ ·6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	26,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0	25,0
pH (lab)	-	5,79	3,36	3,19	3,08	1,55	2,82	2,77
T (pH)	°C	26,3	24,9	24,8	24,9	24,8	24,9	24,9
Turbidez (uT)	uT	4,87	0,60	0,47	0,81	1,38	0,44	0,42
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	4,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	34,41	61,41	67,91	74,04	90,44	106,37	134,74
Cor Verdadeira (0,45)	uC	21	2	2	4	3	2	0
COT	ppm	7,191	3,048	2,594	3,133	3,369	2,876	2,617
COD (0,45)	ppm	4,445	3,450	3,177	3,827	3,860	3,157	3,339
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,218	0,069	0,069	0,069	0,076	0,066	0,054
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,094	2,000	2,172	1,803	1,969	2,091	1,617

DATA : 23 - 28/10/01

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ ·6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	29,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,61	3,62	3,48	3,50	3,38	2,97	2,94
T (pH)	°C	29,6	28,5	28,4	28,3	28,3	28,2	28,4
Turbidez (uT)	uT	1,99	1,81	1,20	1,86	1,77	1,25	0,54
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	10,97	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	41,17	125,00	168,86	180,31	218,88	331,32	426,39
Cor Verdadeira (0,45)	uC	62	14	13	16	92	58	184
COT	ppm	5,438	3,583	3,527	4,010	3,868	3,576	3,010
COD (0,45)	ppm	7,206	3,941	3,841	3,969	6,841	5,706	8,892
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,246	0,094	0,089	0,080	0,184	0,158	0,326
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,400	2,385	2,317	2,016	2,836	2,769	3,655

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 30/10 - 04/11/01

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s - 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s - 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,35	5,91	5,45	5,42	5,15	5,24	4,97
T (pH)	°C	27,5	28,5	28,6	28,5	28,6	28,5	28,5
Turbidez (uT)	uT	2,75	2,59	2,71	2,62	2,62	2,67	2,67
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	2,99	2,59	1,80	1,40	1,20	1,20
Condutividade	µS/cm	32,19	33,82	33,47	33,15	35,10	38,81	38,43
Cor Verdadeira (0,45)	uC	69	27	14	10	10	10	10
COT	ppm	5,802	4,885	5,608	4,904	4,869	4,654	4,682
COD (0,45)	ppm	6,334	4,585	3,706	3,465	3,819	3,604	3,576
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,247	0,101	0,104	0,083	0,080	0,084	0,082
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,900	2,203	2,806	2,395	2,095	2,331	2,293

DATA : 06 - 11/11/01

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s - 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s - 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	27,5	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
pH (lab)	-	5,35	5,31	5,13	4,55	4,45	4,33	4,05
T (pH)	°C	27,5	26,3	26,3	26,3	26,4	26,3	26,3
Turbidez (uT)	uT	2,75	0,78	0,81	0,77	0,94	0,82	1,24
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	2,99	1,00	0,40	-	-	-
Condutividade	µS/cm	32,19	41,11	38,41	43,41	43,93	50,81	65,61
Cor Verdadeira (0,45)	uC	69	7	6	5	3	4	5
COT	ppm	5,802	3,411	2,831	2,944	4,366	3,066	3,909
COD (0,45)	ppm	6,334	3,360	3,516	3,424	3,398	3,466	3,804
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,247	0,067	0,063	0,073	0,074	0,067	0,067
AUVE (0,45)	L/mg.m	3,900	1,994	1,792	2,132	2,178	1,933	1,859

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA: 13 - 18/11/01

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,0	0,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	26,0	26,0	25,5	25,6	26,0	25,6	26,0
pH (lab)	-	5,68	4,00	3,59	3,96	2,57	2,76	3,41
T (pH)	°C	26,1	25,7	25,7	25,7	26,8	25,7	25,7
Turbidez (uT)	uT	7,93	0,45	1,54	1,15	0,96	2,16	2,02
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	25,10	66,25	89,41	92,85	101,97	119,16	142,31
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	35	25	34	25	26	26
COT	ppm	9,335	3,525	3,892	3,654	3,302	4,039	3,988
COD (0,45)	ppm	9,005	5,268	4,001	5,267	4,817	4,767	4,887
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,123	0,104	0,130	0,100	0,113	0,110
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,335	2,599	2,468	2,076	2,370	2,251

DATA: 20 - 25/11/01

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	26,0	26,0	26,0	26,0	26,5	26,5	26,5
pH (lab)	-	5,68	3,56	3,55	3,47	3,45	3,28	3,22
T (pH)	°C	26,1	25,6	25,6	25,6	25,6	25,7	25,7
Turbidez (uT)	uT	7,93	2,03	3,22	1,31	0,49	0,42	0,48
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	25,10	167,92	194,57	230,04	252,33	356,04	442,02
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	25	35	28	51	25	29
COT	ppm	9,335	3,710	6,498	3,483	3,897	3,898	3,772
COD (0,45)	ppm	9,005	4,610	5,383	4,230	5,371	4,604	4,488
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,118	0,128	0,126	0,157	0,112	0,109
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,560	2,377	2,979	2,923	2,433	2,429

OBS.: Quando o pH foi corrigido para 7,8 para a medição da cor aparente e cor verdadeira, ocorreu a formação de novos precipitados, tanto na amostra filtrada em W-40, como na amostra filtrada em 0,45 µm, para os jarros 5 e 6.

ENSAIOS DE JARRES PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 27/11 - 02/12/01

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	28,5	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	6,04	6,26	6,97	6,84	6,44	6,30	6,32
T (pH)	°C	28,1	27,2	27,3	27,3	27,4	27,4	27,4
Turbidez (uT)	uT	7,93	3,41	3,68	3,95	3,91	3,70	3,64
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	4,99	4,79	3,99	3,39	2,59	2,59
Condutividade	µS/cm	25,10	34,92	36,03	38,78	38,42	38,22	38,71
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	30	25	7	6	4	15
COT	ppm	9,335	5,974	6,014	6,535	6,232	6,176	6,012
COD (0,45)	ppm	9,005	4,365	4,683	3,631	3,474	3,068	3,939
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,100	0,105	0,069	0,069	0,073	0,102
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,291	2,242	1,900	1,988	2,379	2,589

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 ml. de filtração para o Jarro 5.

DATA : 04 - 09/12/01

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	28,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	6,04	5,34	5,32	5,30	5,27	5,10	5,09
T (pH)	°C	28,1	27,3	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4
Turbidez (uT)	uT	7,93	3,61	3,43	3,22	2,47	1,73	1,70
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	1,60	1,60	1,20	1,00	0,80	1,00
Condutividade	µS/cm	25,10	39,57	39,59	40,38	40,87	41,36	41,65
Cor Verdadeira (0,45)	uC	93	16	13	2	7	2	7
COT	ppm	9,335	6,006	6,004	5,484	4,941	4,025	4,033
COD (0,45)	ppm	9,005	4,107	3,934	3,559	3,880	3,626	3,490
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,264	0,090	0,091	0,063	0,070	0,063	0,075
AUVE (0,45)	L/mg.m	2,932	2,191	2,313	1,770	1,804	1,737	2,149

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 ml. de filtração para os jarros 1 e 3.

OBS.: Entupimento do papel 0,45 mm para os jarros 1, 3 e 5.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO UTILIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA: 11 - 16/12/01

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
<chem>FeCl3.6H2O</chem>			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,0	FLOCULAÇÃO: 80; 60; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	28,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	6,04	4,82	4,55	4,25	4,20	4,18	4,17
T (pH)	°C	28,1	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3
Turbidez (uT)	uT	3,54	2,24	3,07	3,10	3,12	3,19	3,24
Alcalinidade	ppm <chem>CaCO3</chem>	5,98	4,99	0,40	-	-	-	-
Condutividade	μScm^{-1}	20,71	62,64	63,85	110,17	120,87	144,53	151,01
Cor Verdadeira (0,45)	uC	30	11	8	7	6	10	17
COT	ppm	6,202	5,032	6,095	6,524	6,612	6,424	6,202
COD (0,45)	ppm	5,447	3,573	3,808	3,892	3,829	3,586	4,377
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,225	0,086	0,070	0,073	0,066	0,084	0,080
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,131	2,407	1,838	1,876	1,819	2,342	1,828

DATA: 18 - 23/12/01

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
<chem>FeCl3.6H2O</chem>			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,0	FLOCULAÇÃO: 80; 60; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	28,5	28,0	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	6,04	4,10	4,04	4,01	4,00	3,90	3,84
T (pH)	°C	28,1	27,3	27,3	27,3	27,2	27,3	27,4
Turbidez (uT)	uT	3,54	3,48	3,22	3,18	3,13	3,28	4,72
Alcalinidade	ppm <chem>CaCO3</chem>	5,98	-	-	-	-	-	-
Condutividade	μScm^{-1}	20,71	190,68	232,70	250,38	267,56	395,69	479,26
Cor Verdadeira (0,45)	uC	30	7	6	3	0	9	13
COT	ppm	6,202	6,153	6,448	6,348	6,248	5,938	7,493
COD (0,45)	ppm	5,447	3,507	3,593	3,354	3,386	3,835	3,884
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,225	0,070	0,060	0,074	0,053	0,076	0,093
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,131	1,996	1,670	2,206	1,565	1,982	2,394

OBS.: Quando o pH foi corrigido para 7,8 para a medição da cor aparente e cor verdadeira, ocorreu a formação de novos precipitados, tanto na amostra filtrada em W-40, como na amostra filtrada em 0,45 μm , para os jarros 2, 4, 5 e 6.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 08 - 13/01/02

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	24,0	24,0	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
pH (lab)	-	5,98	6,43	6,40	6,37	6,21	6,13	6,10
T (pH)	°C	23,8	24,6	24,7	24,7	24,7	24,6	24,7
Turbidez (uT)	uT	2,20	2,18	2,14	1,93	1,83	1,78	1,57
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	4,99	4,99	4,99	4,99	4,39	4,39
Condutividade	µS/cm	28,32	33,78	33,92	35,05	35,77	36,56	36,60
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	35	27	7	10	8	14
COT	ppm	5,469	4,383	4,347	3,601	4,410	4,344	3,986
COD (0,45)	ppm	4,458	4,754	4,686	3,210	3,897	3,811	4,316
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,130	0,124	0,075	0,089	0,070	0,103
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,735	2,646	2,336	2,284	1,837	2,386

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para todos os jarros.

OBS.: Entupimento do papel 0,45 mm para o jarro 5.

DATA : 15 - 20/01/02

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	24,0	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
pH (lab)	-	5,98	6,09	6,23	6,34	6,30	6,20	6,20
T (pH)	°C	23,8	24,7	24,7	24,7	24,7	24,8	24,8
Turbidez (uT)	uT	2,20	2,18	1,32	1,29	1,65	1,55	1,74
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	3,99	4,39	4,99	4,99	4,99	4,99
Condutividade	µS/cm	28,32	36,91	37,42	40,93	40,72	41,57	42,49
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	15	8	7	3	0	1
COT	ppm	5,469	4,927	3,693	3,521	4,003	3,650	4,016
COD (0,45)	ppm	4,458	4,034	4,064	3,770	3,334	3,120	3,072
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,105	0,075	0,079	0,073	0,055	0,060
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,603	1,845	2,095	2,190	1,763	1,953

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para todos os jarros.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 22 - 27/01/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s" 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s" 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	X	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	X	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	24,0	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
pH (lab)	-	5,98	4,72	4,44	3,01	2,92	2,70	2,72
T (pH)	°C	23,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
Turbidez (uT)	uT	2,20	1,63	1,42	1,39	0,95	0,82	0,75
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	0,40	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	28,32	69,14	74,08	85,61	96,79	107,73	138,80
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	5	7	3	8	9	0
COT	ppm	5,469	4,728	4,560	4,790	3,654	3,542	2,740
COD (0,45)	ppm	4,458	3,826	3,487	3,945	3,929	3,558	3,187
UV-254 (0,45)	cm	0,221	0,065	0,079	0,075	0,080	0,080	0,053
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	1,699	2,266	1,901	2,036	2,248	1,863

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para os jarros 3 e 6.

DATA : 29/01 - 03/02/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s" 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s" 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	X	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	X	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	24,0	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
pH (lab)	-	5,98	2,65	2,63	2,52	2,48	2,29	2,19
T (pH)	°C	23,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8	24,8
Turbidez (uT)	uT	2,20	0,72	0,87	0,94	1,34	0,46	0,52
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	28,32	178,42	202,29	206,82	270,61	389,96	473,31
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	1	3	19	21	21	232
COT	ppm	5,469	3,821	3,969	3,638	3,894	2,727	2,888
COD (0,45)	ppm	4,458	3,395	3,386	4,001	4,695	4,275	9,604
UV-254 (0,45)	cm	0,221	0,064	0,076	0,099	0,097	0,097	0,379
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	1,885	2,245	2,474	2,066	2,269	3,946

OBS.: Entupimento do papel 0,45 µm para o jarro 4.

OBS.: Quando o pH foi corrigido para 7,6 para a medição da cor aparente e cor verdadeira, ocorreu a formação de novos precipitados, tanto na amostra filtrada em W-40, como na amostra filtrada em 0,45 µm, para os jarros 5 e 6.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 05 - 10/02/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	24,0	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	24,0	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
pH (lab)	-	5,98	6,86	6,73	6,42	6,54	6,63	6,51
T (pH)	°C	23,8	24,9	25,0	25,0	25,0	25,2	25,2
Turbidez (uT)	uT	2,20	2,16	2,17	2,18	2,15	2,17	2,13
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	8,38	7,98	4,99	7,98	5,98	7,98
Condutividade	µS/cm	28,32	41,59	42,03	35,67	36,18	33,29	36,04
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	49	27	2	14	20	13
COT	ppm	5,469	4,784	4,683	4,617	4,619	4,297	3,910
COD (0,45)	ppm	4,458	5,363	4,392	3,252	4,066	4,438	4,388
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,148	0,117	0,068	0,107	0,115	0,103
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,760	2,664	2,091	2,632	2,591	2,342

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para os jarros 3 e 5.

OBS.: Entupimento do papel 0,45 mm para o jarro 3.

DATA : 19 - 24/02/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	24,0	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	2,0	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	24,0	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
pH (lab)	-	5,98	6,40	5,70	5,80	5,70	5,46	4,72
T (pH)	°C	23,8	25,5	25,5	25,5	25,5	25,7	25,7
Turbidez (uT)	uT	2,20	2,12	2,14	2,16	2,12	1,69	2,01
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	4,99	3,59	2,99	3,59	1,99	1,00
Condutividade	µS/cm	28,32	34,93	38,28	39,09	38,98	39,14	42,48
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	2	5	7	4	9	2
COT	ppm	5,469	4,117	4,687	3,964	3,947	4,103	4,679
COD (0,45)	ppm	4,458	4,008	3,371	3,393	3,895	3,512	3,429
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,067	0,070	0,075	0,073	0,056	0,067
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	1,872	2,077	2,210	1,874	1,595	1,945

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para os jarros 1, 3 e 5.

OBS.: Entupimento do papel 0,45 mm para o jarro 1.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO UTILIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 26/02 - 03/03/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	24,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
pH (lab)	-	5,98	1,73	1,62	1,34	1,21	1,00	0,72
T (pH)	°C	23,8	25,7	25,7	25,7	25,7	25,7	25,9
Turbidez (uT)	uT	2,20	1,79	1,35	1,00	0,74	0,63	0,50
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	28,32	85,44	82,84	92,86	106,50	121,88	148,33
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	2	1	0	2	3	0
COT	ppm	5,469	4,206	3,408	3,986	3,435	3,968	3,605
COD (0,45)	ppm	4,458	3,583	3,490	3,353	3,184	3,643	3,290
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,067	0,070	0,065	0,070	0,073	0,056
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	1,870	2,006	1,640	2,198	2,004	1,702

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para os jarros 3 e 6.

DATA : 05 - 10/03/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	24,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0	26,0
pH (lab)	-	5,98	0,40	0,41	0,30	0,21	0,15	0,29
T (pH)	°C	23,8	25,9	25,9	25,9	26,1	26,0	26,0
Turbidez (uT)	uT	2,20	0,70	0,67	0,74	0,78	0,47	0,60
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	28,32	189,52	208,59	236,60	267,00	348,00	420,42
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	1	0	3	2	11	4
COT	ppm	5,469	4,675	4,421	4,426	4,669	3,662	3,760
COD (0,45)	ppm	4,458	3,339	3,367	3,308	3,175	3,402	3,971
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,070	0,059	0,074	0,067	0,084	0,073
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,096	1,752	2,237	2,110	2,469	1,838

OBS.: Quando o pH foi corrigido para 7,6 para a medição da cor aparente e cor verdadeira, ocorreu a formação de novos precipitados, tanto na amostra filtrada em W-40, como na amostra filtrada em 0,45 µm, para os jarros 4, 5 e 6.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 12 - 17/03/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,26	6,90	6,90	6,92	6,83	6,71	6,70
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,17	2,10	2,11	2,17	2,17	2,15
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	18,95	18,95	16,95	15,98	12,96	12,96
Condutividade	µS/cm	21,97	49,23	49,91	50,69	54,29	54,68	65,58
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	30	22	14	27	29	17
COT	ppm	5,632	4,659	4,930	5,086	5,090	4,975	4,719
COD (0,45)	ppm	5,462	4,832	4,104	4,167	4,337	3,977	4,356
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,226	0,109	0,092	0,107	0,116	0,097	0,093
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,256	2,242	2,568	2,675	2,439	2,135

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para todos os jarros.

OBS.: Entupimento do papel 0,45 mm para o jarro 3.

DATA : 12 - 17/03/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,26	6,74	6,44	6,00	6,13	6,55	5,87
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,06	2,00	2,02	2,04	2,04	1,45
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	15,96	6,98	4,99	5,38	7,98	4,99
Condutividade	µS/cm	21,97	56,24	53,71	49,62	49,82	50,11	61,78
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	14	22	20	13	10	10
COT	ppm	5,632	4,192	4,131	4,072	4,115	4,126	3,584
COD (0,45)	ppm	5,462	4,128	4,177	4,654	4,158	4,008	3,901
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,226	0,107	0,088	0,099	0,090	0,086	0,086
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,592	2,131	2,127	2,165	2,146	2,205

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para todos os jarros.

OBS.: Entupimento do papel 0,45 mm para o jarro 1.

ENSAYOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 19 - 23/03/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s" 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	30	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	6,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,26	4,47	4,11	3,97	3,87	3,65	3,40
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,10	1,14	0,59	0,79	0,98	1,03
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS cm ⁻¹	21,97	65,77	68,50	70,73	64,45	98,56	120,55
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	10	8	8	10	10	9
COT	ppm	5,632	6,237	3,905	3,102	3,645	4,408	4,431
COD (0,45)	ppm	5,462	3,725	3,442	3,375	3,996	3,717	3,512
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,226	0,086	0,081	0,078	0,088	0,086	0,076
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,309	2,353	2,311	2,202	2,314	2,164

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para os jarros 3, 4, 5 e 6.

OBS.: Entupimento do papel 0,45 mm para o jarro 3.

DATA : 19 - 23/03/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s" 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	70	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	14,0	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,26	3,36	3,31	3,28	3,26	3,10	3,05
T (pH)	°C	27,6	27,9	27,9	27,9	27,9	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,47	2,95	3,27	3,08	3,75	4,07
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS cm ⁻¹	21,97	189,67	205,90	236,00	253,48	390,16	488,43
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	1	13	33	56	34	13
COT	ppm	5,632	4,901	5,975	5,497	6,185	6,879	6,972
COD (0,45)	ppm	5,462	3,882	3,944	4,820	5,809	5,377	3,747
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,226	0,086	0,105	0,122	0,159	0,133	0,098
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,215	2,662	2,531	2,737	2,473	2,615

OBS.: Quando o pH foi corrigido para 7,6 para a medição da cor aparente e cor verdadeira, ocorreu a formação de novos precipitados, tanto na amostra filtrada em W-40, como na amostra filtrada em 0,45 µm, para os jarros 4, 5 e 6.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 26 - 31/03/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	10	11	12	13	14	15
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
T (lab)	°C	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,26	6,84	6,85	6,82	6,77	6,75	6,70
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,7	27,7	27,7	27,7	27,7
Turbidez (uT)	uT	2,20	2,21	2,30	2,38	2,78	2,72	3,04
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	19,94	19,94	21,94	16,95	16,95	16,95
Condutividade	µS/cm	28,32	54,97	54,97	54,97	53,71	54,29	56,09
Cor Verdadeira (0,45)	uC	28	33	32	33	25	19	28
COT	ppm	5,469	6,584	5,601	5,531	5,613	5,525	6,397
OD (0,45)	ppm	4,458	5,057	4,426	5,458	4,002	4,197	4,295
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,131	0,128	0,124	0,097	0,080	0,114
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,590	2,892	2,272	2,424	1,906	2,654

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para todos os jarros.

DATA : 26 - 31/03/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	16	17	18	19	20	25
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0
T (lab)	°C	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,26	6,69	6,72	6,83	6,62	6,55	6,50
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,7	27,7	27,7	27,7	27,7
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,11	2,24	2,31	2,28	1,83	1,08
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	17,95	16,95	13,96	11,97	10,97	9,97
Condutividade	µS/cm	21,97	60,71	63,07	63,94	61,60	60,82	65,79
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	32	17	12	21	27	11
COT	ppm	5,632	6,194	5,318	4,986	5,770	4,917	3,480
OD (0,45)	ppm	5,462	4,490	4,273	3,767	4,105	4,687	3,414
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,226	0,127	0,092	0,081	0,097	0,108	0,087
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,829	2,153	2,150	2,363	2,304	2,548

OBS.: Entupimento do papel W-40 antes dos 50 mL de filtração para o jarro 1.

OBS.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para todos os jarros.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO Otimizada CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 02 - 07/04/02

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s" 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	27,5	28,5	28,5	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,26	5,50	6,47	6,84	6,29	4,38	3,80
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	1,37	0,94	0,88	0,71	1,04	1,97	2,83
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	4,19	8,97	9,97	9,97	1,99	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	25,40	68,50	69,88	70,83	81,44	90,00	98,37
Cor Verdadeira (0,45)	uC	13	9	10	6	5	6	7
COT	ppm	4,965	3,100	3,828	3,120	4,488	3,791	5,374
COD (0,45)	ppm	3,759	3,834	3,534	3,198	3,356	3,163	3,327
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,207	0,077	0,085	0,063	0,069	0,062	0,073
AUVE (0,45)	L/mg.m	5,507	2,008	2,405	1,970	2,056	1,960	2,194

OBS.: Entupimento do papel W-40 antes dos 50 mL de filtração para o jarro 6 e do papel 0,45 mm para o jarro 6.

DATA : 02 - 07/04/02

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s" 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	XXXX	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	XXXX	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	27,5	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0
pH (lab)	-	5,26	3,85	3,38	3,36	3,30	3,10	3,03
T (pH)	°C	27,6	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8
Turbidez (uT)	uT	1,56	2,27	3,24	4,36	4,39	5,41	4,40
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	4,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µScm ⁻¹	29,22	130,86	149,64	192,84	218,92	366,81	483,56
Cor Verdadeira (0,45)	uC	23	12	11	11	10	8	12
COT	ppm	4,948	5,799	6,265	6,530	6,416	7,804	6,662
COD (0,45)	ppm	4,874	3,401	3,319	3,508	3,674	3,441	4,002
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,219	0,090	0,090	0,096	0,080	0,076	0,090
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,493	2,646	2,712	2,737	2,177	2,209	2,249

OBS.: Entupimento do papel W-40 antes dos 50 mL de filtração para os jarros 2, 3, 4, 5 e 6 e do papel 0,45 mm para o jarro 4.

OBS.: Quando o pH foi corrigido para 7,6 para a medição da cor aparente e cor verdadeira, ocorreu a formação de novos precipitados, tanto na amostra filtrada em W-40, como na amostra filtrada em 0,45 µm, para o jarro 6.

ENSAIOS DE JARRES PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

COAGULANTE		DATA :	16 - 21/04/02	FRASCOS: 1 C a 6 C					
		pH:		CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O				MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,5		FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6	
Dosagem de Coagulante	mg/L	X	10	11	12	13	14	15	
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	X	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	
pH (lab)	-	5,26	6,37	6,26	6,17	6,02	5,98	6,74	
T (pH)	°C	27,6	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	
Turbidez (uT)	uT	1,42	1,23	1,21	1,12	1,14	1,12	1,07	
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	4,99	5,58	4,99	4,99	4,59	3,99	3,59	
Condutividade	µS/cm	25,40	53,41	55,96	59,48	63,10	69,46	82,47	
Cor Verdadeira (0,45)	uC	17	32	30	31	27	29	26	
COT	ppm	5,091	3,296	3,916	3,126	3,151	3,193	2,991	
COD (0,45)	ppm	4,239	4,233	4,287	4,194	4,039	4,235	4,996	
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,217	0,108	0,118	0,128	0,105	0,109	0,101	
AUVE (0,45)	L/mg.m	5,119	2,551	2,753	3,052	2,600	2,574	2,022	

OBS.: Entupimento do papel W-40 antes dos 50 mL de filtração para todos os jarros.

COAGULANTE		DATA :	16 - 21/04/02	FRASCOS: 1 C a 6 C					
		pH:		CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O				MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,5		FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6	
Dosagem de Coagulante	mg/L	X	16	17	18	19	20	25	
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	X	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	5,0	
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	
pH (lab)	-	5,26	5,51	5,43	5,23	5,07	5,13	4,94	
T (pH)	°C	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	
Turbidez (uT)	uT	3,69	2,04	2,03	2,09	1,88	1,87	1,96	
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	3,99	3,38	2,99	1,99	1,60	1,99	1,50	
Condutividade	µS/cm	34,59	87,20	92,48	101,85	122,36	128,61	142,08	
Cor Verdadeira (0,45)	uC	24	27	29	27	26	25	27	
COT	ppm	6,853	4,186	4,507	3,811	4,225	4,553	3,986	
COD (0,45)	ppm	5,338	4,460	4,659	4,677	4,097	4,584	4,403	
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,223	0,108	0,100	0,105	0,099	0,100	0,102	
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,178	2,422	2,146	2,245	2,416	2,182	2,317	

OBS.: Entupimento do papel W-40 antes dos 50 mL de filtração para todos os jarros.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

DATA : 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	X	30	35	40	45	50	60
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	X	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	4,72	4,54	4,38	4,14	4,10	4,13
T (pH)	°C	27,6	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1
Turbidez (uT)	uT	2,25	1,60	1,69	1,67	1,49	1,40	1,46
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	1,40	0,20	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	21,97	163,54	158,96	162,71	166,16	169,80	201,04
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	23	23	21	20	22	20
COT	ppm	5,632	3,975	3,798	3,627	4,230	3,880	3,516
COD (0,45)	ppm	5,462	4,171	4,142	4,083	4,241	4,237	4,278
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,226	0,084	0,086	0,090	0,100	0,094	0,099
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,014	2,076	2,204	2,358	2,219	2,314

OBS.: Entupimento do papel W-40 antes dos 50 mL de filtração para todos os jarros.

DATA : 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1 C a 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	X	70	80	90	100	150	200
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	X	14,0	16,0	18,0	20,0	30,0	40,0
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	4,09	4,03	3,96	3,90	3,84	3,79
T (pH)	°C	27,6	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1	27,1
Turbidez (uT)	uT	2,25	1,31	1,22	1,35	1,28	1,24	1,33
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	21,97	217,79	231,59	273,96	348,86	424,74	476,97
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	17	19	22	34	36	39
COT	ppm	5,632	3,608	3,291	3,531	3,549	3,511	3,670
COD (0,45)	ppm	5,462	4,408	4,203	4,181	5,051	5,280	5,299
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,226	0,093	0,092	0,096	0,105	0,110	0,126
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,110	2,189	2,296	2,079	2,063	2,378

OBS.: Entupimento do papel W-40 antes dos 50 mL de filtração para todos os jarros e do papel 0,45 mm para os jarros 1, 3 e 5.

OBS.: Quando o pH foi corrigido para 7,6 para a medição da cor aparente e cor verdadeira, ocorreu a formação de novos precipitados, tanto na amostra filtrada em W-40, como na amostra filtrada em 0,45 µm, para os jarros 4, 5 e 6.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

PONTOS EXTRAS		DATA :	09 - 14/04/02	FRASCOS: 1 C a 6 C				
COAGULANTE		pH:		CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA				
FeCl ₃ .6 H ₂ O				MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min				
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		5,5/6,0		FLOCULAÇÃO: 80; 60; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min				
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	X	2	5	8	2	5	8
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	X	0,4	1,0	1,6	0,4	1,0	1,6
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,0
pH (lab)	-	5,26	5,90	5,84	5,72	5,80	6,73	6,54
T (pH)	°C	27,6	27,4	27,4	27,3	27,4	27,4	27,3
Turbidez (uT)	uT	2,20	1,33	1,44	1,49	1,70	1,89	2,01
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	4,99	4,99	3,99	10,97	5,88	5,98
Condutividade	µS/cm	28,32	30,09	30,87	31,52	32,73	31,46	31,32
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	23	20	8	30	20	2
COT	ppm	5,469	3,816	4,238	4,249	3,932	4,497	4,630
COD (0,45)	ppm	4,458	4,271	4,365	4,009	4,091	4,474	3,144
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,091	0,094	0,076	0,107	0,111	0,070
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,131	2,153	1,896	2,815	2,481	2,226

PONTOS EXTRAS		DATA :	09 - 14/04/02	FRASCOS: 1 C a 6 C				
COAGULANTE		pH:		CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA				
FeCl ₃ .6 H ₂ O				MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min				
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5/7,0		FLOCULAÇÃO: 80; 60; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min				
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	X	2	5	8	2	5	8
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	X	0,4	1,0	1,6	0,4	1,0	1,6
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,26	6,47	6,37	6,30	6,85	6,80	6,74
T (pH)	°C	27,5	27,3	27,3	27,3	27,3	27,3	27,2
Turbidez (uT)	uT	2,20	1,99	1,80	2,18	2,19	2,14	2,12
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	5,98	7,38	8,98	5,58	10,97	10,97	5,98
Condutividade	µS/cm	28,32	33,29	33,29	34,95	32,50	32,50	34,63
Cor Verdadeira (0,45)	uC	26	15	33	15	36	12	0
COT	ppm	5,469	4,209	4,373	4,198	3,998	4,109	4,611
COD (0,45)	ppm	4,458	4,479	5,343	4,333	5,093	3,798	3,541
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,221	0,106	0,122	0,098	0,115	0,093	0,080
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,957	2,367	2,283	2,262	2,258	2,449	1,648

OBS.: Entupimento do papel 0,45 µm para o jarro 1.

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

PONTOS EXTRAS

DATA : 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s ⁻¹ 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		7,5/8,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s ⁻¹ 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	2	2	5	8	2	5	8
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,4	0,4	1,0	1,6	0,4	1,0	1,6
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
pH (lab)	-	5,26	6,67	7,07	6,66	7,56	7,33	6,84
T (pH)	°C	27,6	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2
Turbidez (uT)	uT	2,25	1,93	1,75	1,86	2,10	1,84	1,76
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	12,96	13,96	8,98	16,96	15,96	13,96
Condutividade	µS/cm	21,97	34,13	35,51	40,63	34,82	37,18	37,97
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	32	22	13	31	28	19
COT	ppm	5,632	4,553	4,998	4,062	4,135	4,023	4,125
COD (0,45)	ppm	5,462	4,777	4,500	3,433	4,198	4,283	4,224
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,228	0,122	0,087	0,097	0,107	0,110	0,094
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,554	1,933	2,826	2,549	2,568	2,225

Obs.: Entupimento do papel W-40 após 50 mL de filtração para os jarros 1, 2 e 3.

PONTOS EXTRAS

DATA : 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s ⁻¹ 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		8,5/9,0	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s ⁻¹ 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	2	2	5	8	2	5	8
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,4	0,4	1,0	1,6	0,4	1,0	1,6
T (lab)	°C	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
pH (lab)	-	5,26	6,82	6,54	6,03	7,28	7,01	6,95
T (pH)	°C	27,6	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,25	2,29	2,28	2,23	2,26	2,28
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	5,98	5,98	5,98	8,97	7,98	7,98
Condutividade	µS/cm	21,97	37,57	38,84	39,62	39,82	41,38	42,85
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	36	33	30	37	35	32
COT	ppm	5,632	4,824	5,127	4,904	5,063	4,928	4,973
COD (0,45)	ppm	5,462	5,387	5,272	4,024	5,213	5,361	4,999
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,228	0,119	0,110	0,110	0,115	0,109	0,106
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,209	2,086	2,734	2,206	2,033	2,120

ENSAIOS DE JAR TEST PARA AVALIAR COAGULAÇÃO OTIMIZADA CLORETO FÉRRICO NA VARREDURA

PONTOS EXTRAS

DATA : 16 - 21/04/02

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA			
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min			
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		9,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min			
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	
Dosagem de Coagulante	mg/L	2	2	5	8	
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,4	0,4	1,0	1,6	
T (lab)	°C	27,5	27,0	27,0	27,0	
pH (lab)	-	5,26	7,33	7,14	7,07	
T (pH)	°C	27,6	27,1	27,1	27,1	
Turbidez (uT)	uT	2,25	2,21	2,23	2,21	
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	1,99	10,97	9,97	7,98	
Condutividade	µS/cm	21,97	30,52	43,26	45,63	
Cor Verdadeira (0,45)	uC	32	35	31	26	
COT	ppm	5,632	4,841	4,780	4,717	
COD (0,45)	ppm	5,462	5,142	4,612	4,848	
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,226	0,113	0,098	0,108	
AUVE (0,45)	L/mg.m	4,138	2,198	2,125	2,228	

PONTOS EXTRAS

DATA : 14 - 19/05/02

FRASCOS: 1 Ca 6 C

COAGULANTE		pH:	CONDIÇÕES DE COAGULAÇÃO NA VARREDURA					
FeCl ₃ .6 H ₂ O			MISTURA RÁPIDA: 100 s 300" = 5 min					
Concentração da Solução Estoque: 1%=10 g/L		6,5	FLOCULAÇÃO: 80; 50; 20 s 600"; 600"; 600" = 30 min					
	Unidades	Bruta	Jarro 1	Jarro 2	Jarro 3	Jarro 4	Jarro 5	Jarro 6
Dosagem de Coagulante	mg/L	1	1	2	3	4	5	6
Volume de Coagulante da Solução Estoque	mL	0,2	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
T (lab)	°C	24,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5	25,5
pH (lab)	-	6,46	6,48	6,47	6,46	6,41	6,40	6,38
T (pH)	°C	24,4	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5	24,5
Turbidez (uT)	uT	1,42	0,80	0,90	1,08	1,15	1,40	1,38
Alcalinidade	ppm CaCO ₃	4,99	6,98	7,98	7,98	6,98	6,58	5,98
Condutividade	µS/cm	25,40	36,53	35,91	33,12	34,05	44,91	46,16
Cor Verdadeira (0,45)	uC	17	14	21	31	7	15	15
COT	ppm	5,091	3,379	3,545	3,649	3,702	3,697	3,678
COD (0,45)	ppm	4,239	4,446	4,391	4,490	3,939	3,794	4,218
UV-254 (0,45)	cm ⁻¹	0,217	0,103	0,087	0,123	0,064	0,108	0,108
AUVE (0,45)	L/mg.m	5,119	2,317	1,981	2,739	1,625	2,847	2,560