

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Fabiana Freitas Justino

*Avaliação de remoção de fitoplâncton e formação
de trihalometanos em águas de abastecimento em
processo de tratamento por FAD, inter-oxidação
e desinfecção com cloro.*

VITÓRIA, 2010.

Fabiana Freitas Justino

Avaliação de remoção de fitoplâncton e formação de trihalometanos em águas de abastecimento em processo de tratamento por FAD, inter-oxidação e desinfecção com cloro.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dra. Edumar Ramos Cabral
Coelho.

Co-orientador: Prof. Dr. Camilo Dias Junior

VITÓRIA, 2010.

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

J96a Justino, Fabiana Freitas, 1974-
Avaliação de remoção de fitoplâncton e formação de trialometanos em águas de abastecimento submetida a tratamento com FAD, inter-oxidação e desinfecção com cloro / Fabiana Freitas Justino. – 2010.
115 f. : il.

Orientador: Edumar Ramos Cabral Coelho.

Co-Orientador: Camilo Dias Junior.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Abastecimento de água. 2. Água - Purificação - Flotação por ar dissolvido. 3. Fitoplâncto. 4. Trialometanos. I. Coelho, Edumar Ramos Cabral. II. Dias Júnior, Camilo. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 628

Fabiana Freitas Justino

*Avaliação de remoção de fitoplâncton e formação
de trihalometanos em águas de abastecimento em
processo de tratamento por FAD, inter-oxidação
e desinfecção com cloro*

Dissertação submetida ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisição parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada em 26 de AGOSTO de 2010.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dra. Edumar Ramos Cabral Coelho
Orientador – DEA/CT/UFES

Prof. Dr. Antonio Sergio Ferreira Mendonça
Examinador Interno - DEA/CT/UFES

Prof. Dr. Edson Pereira Tangerino
Examinador Externo – Departamento de engenharia civil/UNESP

Aos amores da minha vida,
Thainá e Thaís.

Agradecimentos

A Deus meu supremo Criador e Pai.

A minha família pelo apoio em todos os momentos da minha vida, especialmente aos meus pais pelo amor e pela formação do meu caráter.

A professora Edumar Ramos Cabral Coelho pela orientação e amizade.

Ao professor Camilo Dias Junior pelos valiosos ensinamentos, paciência e disposição do LABFITO.

Aos professores da banca avaliadora, Prof. Dr. Edson Pereira Tangerino e Prof. Dr. Antonio Sergio Ferreira Mendonça pelas críticas e sugestões.

A professora Cristina Paschoalato pelas análises dos trialometanos.

A Msc Patrícia Lucas pela ajuda com a identificação do fitoplâncton.

Ao professor Fernando Avancini Tritão pela análise granulométrica no LEMAC.

Ao supervisor João Batista e aos operadores da ETA Duas Bocas Oswaldires, Nildo Mendonça, Jonatas Sebastião Vicente e Edemir Bissi, pela amabilidade e ajuda nas coletas da água bruta e informações de operação.

A querida amiga-irmã e colega de mestrado Amanda por ser meu braço direito neste trabalho.

Ao Lucas Thiago pela amizade, apoio técnico e montagem dos filtros.

A querida Lorena pelo apoio e incentivo nas horas difíceis.

As queridas mestradas Cecília e Georgette pela amizade e trocas de conhecimento, principalmente nas análises do fitoplâncton.

Ao amigo doutorando Paulo Wagner pelas preciosas dicas e ajuda com as análises químicas.

A colega e mestranda Nádia Gorza pelo apoio nas análises químicas.

Ao Msc Marcus Couvre e Msc Sabrina Rosalem por me receberem no LABSAN e pelas dicas de metodologias.

A técnica Elaine e a todos os colegas do LABSAN que de alguma forma me ajudaram neste trabalho.

“Porque, assim como os céus são mais altos do que a terra, assim são os Meus caminhos mais altos do que os vossos caminhos, e os Meus pensamentos, mais altos do que os vossos pensamentos”

Isaías, 55:9

Resumo

A presença de populações algais nos reservatórios torna mais problemática a operacionalidade dos sistemas de tratamento e pode causar impactos negativos na qualidade das águas distribuídas ao gerar sabores e odores na água e interferir no processo de clarificação. Além disto, uma das grandes preocupações ambientais e de saúde pública em lagos e represas e a floração de algas e cianobactérias produtoras de toxinas. Em águas de abastecimento, a matéria orgânica natural, as algas/microalgas e as cianobactérias e seus metabólitos, inclusive suas toxinas, são os principais precursores com os quais os halogênios reagem para formar subprodutos da cloração, entre estes os trihalometanos. O processo de clarificação utilizando o sistema de flotação vem sendo utilizado para remoção de algas, cianobactérias e suas toxinas em substituição ou conjuntamente com os processos de decantação e filtração direta. Este estudo consistiu da avaliação, em escala de bancada, dos processos de coagulação e floculação com sulfato de alumínio, flotação por ar dissolvido (FAD), inter-oxidação com cloro, filtração em areia e desinfecção com cloro, com o objetivo de investigar a remoção de fitoplâncton e a formação de trihalometanos em águas de abastecimento com presença de microalgas e cianobactérias. O estudo de coagulação com sulfato de alumínio resultou em regiões semelhantes de remoção (pH 6,3 e 6,5 e 25 a 35mg/L $Al_2(SO_4)_3$) dos parâmetros cor aparente e cor real e turbidez para os períodos de seca (71%) e de chuvas (93%). Na otimização da flotação os resultados indicaram uma melhor remoção do material particulado (95%) e cor real (74%) na velocidade ascensional de 5cm/min. Os testes de inter-oxidação resultaram em baixa demanda de cloro, indicando a eficiência da flotação na remoção da matéria orgânica. A caracterização da água do manancial Duas Bocas mostrou qualidade de água satisfatória para águas de abastecimento no período observado. Na avaliação qualitativa do fitoplâncton foram registrados 22 táxons, sendo a Classe *Cyanophyceae* a mais representativa em riqueza e em densidade relativa total nos dois meses de estudo, destacando o domínio das espécies *Synechococcus nidulans* e *Anabaena* sp. Esta última apresenta potencial de produção de neurotoxinas e hepatotoxinas, 9 dos 15 gêneros listados são mencionados como causadores de problemas operacionais como gosto, odor, colmatação dos filtros, entre outros. No estudo comparativo entre duas linhas de tratamento, apesar de um maior gasto com coagulante e alcalinizante, o tratamento 2 (30mg/L $Al_2(SO_4)_3$ em pH 6,4)

mostrou-se adequado nos dois meses estudados (maio e junho). A inter-oxidação apresentou baixa eficiência de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e absorvâncias 254 e 665, nos tratamentos 1 e 2. O meio filtrante misto, composto com de grãos de areia de tamanho 1,20 a 0,60mm (70%) e 0,60 a 0,30mm (30%) seguido de desinfecção com cloro (5mg Cl₂/mL), mostrou-se eficiente na remoção dos parâmetros analisados para os quatro tratamentos estudados, compensando os valores menores de remoção observadas nas etapas anteriores. Todos os tratamentos estudados apresentaram resultados positivos para a formação de clorofórmio e bromodiclorometano, porém abaixo dos limites estabelecidos pela Portaria MS 518/04 para TTHM.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, flotação por ar dissolvido, remoção de fitoplâncton e trialometanos.

Abstract

The presence of algal populations in the reservoirs becomes more problematic the operation of treatment systems and may cause negative impacts on water quality in distribution to generate flavors and odors in water and affect the process of clarification. Moreover, a major environmental and public health in lakes and reservoirs and blooming of algae and cyanobacteria toxins. In water supply, natural organic matter, algae / algae and cyanobacteria and their metabolites, including their toxins are the main precursors with which the halogens react to form chlorination byproducts, trihalomethanes between them. Clarification process using the flotation system has been used for removal of algae, cyanobacteria and their toxins in place of or in conjunction with the processes of settling and direct filtration. This study consisted of evaluation, bench scale, the processes of coagulation and flocculation with aluminum sulfate, dissolved air flotation (DAF), inter-oxidation with chlorine, sand filtration and disinfection with chlorine, in order to investigate the removal of phytoplankton and the formation of trihalomethanes in drinking water with the presence of microalgae and cyanobacteria. The study of coagulation with aluminum sulfate resulted in similar regions of removal (pH 6.3 and 6.5 and 25 to 35mg / L Al₂ (SO₄)₃) parameters of apparent color and true color and turbidity for the periods of drought (71%) and wet (93%). In the optimization of the flotation results indicated a better removal of particulate material (95%) and true color (74%) in the velocity range of 5cm/min. Tests for inter-oxidation resulted in lower chlorine demand, indicating the efficiency of flotation in the removal of organic matter. The characterization of water from the spring Duas Bocas showed satisfactory water quality for water supply in the period observed. In qualitative and quantitative assessment of phytoplankton were recorded 22 taxa, being the most representative class Cyanophyceae in wealth and total relative density in the two months of study, highlighting the dominance of the species *Synechococcus nidulans* and *Anabaena* sp. The latter has potential to produce neurotoxins and hepatotoxins, 9 of the 15 genera listed are mentioned as causes of operational problems such as taste, odor, clogging of filters, among others. Comparing the results between two lines of treatment, despite a higher expense and alkaline coagulant, treatment 2 (30mg / L Al₂ (SO₄)₃ at pH 6.4) was adequate in the two months studied (May and June) . The inter-oxidation showed low removal efficiency parameters apparent color, turbidity and absorbance 254 and 665, for treatments 1 and 2. The media mix consisting of sand with grain size from

1.20 to 0.60 mm (70%) and 0.60 to 0.30 mm (30%) followed by disinfection with chlorine (5mg Cl₂/mL), was efficient in the removal of the parameters analyzed for the four treatments, compensating for the removal of lower values observed in previous steps. All treatments showed positive results for the formation of chloroform and bromodichloromethane, but below the limits established by the MH 518/04 for TTHM.

Keywords: water treatment, dissolved air flotation and removal of algae

Lista de figuras

Figura 3.1 - Tratamento convencional para fins de potabilização – fluxograma Fonte: Vianna (2006).....	24
Figura 3.2 - Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).	26
Figura 3.3 - Classificação e distribuição dos sólidos na água em função do tamanho Fonte: adaptado de Libânio (2005)	27
Figura 3.4 - Esquema de uma partícula coloidal com dupla camada em meio aquoso. Fonte: VIANNA (2006).....	28
Figura 3.5 - Mecanismo de desestabilização das partículas por adsorção e neutralização com sulfato de alumínio. Fonte: adaptado de Vianna (2006) 29	
Figura 3.6 - Mecanismo de desestabilização das partículas por varredura com sulfato de alumínio. Fonte: adaptado de Vianna (2006).....	30
Figura 3.7 - Diagrama para projeto e operação utilizando sulfato de alumínio proposto por Amirtharajah e Mills. Fonte: Vianna (2006).	30
Figura 3.8 - Curva de cloro residual mostrando um "break-point" típico. Conteúdo de nitrogênio amoniacal na água, 1,0 mg/L. Fonte: CETESB Piveli e Kato (2006).....	33
Figura 3.9 - Reação da Matéria Orgânica e cloro livre. Fonte: Van Bremem citado por Meyer (1994)	35
Figura 3.10 - Possíveis estruturas de trialomitanos (Meyer,1994)	36
Figura 3.11 - Fluxograma com as etapas de flotação em FAD. Fonte: Di Bernardo, Di Bernardo (2005).....	42
Figura 3.12 - Ilustração da agregação das bolhas de ar aos flocos. Fonte: Adaptado de: Di Bernardo e Dantas (2005).	43
Figura 3.13 - Vista aérea da represa Duas Bocas, Cariacica-ES. (seta indicando o ponto do barramento).....	46
Figura 3.14 - Vista aérea da represa Duas Bocas no ponto do barramento e da ETA Duas Bocas localizada abaixo do barramento. (localização do ponto de tomada de água bruta da ETA)	48
Figura 4.1 - Vista da ETA Duas Bocas e localização do ponto de coleta de água bruta.....	50

Figura 4.2 - Dados comparativos com a média da série histórica da estação meteorológica localizada no município de Vitória-ES; Coordenadas: LAT: 20,300S LON: 40,317W ALT: 36m Fonte: INCAPER (2010).....	51
Figura 4.3 - Fluxograma das etapas de trabalho.....	53
Figura 4.4 - Conjunto para flotação: a) equipamento floteste; b) câmara de saturação; c) reservatório de água clarificada; d) compressor de ar; e) Jarros para flotação com controlador manual de vazão (equipo). ...	55
Figura 4.5 - Esquema das linhas de tratamentos	58
Figura 4.6 - a) Conjunto de filtros de areia adaptados ao floteste; b) e c) Vista lateral do filtro – dimensões do leito filtrante, cota do NA fixo e do NA de coleta.....	59
Figura 4.7 - Foto do ensaio realizado com vermelho de metila para definir o tempo de coleta da amostra nos filtros. A) jarro do floteste com água e corante; b) filtragem com o corante.....	60
Figura 5.1 - Diagrama de coagulação período de chuvas – Valores de cor aparente (uC) na água flotada.	66
Figura 5.2 - Diagrama de coagulação período de chuvas – Valores de cor real (uC) na água flotada.....	67
Figura 5.3 - Diagrama de coagulação período de chuvas – Valores de turbidez (UT) na água flotada.....	67
Figura 5.4 - Diagrama de coagulação período seco – Valores de cor aparente (uC) na água flotada.....	68
Figura 5.5 - Diagrama de coagulação período seco – Valores de cor real (uC) na água flotada.....	68
Figura 5.6 - Diagrama de coagulação período seco – Valores de turbidez (UT) na água flotada.....	69
Figura 5.7 - Percentual de remoção dos parâmetros turbidez, cor aparente, cor real na flotação para as velocidades ascensionais 5, 10 e 15 cm/min.....	72
Figura 5.8 - Número de partículas remanescentes/mL na flotação - teste das velocidades ascensionais 5, 10 e 15 cm/min	72
Figura 5.9 - Percentual de remoção dos parâmetros cor aparente, absorvância a 254 e 665nm para as concentrações 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mg Cl ₂ /L aplicadas na água flotada.	74
Figura 5.10 - Contribuição das Classes de algas fitoplanctônicas (em %), baseada na riqueza de táxons, no período seco.....	77

Figura 5.11 - Distribuição das classes mais representativas de algas fitoplanctônicas (em %), baseada na densidade nos meses de maio e junho.	78
Figura 5.12 - Percentual de remoção de cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 na flotação – Tratamentos 1 e 2 nos meses de maio e junho. ...	80
Figura 5.13 - Número remanescente de partículas em função do tamanho das partículas na flotação – Tratamentos 1 e 2 nos meses de maio e junho....	81
Figura 5.14 - Percentual de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 na flotação seguida de inter-oxidação – Tratamentos 1B e 2B nos meses de maio e junho.....	83
Figura 5.15 - Percentual médio de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 na inter-oxidação – Tratamentos 1B e 2B.	83
Figura 5.16 - Percentual de remoção de cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 após filtração e desinfecção – Tratamentos 1A, 2A, 1B e 2B no mês de maio.....	84
Figura 5.17 - Percentual de remoção de cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 após filtração e desinfecção – Tratamentos 1A, 2A, 1B e 2B no mês de Junho.....	85
Figura 5.18 - Percentual de remoção de cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 da filtração – Tratamentos 1A, 1B, 2A e 2 B.	85
Figura 5.19 - Número remanescente de partículas após tratamento completo – Tratamentos 1A, 1B, 2A e 2B nos meses de maio e junho.	86

Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Processos de tratamento de água em função da qualidade da água bruta.....	25
Tabela 3.2 - Tipo de cloração, dosagem de cloro, períodos de contato, pH e residuais mínimos recomendadas por Azevedo Neto.	33
Tabela 3.3 - Valores recomendados e valores máximos permitidos para produtos químicos usados no tratamento de água e sub-produtos da desinfecção	38
Tabela 4.1 - Parâmetros analisados, método analítico e equipamentos utilizados ..	52
Tabela 4.2 - Parâmetros aplicados nos ensaios de flotação para a construção do diagrama de coagulação	54
Tabela 4.3 - Valores das velocidades ascensionais e seus respectivos tempos de coleta da água flotada	56
Tabela 4.4 - Descrição das linhas de tratamento aplicados na etapa 3	57
Tabela 4.5 - Composição granulométrica do leito filtrante	59
Tabela 5.1 - Características da água bruta utilizada nos ensaios de otimização da flotação.....	70
Tabela 5.2 - Valores remanescentes dos parâmetros analisados na água flotada para as velocidades ascensionais de 5, 10 e 15 cm/min.	71
Tabela 5.3 - Características da água bruta utilizada nos ensaios de otimização da inter-oxidação.....	73
Tabela 5.4 - Estudo da concentração de cloro a ser aplicado na inter-oxidação – resultados da aplicação de diferentes dosagens de cloro na água flotada..	73
Tabela 5.5 - Caracterização da água bruta utilizada nos ensaios da etapa 3.....	75
Tabela 5.6 - Caracterização da água bruta utilizada nos ensaios da etapa 3.....	76
Tabela 5.7 - Listas dos táxons e numero de indivíduos por mL	76
Tabela 5.8 - Gêneros de algas encontradas neste estudo e problemas operacionais que podem ocorrer no sistema de abastecimento de água (adaptado de Di Bernardo (1995) e Branco (1986))......	79

Tabela 5.9 - Valores remanescentes dos parâmetros analisados na água flotada - Tratamentos 1 e 2 nos dois meses de estudo da etapa 3.....	79
Tabela 5.10 -Valores remanescentes dos parâmetros analisados na água flotada seguida de inter-oxidação - Tratamentos 1B e 2B nos dois meses de estudo da etapa 3.....	82
Tabela 5.11 -Valores remanescentes dos parâmetros analisados na água filtrada seguido de desinfecção - Tratamentos 1A, 1B, 2A e 2B nos dois meses de estudo da etapa 3.	84
Tabela 5.12 -Resultado dos testes para formação e potencial de formação de trialometanos – Tratamentos 1A e 1B.....	87
Tabela 5.13 -Resultado dos testes de formação e potencial de formação de trialometanos – Tratamentos 2A e 2B.....	87

LISTA DE SIGLAS

µg	Micrograma
APHA	American Public Health Association
CESAN	Companhia Espírito Santense de Saneamento
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EPA	United States Environmental Protection Agency
ES	Espírito Santo
ETA	Estação de Tratamento de Água
FAD	Flotação por Ar Dissolvido
FDD	Filtração Direta Descendente
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDAF	Instituto de Defesa Agropecuária e Florestal do ES
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente
INCAPER	Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
Ind/mL	Número de Indivíduos por mililitros
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
L	Litro
LABSAN	Laboratório de Saneamento da UFES
m ²	Metro quadrado
m ³	Metro cúbico
mg	Miligrama
mL	Mililitro
mm	Milímetro
MON	Matéria orgânica natural
MS	Ministério da Saúde
n	Número de amostras
NA	Nível de água
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
PTHM	Potencial de formação de Trihalometanos

REBIO	Reserva Biológica
SD	Sólidos Dissolvidos
THM	Trihalometanos
uC	Unidade de Cor equivalente a uH unidade Hazen
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo
UNT	Unidade Nefelométrica de Turbidez
USEPA	United States Environmental Protection Agency
UT	Unidade de turbidez

Sumário

1. INTRODUÇÃO	21
2. OBJETIVOS	23
2.1 OBJETIVO GERAL	23
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	24
3.1 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DA ÁGUA.....	24
3.2 PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.	26
3.3 O EMPREGO DO CLORO COMO DESINFETANTE.....	31
3.4 O EMPREGO DO CLORO COMO OXIDANTE.....	34
3.5 A FORMAÇÃO E OS RISCOS ASSOCIADOS À PRESENÇA DE TRIALOMETANOS EM ÁGUAS DE ABASTECIMENTO.....	35
3.6 MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL COMO PERCUSORES DA FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS	38
3.7 AS ALGAS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA E SUAS IMPLICAÇÕES NA FORMAÇÃO DOS TRIALOMETANOS.	39
3.8 O EMPREGO DA FLOTAÇÃO POR AR DISSLOVIDO - FAD.....	41
3.9 FILTRAÇÃO DESCENDENTE	44
3.10 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	46
4. MATERIAL E MÉTODOS	50
4.1 PONTO DE COLETA E ARMAZENAMENTO	50
4.2 ETAPAS DE TRABALHO.....	51
4.2.1 ETAPA 1: Construção do diagrama de coagulação com remoção de cor aparente, cor real e turbidez.	53
4.2.2 ETAPA 2: Realização dos ensaios para otimização da flotação e remoção do fitoplâncton em função da variação da velocidade ascensional.....	55
4.2.3 ETAPA 3: Análise de remoção de fitoplâncton e de formação de trialometanos na água após o tratamento completo para duas dosagens de coagulante considerando a inter-oxidação com cloro.	57

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
5.1 ETAPA 1: CONSTRUÇÃO DOS DIAGRAMAS DE COAGULAÇÃO.....	66
5.1.1 Diagrama de coagulação para as amostras coletadas no período de chuvas	66
5.1.2 Diagrama de coagulação para as amostras coletadas no período seco.....	68
5.2 ETAPA 2: OTIMIZAÇÃO DA FLOTAÇÃO	70
5.3 ETAPA 3: AVALIAÇÃO DE REMOÇÃO DO FITOPLÂNCTON ; DA FORMAÇÃO E POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIALOMETAMOS.....	73
5.3.1 Estudo da demanda de cloro na inter-oxidação.....	73
5.3.2 Caracterização da água bruta.....	74
5.3.3 Avaliação qualitativa e quantitativa do fitoplâncton nas amostras água bruta.....	76
5.3.4 Eficiência da coagulação, floculação e flotação.....	79
5.3.5 Eficiência da inter-oxidação com cloro.....	81
5.3.6 Eficiência da filtração seguida de desinfecção.	83
5.3.7 Formação e potencial de formação de trialometanos	86
6. CONCLUSÕES	89
7. RECOMENDAÇÕES	91
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXO	98
ANEXO 1 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA	99
ANEXO 2 – CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA ANÁLISE DE CLORO RESIDUAL	100
ANEXO 3 – ANÁLISES DE THM E PTHM – DADOS DE CALIBRAÇÃO E CROMATOGRAMAS	101

1. INTRODUÇÃO

As represas são construídas para determinados usos primários. Entre eles estão o abastecimento para consumo humano, ou usos múltiplos como preconizados pela Resolução CONAMA 357/05. A construção e operação de represas causa inúmeros impactos nos ecossistemas, principalmente no aquático, causando alterações qualitativas e quantitativas com efeitos diretos e/ou indiretos, tanto para o meio biótico como para o abiótico.

As dinâmicas verticais e horizontais dos mecanismos de circulação das represas influenciam diretamente nos agrupamentos de organismos, na composição das comunidades, na sucessão em períodos reduzidos de tempo para as comunidades fitoplanctônicas, nos processos de produção primária fitoplanctônica e perifítica, na reciclagem e nos ciclos biogeoquímicos (TUNDISI et al., 2002). O desequilíbrio desses mecanismos de circulação pode levar a eutrofização do reservatório, principalmente na região próxima ao barramento. Os lagos, por geralmente apresentarem tempos de retenção da água mais elevados que os rios, são particularmente vulneráveis à eutrofização, pois tendem a acumular sedimentos e substâncias químicas a eles associadas (CALIJURI; ALVES; SANTOS, 2006).

Tundisi e outros (2002) afirmam que a eutrofização acelera o aumento da matéria orgânica nos sistemas, produz concentrações indesejáveis de fitoplâncton, com predominância para as Cianofíceas, e de macrófitas, e promove o aumento de doenças de veiculação hídrica.

Os florescimentos de algas nos mananciais superficiais, especialmente as filamentosas, podem ocorrer em determinadas circunstâncias e comprometer seriamente o desempenho das estações de tratamento de água, tanto pela redução da vazão da água tratada, quanto pelo aumento do consumo de água de lavagem dos filtros, já que os flocos podem flotar no decantador e provocar a colmatação dos filtros, além de gerar sabores e odores na água (DI BERNARDO, 1995).

As algas e cianobactérias geram maior consumo de produtos químicos, redução de sedimentabilidade dos flocos e aumento no consumo de coagulantes e do cloro na etapa da desinfecção na estação de tratamento de água, o que possibilita a formação de subprodutos tóxicos chamados de trihalometanos. De acordo com Libânio (2005) os compostos orgânicos excretados por alguns tipos de algas possuem a mesma importância na formação de trihalometanos que os ácidos húmicos e fúlvicos.

A formação de subprodutos durante a desinfecção para fins de abastecimento tem sido objeto de preocupação na área da saúde pública mundial, sendo que no Brasil a Portaria MS 518/04 estabelece valor máximo permitido de 100µg/L para água potável.

Tominga e Midio (1999), em revisão bibliográfica realizada no período de 1974 a 1998, descreveram os potenciais toxicológicos dos compostos trialometanos, sendo os de maior importância: efeitos tóxicos carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos. Os autores concluíram que, devido à complexibilidade de formação desses compostos, é difícil estabelecer concentrações consideradas seguras.

O processo de clarificação utilizando o sistema de flotação por ar dissolvido (FAD) tem sido recentemente utilizado para remoção de algas, cianobactérias e suas toxinas, como em trabalhos citados por Perez (2008). No Espírito Santo, podem ser ressaltados os trabalhos de Lobato, Reali e Fantinin (1995), Lobato, Fantinin e Moresch (1997), BOF (2007) e FUNASA (2007b).

Considerando o exposto, o presente trabalho tem como objetivo investigar a remoção de fitoplâncton e a formação de trialometanos na água de abastecimento da estação de tratamento de água Duas Bocas, Cariacica-ES.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é investigar a remoção de fitoplâncton e a formação de trialometanos em águas de abastecimento com presença de microalgas e cianobactérias, submetida a tratamento por flotação por ar dissolvido, inter-oxidação com cloro, seguida por filtração e desinfecção com cloro.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Construir diagramas de coagulação com sulfato de alumínio para águas coletadas em períodos chuvoso e seco e escolher a região de relação entre dosagem de coagulante e pH de coagulação mais adequada para o processo de flotação por ar dissolvido, sendo avaliada a remoção de cor real, cor aparente e turbidez.
- Otimizar o processo de flotação quanto à remoção de fitoplâncton, cor aparente e turbidez para diferentes velocidades ascensionais.
- Caracterizar as amostras de água do manancial da ETA Duas Bocas (ES) com relação a parâmetros físico-químicos e características quali-quantitativas do fitoplâncton.
- Avaliar a remoção do fitoplâncton na água submetida a tratamento completo com flotação por ar dissolvido (FAD) e desinfecção com cloro, com ou sem inter-cloração, para duas diferentes dosagens de coagulante.
- Investigar a formação e o potencial de formação de trialometanos na água submetida a tratamento completo, composta por flotação por ar dissolvido (FAD) e desinfecção com cloro, com ou sem inter-cloração, para duas diferentes dosagens de coagulante.
- Analisar o residual de alumínio da água tratada para as dosagens de coagulante aplicadas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DA ÁGUA

O tratamento da água envolve o emprego de diferentes operações e processos unitários para adequar a água de diferentes mananciais aos padrões de qualidade definidos pelos órgãos de saúde e agências reguladoras. Da segunda metade do século XIX à primeira metade do século XX, o tratamento da água teve como objetivo central a clarificação e a remoção de organismos patogênicos, em torno do que foram se desenvolvendo as técnicas de coagulação, floculação, decantação e desinfecção (PÁDUA, 2009). A linha convencional completa de tratamento de água, para fins de potabilização, é indicada na Figura 3.1.

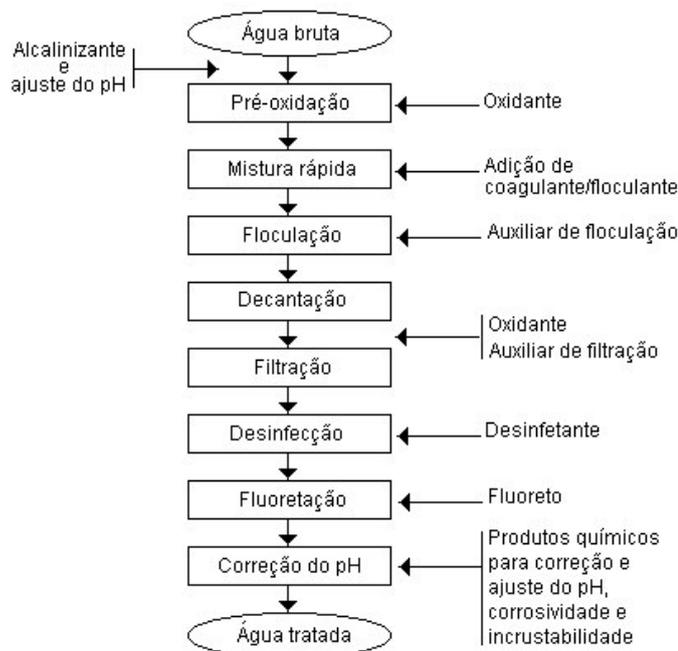


Figura 3.1 - Tratamento convencional para fins de potabilização – fluxograma
Fonte: Vianna (2006).

Algumas das fases apresentadas na Figura 3.1, poderão ser eliminadas, temporária ou definitivamente, de acordo com a qualidade da água a ser tratada e com sua variação ao longo do ano (VIANNA, 2006). A Tabela 3.1 mostra diferentes processos de tratamento de água que devem ser utilizados em função da qualidade da água bruta, definida a partir de análises de diferentes parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Tabela 3.1 - Processos de tratamento de água em função da qualidade da água bruta

PARÂMETRO	Micro-filtração	Filtração direta	FAD seguida de filtração	Filtração direta/ozonização	Ciclo completo	Ciclo completo/ozonização
Turbidez (UT)	<100	<20	<100	<30	<3000	<3000
Cor aparente (uH)	<15	<20	<100	<100	<1000	<1500
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	<150	<200	<300	<200	<500	<500
Dureza (mg CaCO ₃ /L)	<150	<150	<200	<200	<700	<700
Ferro (mg/L)	<0,5	<0,5	<0,6	<0,8	<2,0	<2,5
Manganês (mg/L)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,5	<1,0
COT (mg/L)	<2	<2,5	<5,0	<7,0	<7,0	<10
Sabor e odor (NLO)	<3	<4,5	<5,0	<7,0	<10,0	<15,0
Algas (UPA/mL)	<10 ³	<10 ³	<10 ⁴	<10 ³	<10 ⁴	<10 ⁴
Giardia (100L)	<100	<3	<5	<10	<20	<50
<i>Cryptosporidium</i> (100L)	<100	<1	<3	<10	<10	<20
Coliformes totais (n ^o /mL)	<10 ⁴	<10 ³	<10 ⁴	<10 ⁶	<10 ⁶	<10 ⁷

Notas: FAD (flotação por ar dissolvido), COT (carbono orgânico total), NLO (número limiar de odor), UPA (unidade padrão de área). O tratamento de ciclo completo inclui processo de abrandamento. Recomenda-se a adoção de pré-sedimentadores quando previsto valor de turbidez da água bruta superior a 1000 UT. Em geral, a qualidade de água bruta para o emprego da filtração lenta é a mesma recomendada para filtração direta.

Fonte: adaptado de Kawamura (2000).

Pádua (2006) explana que a partir dos anos 1960 e 1970 do século XX, o desenvolvimento agrícola e industrial impôs intensa produção e uso de novas substâncias químicas, dentre as quais os agrotóxicos, fármacos e hormônios sintéticos, implicando necessidade de desenvolvimento e emprego de técnicas de tratamento mais específicas e/ou complexas. Outro fator também relevante é a degradação dos mananciais, muitos desses encontram-se em processo de eutrofização devido, entre outros fatores antrópicos, ao aporte de fertilizantes.

Assim, as tecnologias convencionais de tratamento, visando à clarificação e desinfecção da água, foram sendo aprimoradas, incorporando novas técnicas ou variantes, tais como flotação, a filtração direta, a filtração em múltiplas etapas, além do emprego de novos desinfetantes e, por conseguinte, a geração de novos produtos secundários de desinfecção (PÁDUA, 2009). A Figura 3.2 apresenta um fluxograma das principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano, incluindo a flotação, a filtração direta e a filtração em múltiplas camadas.

O desafio da remoção de substâncias químicas e, mais recentemente de microcontaminantes, impôs o emprego/desenvolvimento de outras técnicas de tratamento como a adsorção em carvão ativado, a oxidação, a precipitação química e a volatilização, e de processos de separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa) (PÁDUA, 2009).

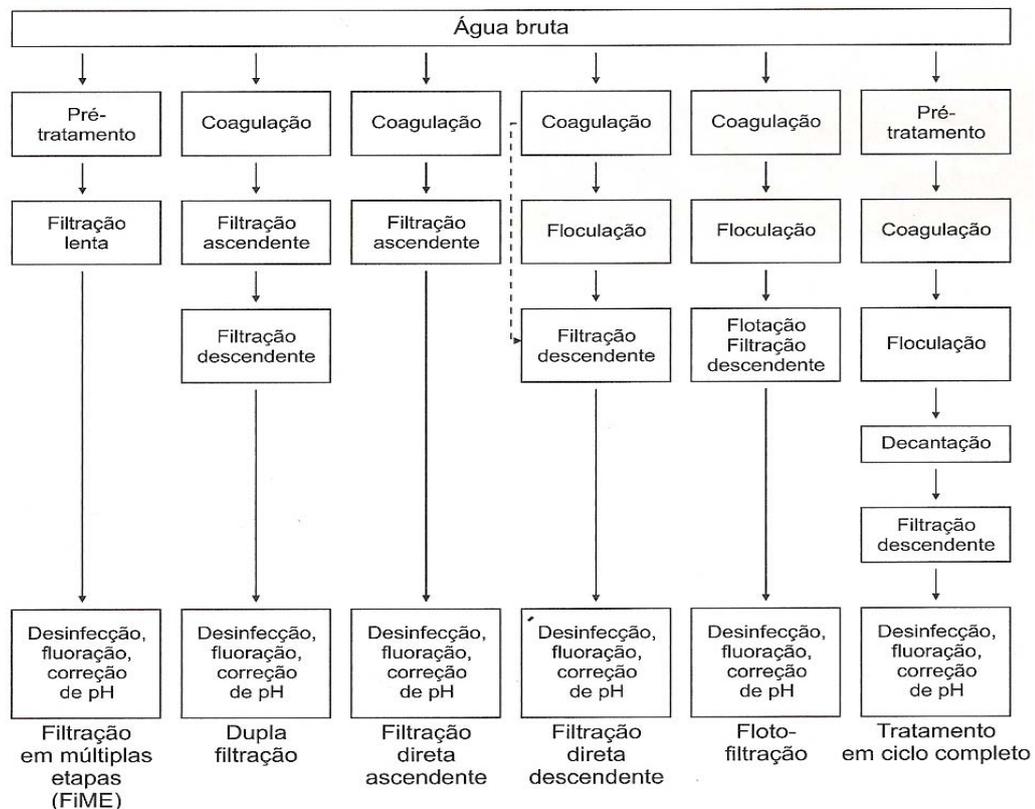


Figura 3.2 - Principais tecnologias de tratamento de água para consumo humano
Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

3.2 PROCESSO DE COAGULAÇÃO E FLOCULAÇÃO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.

A turbidez da água bruta potabilizável é originada principalmente pela presença de partículas de argila, sob forma grosseira (e, assim, facilmente removíveis) ou de suspensões coloidais (de remoção mais difícil que exige tratamento químico) provenientes da erosão do solo, ou, o que é menos comum, a presença de algas ou de crescimentos bacterianos.

Já a cor (especificamente, a cor verdadeira, tendo em vista que, há também a cor aparente, devida à reflexão de corpos presentes na água, separáveis por centrifugação) deve-se principalmente à presença de substâncias químicas provenientes da degradação da matéria orgânica (folhas e plantas aquáticas com as quais a água tenha estado em contato) (VIANNA, 2006). A Figura 3.3 mostra a caracterização dos sólidos presentes na água conforme o tamanho das partículas.

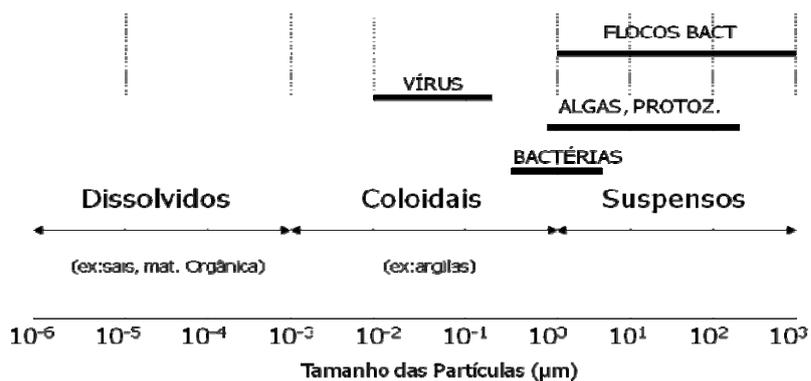


Figura 3.3 - Classificação e distribuição dos sólidos na água em função do tamanho. Fonte: adaptado de Libânio (2005)

Alguns fatores dificultam a aglutinação das partículas coloidais. Os colóides são estáveis em meio aquoso em razão de sua capacidade de hidratação ou da carga eletrostática de sua superfície (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

O modelo de formação de uma espécie de dupla capa ou dupla camada de cargas positivas ao redor do colóide (Figura 3.4), atraídas pelas cargas negativas dessas partículas é descrito nos trabalhos de Di Bernardo e Dantas (2005), Libânio (2005) e Vianna (2006).

Os autores citados acima descrevem que para a desestabilização das partículas com sulfato de alumínio, é necessário que os produtos resultantes da dissociação do sulfato de alumínio - positivamente carregados - sejam adicionados à água em local de intensa dissipação de energia na massa líquida (Gradiente de mistura rápida) (ver Figura 3.4).

As partículas coloidais, substância húmicas e microorganismos, em geral, apresentam-se com carga negativa na água impedindo a aproximação das mesmas. Para a remoção dessas impurezas, se faz necessário alterar a força iônica do meio (desestabilização das partículas), o que, no tratamento de água, é feito, principalmente, pela adição de sais de alumínio ou de ferro ou de polímeros sintéticos ou de vegetais catiônicos, caracterizando o processo de coagulação, Figura 3.4 (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Piveli e Kato (2005), afirmam que os coagulantes necessitam ter propriedades desejáveis, como as capacidades de reagir com álcalis e produzir compostos floculentos, e de produzir em solução cátions metálicos de grande poder de redução do potencial eletrostático, manifestado pelas partículas coloidais. Além disso, precisam apresentar baixo custo e facilidade de obtenção, não podendo também trazer prejuízos para a saúde pública.

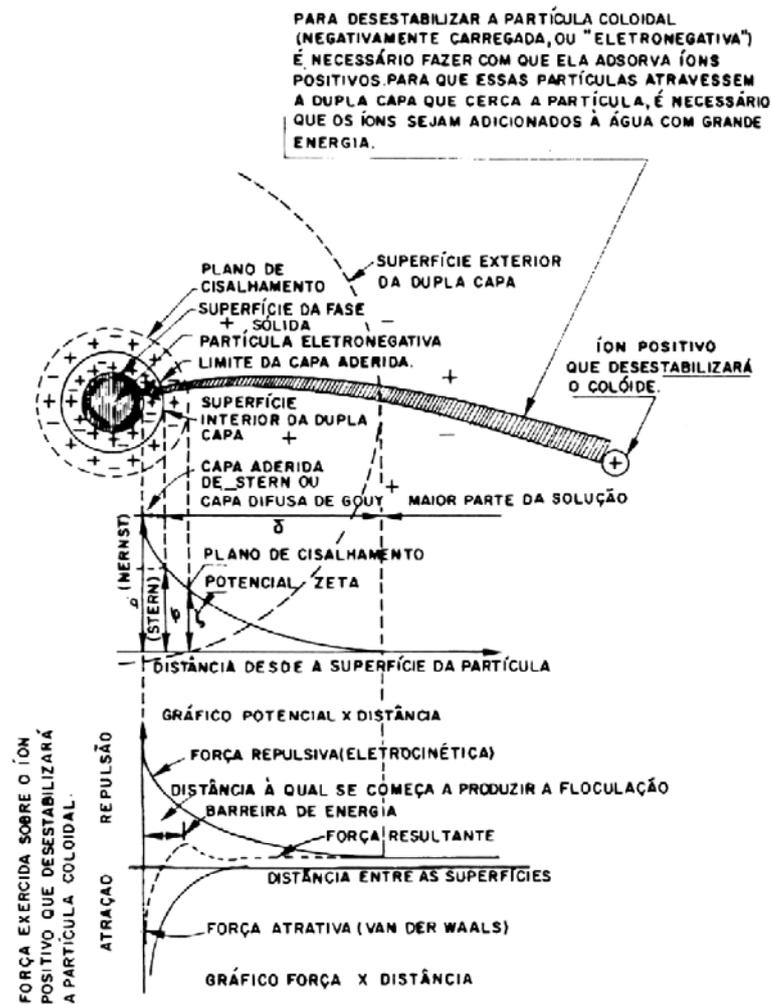


Figura 3.4 - Esquema de uma partícula coloidal com dupla camada em meio aquoso. Fonte: VIANNA (2006).

O sulfato de alumínio é um dos coagulantes mais empregados por apresentar baixo custo, ser fácil de transportar e por ser produzido em diversas regiões brasileiras. Em condições normais, sua aplicação é mais eficiente na faixa de pH de 5 a 8 (PIVELI; KATO, 2005).

Atualmente, considera-se a coagulação como o resultado individual ou combinado da ação de quatro mecanismos distintos: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização, varredura, adsorção e formação de pontes (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE FILHO, 2002). Estes mecanismos foram descritos também por Libânio (2005), Piveli e Kato (2005) e Vianna (2006).

Quando o sulfato de alumínio é adicionado à água, ele se dissocia conforme indica a equação (1) a seguir:



Imediatamente após, o íon Al^{3+} é hidratado, coordenando seis moléculas de água e formando o íon $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{+3}$. Esse íon pode então formar diversos produtos, alguns dos quais, das mais simples formas, são complexos monoméricos e diméricos, em que ligações coordenadas ocorrem com o íon hidroxila (OH^-), que passam a substituir as moléculas de água (H_2O). Estes produtos de dissociação têm curto tempo de vida, inferior a um segundo para a maioria deles.

Nestas condições, a adsorção desses produtos pela superfície dos colóides somente ocorrerá durante curto intervalo de tempo. Um desses produtos, o hidróxido de alumínio ($\text{Al}(\text{OH})_3$), é neutro e, nas condições usuais, apresenta-se insolúvel sob forma de um pequeno floco gelatinoso precipitável. Nas condições de pH que prevalecem usualmente nas unidades de mistura rápida e floculação, decorridos alguns segundos, os diversos produtos tendem a se transformar nesse composto.

A seguir são descritos os mecanismos de desestabilização por adsorção e varredura:

O processo que desestabiliza os colóides através da adsorção, em sua superfície, de produtos do alumínio, de carga oposta, é denominado desestabilização por adsorção e neutralização (Figura 3.5).

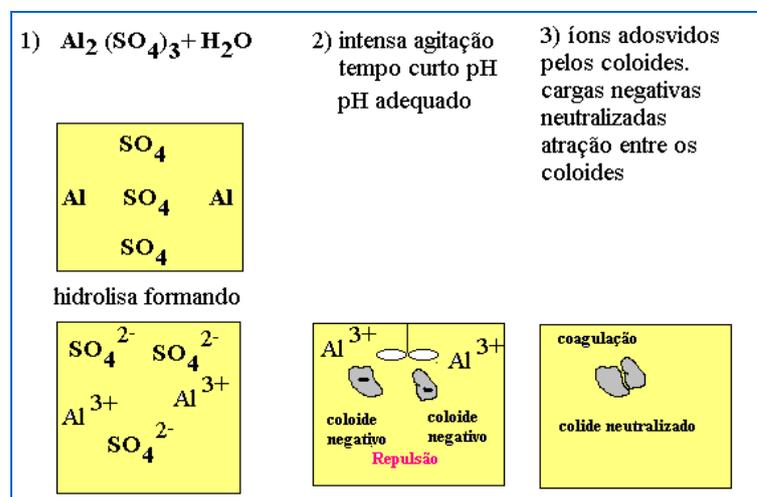


Figura 3.5 - Mecanismo de desestabilização das partículas por adsorção e neutralização com sulfato de alumínio. Fonte: adaptado de Vianna (2006)

O processo que desestabiliza os colóides através da saturação da água em tratamento com o gel hidróxido de alumínio, e arraste dos colóides aprisionados nesse gel, denomina-se desestabilização por varredura (Figura 3.6).

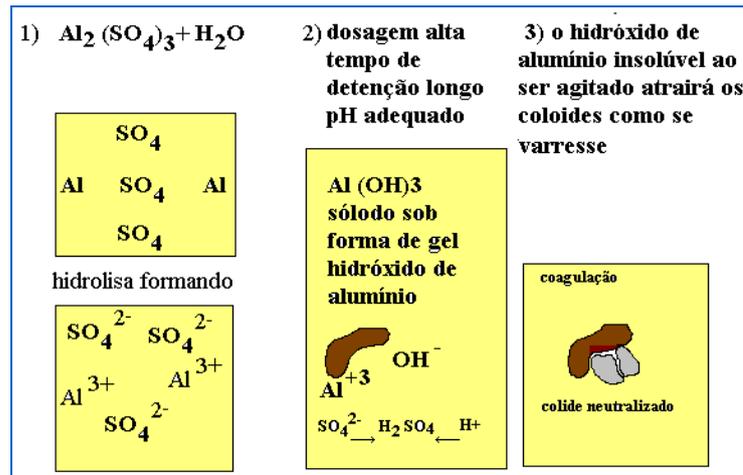


Figura 3.6 - Mecanismo de desestabilização das partículas por varredura com sulfato de alumínio. Fonte: adaptado de Vianna (2006)

O trabalho de Amirtharajah e Mills, referenciado por Di Bernardo e Dantas (2005), Libânio (2005) e Vianna (2006), apresenta o diagrama da Figura 3.7, onde aparecem representadas as linhas correspondentes às concentrações de saturação dos produtos de hidrólise considerados mais importantes, e são discutidas a seguir:

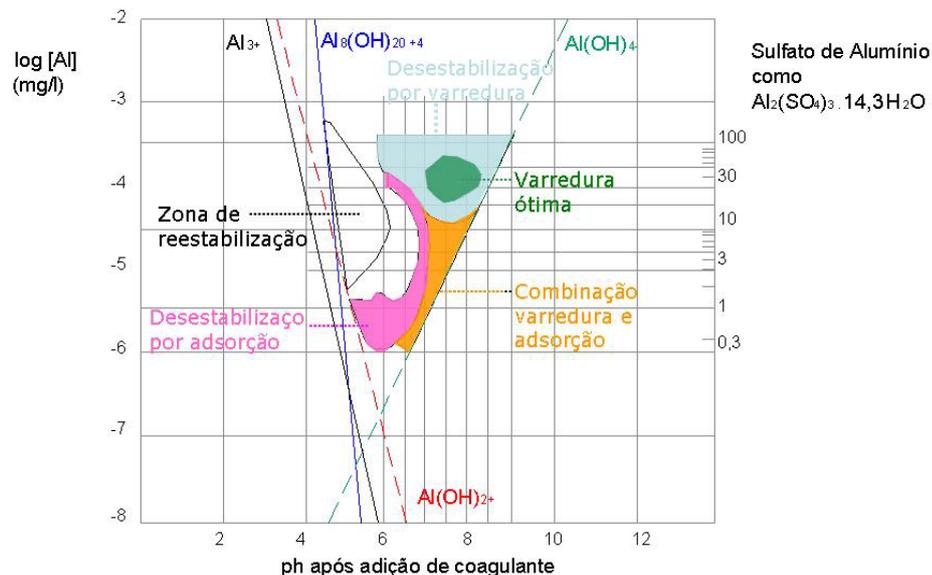


Figura 3.7 - Diagrama para projeto e operação utilizando sulfato de alumínio proposto por Amirtharajah e Mills. Fonte: Vianna (2006).

A região onde se consegue desestabilizar por adsorção os colóides presentes na água as dosagens de sulfato de alumínio a empregar são baixas, inferiores a 2 mg/L de $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14,3H_2O$. O pH da água, após a adição do sulfato, oscila entre o mínimo de 5,0 e o máximo de 7,0.

A região ou zona de re-estabilização dos colóides, é a região onde as cargas positivas adsorvidas em excesso pelo colóide, anteriormente negativo, podem reverter sua carga, reestabilizando-o como partícula positiva.

A região onde os colóides são desestabilizados por varredura, isto é, onde o gel hidróxido de alumínio adsorve os colóides presentes na água bruta. Esta é a região onde o trabalho é realizado com maior facilidade, pois a faixa correspondente do pH da água após a adição do sulfato de alumínio é bem mais ampla: de 5,8 a 9,2. Por outro lado, as dosagens de sulfato necessárias são superiores a 15 miligramas por litro.

Vianna (2006) alega que a possibilidade de utilização de um dos mecanismos anteriores no tratamento da água depende não só da sua qualidade, mas também do tipo de instalação de tratamento que se tem nas mãos, e da habilidade do operador.

3.3 O EMPREGO DO CLORO COMO DESINFETANTE.

A avaliação da eficiência da cloração da água filtrada é feita através da determinação do número mais provável (NMP) de organismos coliformes, por eles serem organismos resistentes. Caso não sejam encontrados coliformes na água filtrada, há uma indicação de que os organismos patogênicos, porventura existentes, tenham sido eliminados. Entretanto, deve-se ressaltar que existem espécies muito resistentes à ação do cloro, capazes de superar a resistência dos coliformes (VIANNA, 2006).

Transcreve-se a seguir, o exposto do professor Azevedo Netto (referenciado e complementado por Libânio (2005); Di Bernardo e Dantas (2005); Vianna (2006); Piveli e Kato (2005)), a respeito da ação do cloro durante o tratamento da água.

O cloro combina-se com a água e com as impurezas presentes, para formar vários compostos. Algumas substâncias formadas são muito ativas (bactericidas), outras são desinfetantes mais fracos, formando-se, ainda, compostos inativos.

O cloro gasoso dissolvido com água pura (ou suficientemente pura) reage completamente para formar ácido hipocloroso: (HClO): $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HClO}^- + \text{HCl}$, - equação 3.2

Por sua vez, se dissocia em: $\text{HOCl} \leftrightarrow \text{ClO}^- + \text{H}^+$ - equação 3.3

A extensão dessa dissociação dependerá do pH da água:

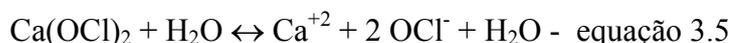
- pH = 5: apresenta-se apenas HOCl (OCl ausente);

- pH = 9: apresenta-se cerca de 4% de HOCl e 96% de ClO⁻.

Em determinadas condições, ClO⁻ é apenas cerca de 2% de bactericida quanto o HCIO.

O pH é um fator muito importante na cloração das águas e que a desinfecção é mais eficiente em pH baixo.

Segundo Piveli, (2006), em pequenas estações tratamento de água (ETA) é preferível o uso do cloro em solução do que o cloro puro, evitando-se o manuseio dos cilindros contendo o gás sob pressão e os riscos de acidentes nos sistemas de dosagem. O hipoclorito de sódio e o de cálcio são utilizados nestes casos e tem-se as seguintes reações:



Do cloro aplicado, ou cloro dosado na água, parte é consumida, satisfazendo a sua ação oxidante, o que é chamado cloro consumido ou demanda de cloro, e parte permanece como residual. Define-se cloro residual livre como sendo o cloro presente na água, após a ação oxidante na ETA, nas formas do ácido hipocloroso ou do íon hipoclorito.

O cloro combinado é menos ativo como desinfetante que o cloro livre. Para um determinado tempo de contato, a um pH 8,5, onde mais de 85% do ácido hipocloroso acha-se dissociado, a dosagem de cloro combinado deve ser pelo menos 25 vezes que o cloro livre, para o mesmo efeito germicida.

Na presença de amônia, a adição de quantidades crescentes de cloro produz residuais semelhantes aos apresentados na curva de cloro residual Figura 3.8. A forma desta curva depende de como o cloro reage com a amônia. O ponto da curva no qual toda a amônia já reagiu com o cloro e começa a aparecer residual de cloro livre, é denominado de ponto de quebra ou “break-point”.

Entre os pontos A e B são formados cloraminas: monocloramina (NH₂Cl), dicloramina (NHCl₂) e cloraminas complexas. Estas últimas em pequena quantidade, sendo, por isto, desprezadas nas considerações. A proporção de cada uma delas depende do pH, conforme descrito nos tópicos abaixo:

- pH 5= 16% NH₂Cl; 84% NHCl₂;
- pH 7= 65% NH₂Cl; 35% NHCl₂; e

- pH 9= 94% NH_2Cl ; 6% NHCl_2 .

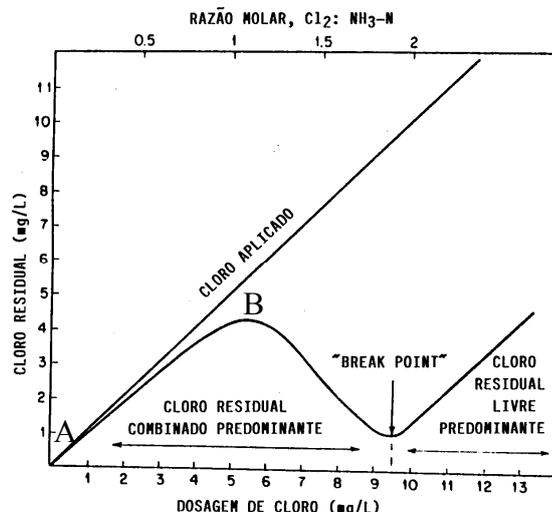


Figura 3.8 - Curva de cloro residual mostrando um "break-point" típico. Conteúdo de nitrogênio amoniacal na água, 1,0 mg/L. Fonte: CETESB Piveli e Kato (2006).

Entre os pontos B e "break-point" as cloroaminas são decompostas pelo cloro em excesso, produzindo compostos que não são detectados como cloro residual, resultando em um declínio no residual de cloro, até um valor mínimo correspondente ao "break point".

A partir daí, qualquer adição de cloro produzirá um residual de cloro livre proporcional à dosagem que se aplique.

Azevedo Neto recomenda as dosagens, período de contato e residuais mínimos apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Tipo de cloração, dosagem de cloro, períodos de contato, pH e residuais mínimos recomendadas por Azevedo Neto.

Tipo de Cloração	Dosagem de Cloro (mg/L)	Período de contato	pH	Residual mínimo (mg/L)
Residual combinado disponível	1-5	3 horas	< 7	2,0
Residual livre	1-10	20 min	<9	0,2
<i>Break point</i> (1)	$10 \times (\text{NH}^3 \text{ como N})$	30 min	6,5-8,5	0,2
Monocloraminas	$10 \times (\text{NH}^3 \text{ como N})$	20 min	<8,5	0,1
Dicloraminas	$10 \times (\text{NH}^3 \text{ como N})$	20 min	4,4-5,0	1,0

(1) Trata-se de um tipo de cloração em doses elevadas, em que todo a amônia presente é convertida em tricloramina: a partir daí, todo o cloro aplicado à água permanecerá sob forma de cloro residual livre.

Libânio (2005) descreveu que a eficiência da desinfecção consiste no conjunto das características do desinfetante, da água, do tipo de microorganismo a ser inativado e da

instalação na qual o processo realizar-se-á. Esta última influência na eficiência em função do tempo de contato, da dosagem aplicada e da homogeneidade da dispersão do desinfetante na massa líquida.

A Portaria MS 518/04 recomenda um tempo de detenção mínimo de 30min para desinfecção com compostos de cloro em pH inferior a 8,0, sendo o valor máximo permitido de concentração de cloro livre igual a 5mg//L na saída do tratamento.

3.4 O EMPREGO DO CLORO COMO OXIDANTE.

A oxidação química é utilizada para a remoção de matéria orgânica e como agente de desinfecção em estações de tratamento de água (ETA's) e nos tratamentos de águas residuárias industriais. Muitas ETA's utilizam o cloro gasoso ou seus derivados (hipoclorito de sódio ou hipoclorito de cálcio) como agente oxidante na pré-oxidação devido ao seu baixo custo, alto poder oxidante e eficiência na remoção de cor, ferro e manganês, assim como têm sido efetivo na redução de sabor e odor da água. Essa prática tem sofrido questionamento quando o cloro é utilizado em águas com presença de substâncias húmicas e algas, devido à possibilidade de formação de subprodutos (compostos halogenados) formados durante a cloração (PIVELI; KATO, 2005).

Essa ambigüidade em relação ao uso do cloro como oxidante, tem provado uma aparente contradição no meio científico. Enquanto o uso reduzido do desinfetante é encorajado para um limite de formação de subprodutos, a preocupação em torno de doenças mais resistentes da água desencoraja a redução da concentração do cloro (BRYANT, 1992). Para essa questão, deve-se encontrar uma condição ótima para que haja pequena formação de subprodutos de desinfecção e, ao mesmo tempo seja possível controlar doenças infecciosas de veiculação hídrica.

(WHITE, 2003) afirma que a formação dos subprodutos é altamente dependente da concentração de matéria orgânica natural (MON), porém, existem muitos outros fatores que podem contribuir para a formação dos subprodutos, como: a composição da MON, o método utilizado para o tratamento de água, temperatura e pH do meio. De acordo com Meyer (1994), a reatividade do cloro diminui com o aumento do pH, e sua velocidade de reação aumenta com o aumento da temperatura. Alguns compostos orgânicos reagem rapidamente com o cloro, porém, para a maioria dos compostos orgânicos a reação com o cloro é lenta, podendo levar horas até que seja completada, motivo pelo qual deve ser investigado, além da análise

instantânea de trialometanos totais (formação até 24h), o potencial de formação desses compostos em longo prazo, adotando para 7 dias segundo APHA (2000).

3.5 A FORMAÇÃO E OS RISCOS ASSOCIADOS À PRESENÇA DE TRIALOMETANOS EM ÁGUAS DE ABASTECIMENTO.

De acordo com Meyer (1994), apesar das estruturas dos ácidos húmicos ainda não serem completamente conhecidas, a maioria desses ácidos contém radicais cetona, que podem causar a formação de halofórmios após a reação com o cloro. A reação entre a matéria orgânica e o cloro pode ser observada na figura 3.9. A presença do cloro e bromo na água gera uma competição na substituição do hidrogênio do carbono ativo da matéria orgânica, gerando os compostos halogenados (TOMINGA; MIDIO,1999)

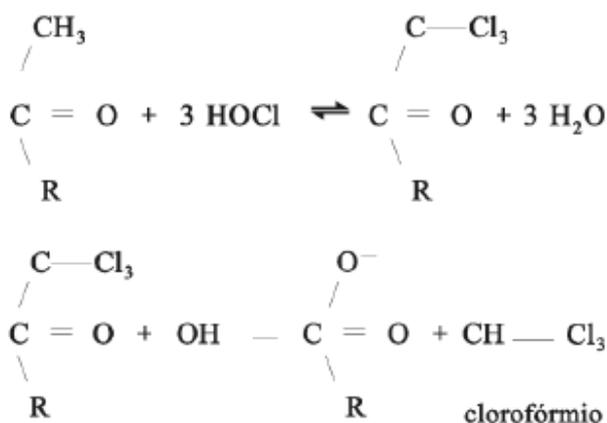


Figura 3.9 - Reação da Matéria Orgânica e cloro livre. Fonte: Van Bremem citado por Meyer (1994)

Além da formação do clorofórmio, como mostrado na figura, existe a possibilidade de formação de outros compostos que também se encaixam na denominação "trialometanos". A figura 3.2 mostra as possíveis estruturas de serem formadas, sendo que as quatro primeiras: clorofórmio (CHCl₃), bromodichlorometano (CHBrCl₂), dibromoclorometano (CHBr₂Cl), e bromofórmio (CHBr₃) são as estruturas mais importantes para o estudo de trialometanos, devido à frequência desses compostos ser maior do que a das outras estruturas formadas.

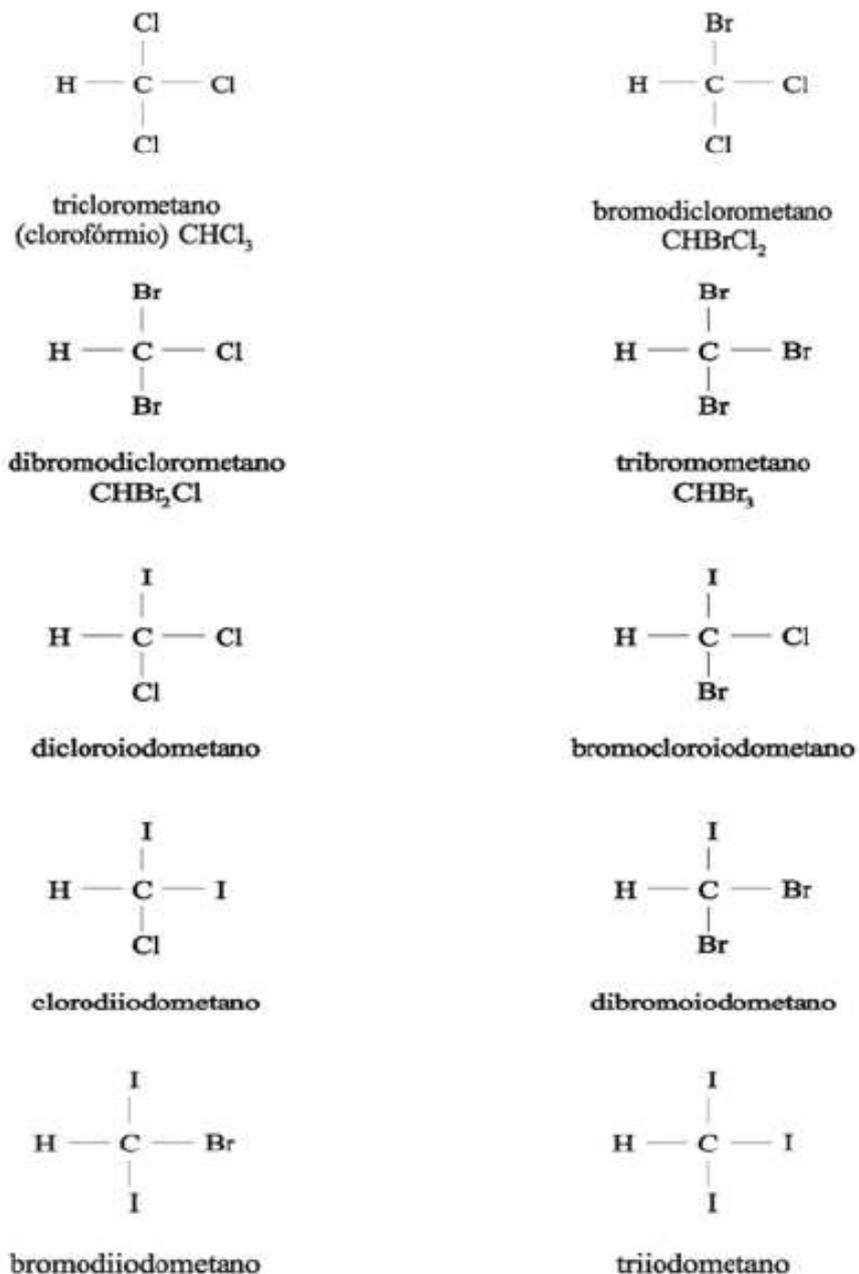


Figura 3.10 - Possíveis estruturas de trialometanos (Meyer,1994)

Os fatores que influenciam a reação de formação de trialometanos são: o tempo de contato, pH, temperatura, concentração de brometo e iodeto, concentração de cloro, a concentração e as características estruturais dos precursores (Meyer, 1994).

Em seu trabalho Rosalém (2007) levantou vários fatores que influenciam na formação dos compostos trialometanos:

- Em relação ao tempo de contato, a reação de formação de trialometanos, nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP), não ocorrem instantaneamente. Quanto maior o tempo de contato entre o cloro e o material precursor, maior será a probabilidade de formação de THM.
- O aumento da temperatura e do pH do meio favorece o aumento da formação de trialometanos devido à ação catalítica sobre o halofórmio.
- Os brometos e iodetos presentes na água tratada podem participar da reação de formação de trialometanos, porque, o cloro oxida os íons transformando-os em espécies capazes de participar da reação. O bromo reage primeiro que o cloro com os compostos orgânicos, mesmo que o cloro este esteja em excesso no meio.
- Outra característica importante para a formação dos trialometanos é a concentração das substâncias húmicas no meio, pois quanto maior, maior será a formação de THM. A matriz da matéria orgânica também influencia na formação de THM. Quanto maior a concentração de cloro no meio, maior será a chance de formar trialometanos. A forma que o cloro se apresenta também interfere: o cloro livre possui maior poder de oxidação.

Segundo Borges (2003), o Instituto Americano de Pesquisas do Câncer publicou em 1976 uma reportagem relacionando o clorofórmio à presença de câncer em animais de laboratório. Desde então, estudos epidemiológicos têm sido realizados para levantar os riscos à população, correlacionando a água clorada com a incidência de câncer da bexiga, colo e reto.

Tominga e Midio (1999) em sua revisão bibliográfica do período de 1974 a 1998 descreveram os potenciais toxicológicos dos compostos trialometanos, sendo os de maior importância: efeitos tóxicos carcinogênicos, mutagênicos e teratogênicos. Neste trabalho os autores concluíram que devido à complexibilidade de formação desses compostos é difícil estabelecer concentrações consideradas seguras. Vários trabalhos são realizados buscando levantar os efeitos dos trialometanos na saúde pública como Backer e outros (2000) que analisaram concentrações de trialometanos em sangue humano após a exposição através da ingestão e da inalação durante banho com duração de 10 minutos, e Silva e outros (1999) com o trabalho de análise do efeito residual de trialometanos em sangue de ratos após a injeção de concentrações desses compostos na corrente sanguínea.

Tabela 3.3 - Valores recomendados e valores máximos permitidos para produtos químicos usados no tratamento de água e sub-produtos da desinfecção

Desinfetantes	Valores Recomendados (mg/L) ^a	Portaria MS 518/2004 VMP (em mg/L)
Cloro	5C	5 ⁽¹⁾
Monocloramina	3	3
Sub-produtos da desinfecção	Valores Recomendados (µg/L) ^a	Portaria MS 518/2004 (em mg/L)
Bromato	10 ^b (A, T)	0,025
Bromodiclorometano	60	
Bromofórmio	100	
Clorofórmio	200	
Dibromoclorometano	100	
Trihalometanos		0,1

(1): Cloro na forma livre. Análise exigida de acordo com o desinfetante utilizado.

VMP valor máximo permitido

^a P : valores recomendados provisoriamente, com evidências de perigo, no entanto, a informação disponível sobre os efeitos na saúde humana é limitada; A : valor provisionado porque o valor calculado recomendado está abaixo do nível de quantificação prática; C : concentrações dessa substância, mesmo abaixo do limite recomendado, pode afetar a aparência e causar problemas de gosto e odor; T : valor provisionado porque o valor calculado recomendado está abaixo do nível que pode ser alcançado através de métodos de tratamento práticos, controle da fonte, etc.

Fonte: adaptado de WHO (2004) por PÁDUA (2006)

Segundo Ferreira Filho (2001), em função dos estudos epidemiológicos e toxicológicos desenvolvidos pela Environmental Protection Agency (EPA), em 1979 foi proposto o limite máximo de concentração de 100 µg/L para os THM's e, atualmente, este encontra-se limitado a 80 µg/L sendo que, espera-se uma redução futura para uma concentração de 40 µg/L.

3.6 MATÉRIA ORGÂNICA NATURAL COMO PERCUSORES DA FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS

A matéria orgânica natural (MON) encontrada em rios é uma complexa mistura de compostos orgânicos, denominadas de substâncias húmicas e não húmicas. Portanto, são compostos naturais que surgem da degradação química e biológica, de resíduos de plantas e animais e de atividade microbiana.

A formação de subprodutos dos processos de oxidação aumenta com aumento da matéria orgânica de origem natural (ABOUD EISH; WELLS, 2006) e (WHITE, 2003). Pádua (2006) confirma que a MON é o principal precursor de subprodutos da cloração, sendo que a concentração desses subprodutos é diretamente proporcional à de MON. A natureza do material orgânico depende da vegetação na bacia hidrográfica e das espécies de alga e microalgas presentes na água.

O carbono orgânico total – COT e a absorvância em radiação ultravioleta têm sido empregados como parâmetros da medida indireta da concentração dos precursores de subprodutos da cloração (PÁDUA, 2006). No estudo de Edzwald, Becker e Wattier (1985), os autores correlacionaram Absorvância UV com COT e potencial de formação de trialometanos, verificando que a absorvância UV 254nm é um excelente estimador de matéria orgânica e substâncias húmicas em águas de rios e reservatórios com cor alta. O trabalho de Ferreira Filho (2001) corrobora com essa afirmação.

Em função da qualidade da água e da tecnologia de tratamento empregada, coagulantes como sulfato de alumínio, cloreto férrico, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico e hidroxicloreto de alumínio (cloreto de polialumínio) têm sido efetivos na remoção de MON, microalgas, cianobactérias e toxinas, considerados os principais precursores de formação de subprodutos da cloração (PÁDUA, 2006).

3.7 AS ALGAS NAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA E SUAS IMPLICAÇÕES NA FORMAÇÃO DOS TRIALOMETANOS.

Como já citado, a presença de populações algais nos reservatórios torna mais problemática a operacionalidade dos sistemas de tratamento e podem causar impactos negativos na qualidade das águas distribuídas ao gerar sabores e odores na água e interferir no processo de clarificação (DI BERNARDO, 1995).

Branco (1986) descreve os problemas das algas em relação às águas de abastecimento e operação das estações de tratamento de água:

- Casos de lesões micóticas humana pulmonares e peri-renais em associação do gêneros *Chlorella* ou *Chlorococcum* com fungos parasitas;
- Toxicidade nas águas doce devido às cianobactérias, principalmente os gêneros *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Coelosphaerium*, *Gloeotrichia*, *Nodularia* e *Nostoc*;
- Os ácidos graxos presentes nas células são os principais causadores de gosto e odor nas águas de abastecimento. Como os compostos odoríferos estão no interior das células, a produção de odor é muito mais intensa quando acontece a lise da célula, naturalmente por declínio populacional ou por ação mecânica. Algas que apresentam

odores relativamente aceitáveis em baixas concentrações quando em alto número e ou em decomposição apresentam cheiro característico de esgoto séptico ou de peixe;

- Muitas algas apresentam sabor intensificado pela aplicação de cloro decorrente da formação de clorofenóis;
- Quando em elevada concentração, comportando-se como partículas em suspensão, constituem fator diretamente responsável pela turbidez e cor aparente da água;
- Podem causar interferências indiretas na cor e turbidez através de distúrbios que provocam na floculação e decantação. Especialmente as modificações de pH, onde sob luz, realizam a fotossíntese e retiram gás carbônico do meio, elevando o pH podendo atingir valores altos (10) e na falta de luz (a noite) o efeito é contrário, há com a diminuição do pH. Esta oscilação causa dificuldades na operação, e nas dosagens dos produtos;
- Elevadas concentrações de algas, induz a formação de flocos fracos e sendo necessários maiores dosagens de coagulante; e
- Principalmente em filtros com leito filtrante expostos à luz, as algas retidas na areia proliferam-se formando uma camada biológica com outros microrganismos associados (fungos, bactérias, protozoários, etc...) e outras impurezas. No caso dos filtros rápidos, esta camada diminui a velocidade de escoamento, sendo necessário um menor intervalo entre as lavagens e um menor tempo de troca da areia do leito filtrante, resultando em maior gasto na produção e dificuldades na operação.

Além disto, uma das grandes preocupações ambientais e de saúde pública em lagos e represas são as florações de algas e cianobactérias produtoras de toxinas. Essas florações vêm acontecendo frequentemente no Brasil normalmente associadas a época de elevadas temperaturas e ou chuvas (BORGES, 2003)

A Portaria MS 518/05 contempla a problemática das cianobactérias, exigindo monitoramento da ocorrência e densidade de cianobactérias na água bruta e tratada e análise de concentrações de cianotoxinas, estabelecendo limites máximos de concentração aceitáveis. O monitoramento de cianobactérias na água do manancial, no ponto de captação, deve obedecer a frequência mensal quando o número de cianobactérias não exceder 10.000 células /mL, ou semanal, quando o número de cianobactérias exceder esse valor e quando exceder 20.000 células / mL. Durante o monitoramento, é exigida a análise semanal de cianotoxinas na água de saída do

tratamento e nas entradas (hidrômetros das clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis), sendo que essa análise pode ser dispensada quando não houver comprovação de toxicidade na água bruta por meio da realização semanal de bioensaios em camundongos.

Segundo Di Bernardo (1995), algumas espécies de algas e cianobactérias produzem produtos metabólicos que conferem sabor e odor à água, que podem ser tóxicos ao ser humano e ser precursores da formação de compostos organo-clorados. Este fato foi confirmado pelos autores do PROSAB 5 (PÁDUA, 2009) que afirmam que a matéria orgânica natural - MON, as algas/microalgas e as cianobactérias e seus metabólitos, inclusive suas toxinas, são os principais precursores com os quais os halogênios reagem podendo formar quantidades expressivas desses subprodutos.

Em sua revisão bibliográfica Borges (2003), afirma que são vastos os trabalhos de florações de algas e eventos de contaminação por cianotoxinas, porém são poucos os trabalhos que fazem correlação entre a cloração das algas (florações) e a formação de subprodutos organoclorados.

A absorção em 665 nm é um indicativo da biomassa algal na água bruta, isto é, absorção em 665nm é proporcional à cor formada pela presença de algas na amostra, quanto maior a densidade algal, maior a absorção (BORGES, 2003), (CENTURIONE FILHO; DI BERNARDO, 2001).

3.8 O EMPREGO DA FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO - FAD.

Flotação é uma técnica de separação de misturas que consiste na introdução de bolhas de ar a uma suspensão de partículas. Com isso, verifica-se que as partículas aderem às bolhas, formando uma espuma que pode ser removida da solução e separando seus componentes de maneira efetiva. O importante nesse processo é que ele representa exatamente o inverso daquele que deveria ocorrer espontaneamente: a sedimentação das partículas. A ocorrência do fenômeno se deve à tensão superficial do meio de dispersão e ao ângulo de contato formado entre as bolhas e as partículas (DESOUZA et al., 2003).

Segundo Di Bernardo e Dantas (2005), as três principais etapas consideradas limitantes no controle das taxas de flotação, apresentadas na Figura 3.11, são: geração/ introdução de bolhas de gás no sistema, contato dos agregados e as bolhas de gás e a ascensão dos mesmos.

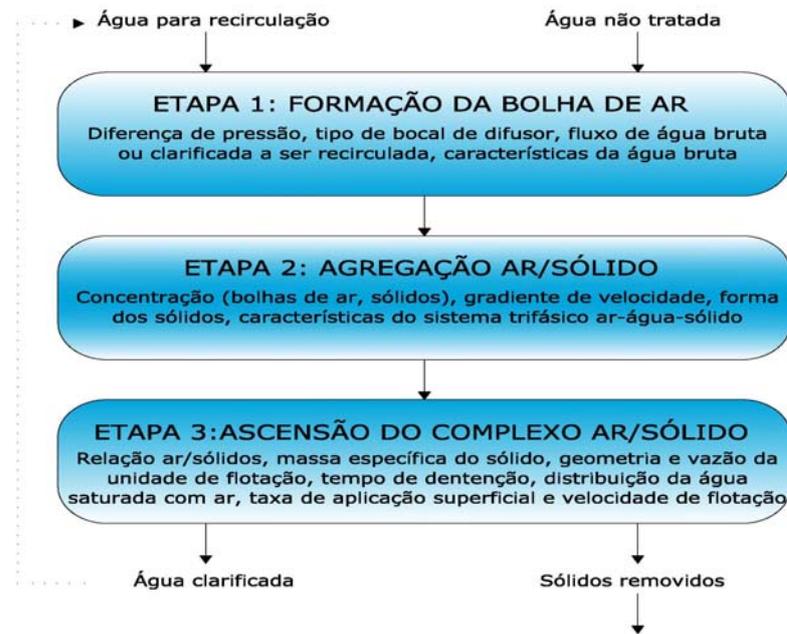


Figura 3.11 - Fluxograma com as etapas de flotação em FAD. Fonte: Di Bernardo, Di Bernardo (2005).

A formação de bolhas no sistema é realizada por meio da saturação com ar do aflente em câmaras de pressurização e posterior redução da pressão destas (normalmente de 4 ou 6 atm) à pressão atmosférica (HANN, 1982, citado por DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Segundo Hahn (1982), citado por Di Bernardo e Dantas (2005), a formação de agregado estável entre uma ou mais bolhas de gás e uma partícula ou floco, requer a colisão entre ambos e a subsequente aderência permanente entre as fases gasosas e sólidas. Os mecanismos de contato entre as bolhas de ar e as partículas podem resultar das seguintes ações:

- a) colisão da bolha com a partícula decorrente da turbulência ou da atração entre ambas e aderência;
- b) aprisionamento das bolhas nos flocos ou contato entre flocos sedimentáveis e bolhas de ar em ascensão; e
- c) crescimento das bolhas de ar entre os flocos.

Segundo Hahn (1982), citado por Di Bernardo e Dantas (2005), a aderência ou contato permanente entre partículas (flocos) e as bolhas de gás depende das forças resultantes da interface gás-água-sólidos, as quais resultam das forças físicas de atração e físico-químicas de repulsão presentes. Na Figura 3.12 temos a demonstração de hipóteses da formação das bolhas aderidas aos flocos.

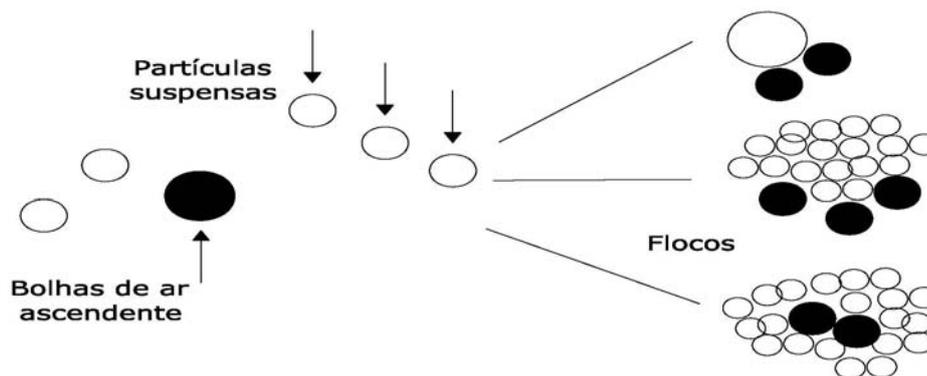


Figura 3.12 - Ilustração da agregação das bolhas de ar aos flocos. Fonte: Adaptado de: Di Bernardo e Dantas (2005).

O tamanho das bolhas de ar é muito importante na flotação, pois bolhas pequenas, além de apresentarem maior superfície específica para uma mesma quantidade de ar, necessitam deslocar menor quantidade de água da superfície das partículas onde vão aderir. Há relação entre o diâmetro médio da bolha e a pressão de saturação, sendo que, em geral, o diâmetro da bolha é maior quanto menor for a pressão, dependendo do tipo de difusor (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A flotação por ar dissolvido segundo Centurione Filho e Di Bernardo (2002) além de ser considerada uma alternativa à sedimentação é também um sistema de clarificação que melhora a filtração. Considerando o processo de flotação, este possui várias vantagens sobre a sedimentação por gravidade, destacando-se: possibilidade de produção de água de melhor qualidade; operação em taxas de aplicação mais altas, resultando em estações de tratamento de água (ETA) mais compactas; início de operação mais rápido; concentração de sólidos no lodo é significativamente superior à produzida na sedimentação e menor tempo de detenção em uma ETA.

Sua aplicação no tratamento de água para abastecimento doméstico é recente, década de 1960 na Suécia e África do Sul (RICHTER, 2001). Sendo hoje utilizado em larga escala naqueles países, bem como na Holanda, Reino Unido, Ásia e Austrália (FUNASA, 2007b).

De acordo com a FUNASA (2007b), tem-se implantado nos últimos anos em diversas cidades do Brasil, o sistema de flotação por ar dissolvido com intuito de melhorar a qualidade da água a ser tratada e também para remover algas fitoplanctônicas, especialmente cianobactérias, freqüentes em mananciais de abastecimento.

Os florescimentos de algas nos mananciais podem comprometer seriamente o desempenho das estações de tratamento de água que utilizam o processo de clarificação com decantação ou filtração direta. O comprometimento pode ser tanto pela redução da vazão da água tratada,

quanto pelo aumento do consumo de água de lavagem dos filtros já que os flocos podem flotar no decantador e provocar a colmatação dos filtros, além de gerar sabores e odores na água (DI BERNARDO, 1995).

O processo de clarificação utilizando o sistema de flotação tem sido recentemente utilizado para remoção de algas, cianobactérias e suas toxinas em substituição ou conjuntamente com os processos de decantação e filtração direta. Perez (2008) apresenta trabalhos cuja aplicação do processo de flotação atingiu da ordem de 86 a 97% de eficiência na remoção de algas principalmente de cianobactérias e seus metabólicos, neste último caso quando associado à pós-oxidação.

No Espírito Santo, a maior concessionária de abastecimento de água Companhia Espírito Santense de Saneamento - CESAN, tem implementado várias estações de tratamento de água com o processo de flotação devido à eutrofização dos mananciais que promove o aumento da turbidez e das florações de algas nos corpos hídricos. Dentre elas estas podemos citar as ETA Meaípe (LOBATO; REALI; FANTININ, 1995), ETA Mantenópolis, (LOBATO; FANTININ; MORESCH, 1997), ETA Engenheiro Mario Petrochi (Carapina) (BOF, 2007) e ETA Duas Bocas (FUNASA, 2007b).

3.9 FILTRAÇÃO DESCENDENTE

A filtração baseia-se na remoção através de um meio poroso, de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes em águas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). Ela pode se realizar de várias formas: com baixa taxa de filtração ($2,5$ a $10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$) para filtros lentos ou com alta taxa de filtração (120 a $600 \text{ m}^3/\text{m}^2 \times \text{dia}$) para filtros rápidos, em meios granulares distintos (areia, antracito, granada ou combinados), com fluxo ascendente ou descendente e com taxa de filtração constante ou taxa de filtração variável (MONDARDO, 2008).

Segundo Di Bernardo; Di Bernardo; Centurione Filho (2002), independentemente da condição de filtração, há a necessidade de, após certo tempo de funcionamento, fazer a lavagem do filtro. A lavagem pode ser feita somente com água ou com ar e água. Segundo Di Bernardo e oitros (2003), a lavagem com ar seguida de água vem sendo empregada com sucesso em filtros de múltiplas camadas e tem se mostrado muito eficaz e econômica, com redução da

quantidade de água de lavagem e conseqüente diminuição de tratamento e manutenção do meio granular em melhor estado.

A retenção de impurezas consiste na conjunção dos mecanismos de transporte e aderência (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE FILHO, 2002). Os primeiros estão relacionados a fenômenos físicos e hidráulicos afetados pelos parâmetros que governam a transferência de massa, enquanto os mecanismos de aderência são influenciados por fenômenos predominantemente químicos como formação de pontes químicas, forças eletrostáticas e de Van der Waals (LIBÂNIO, 2005).

A filtração descendente pode, dependendo da sazonalidade da qualidade da água a ser tratada ser projetada para trabalhar ora com tratamento completo (coagulação, floculação, decantação ou flotação e filtração) ora com filtração direta (DI BERNARDO; DI BERNARDO; CENTURIONE FILHO, 2002).

Dentre os parâmetros responsáveis pela eficiência na remoção de partículas na filtração rápida temos: características das partículas e do meio filtrante, e condições hidráulicas previstas no dimensionamento, envolvendo a carga hidráulica disponível e a taxa de filtração (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Os tipos comuns de materiais usados nos filtros de meio granular são: areia, antracito e granada, podendo ser de camada simples, dupla ou tripla (VIANA, 2006). Libânio (2005), cita que no Brasil são mais utilizados meios filtrantes constituídos de areia, classificados como filtro de areia ou de camada simples. Também se faz uso de filtros de camada dupla com o uso de areia e antracito ou carvão ativado para remoção de odor e sabor de compostos orgânicos. Já em países como os Estados Unidos é comum o uso de filtros com meios triplos, com a inserção de camada de granada ou ilmenita.

A NBR 12216/92 recomenda que tanto a espessura do meio filtrante (areia ou areia e antracito), como as características granulométricas a serem adotadas, devem estar fundamentadas em dados de experimentos em filtros piloto. No caso dos experimentos não terem sido realizados os valores são recomendados pela própria norma.

A taxa de filtração a ser adotada também deve ser determinada por experiências em filtros piloto, operando com a água a ser filtrada, com camada filtrante igual a dos filtros a serem construídos. Esta taxa de acordo com Di Bernardo; Di Bernardo; Centurione Filho (2002), varia consideravelmente, de 120 a 180 m/d nos filtros convencionais de areia até 600 m/d nos filtros de areia uniforme ou de areia e antracito com camada de maior espessura.

3.10 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O reservatório (barramento) Duas Bocas é destinado à conservação e ao abastecimento doméstico de 25% do município de Cariacica-ES. Localiza-se nos limites da Reserva Biológica (REBIO) Duas Bocas (20°18'05"S e 40°28'06"W), distante cerca de 27 Km da capital Vitória (DELAZARI, 2000). A REBIO Duas Bocas abrange uma área de 2.910 ha, com variação altimétrica de 200 a 800m, temperatura média anual variando de 19 a 22°C e apresenta área coberta por floresta ombrófila densa submontana (floresta de mata atlântica) com ampla diversidade biológica. Criada em 1965 como reserva florestal e transformada em biológica em 1991 a REBIO Duas Bocas é uma das mais importantes Unidades de Conservação do Estado.

O reservatório Duas Bocas é abastecido pelos córregos Pannels, Naia-Assú e Pau Amarelo. Apesar da cobertura vegetal e da proteção ambiental existente na REBIO, sua produção de água é baixa (IDAF, 2010). A junção destes córregos forma o rio Duas Bocas, afluente da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria da Vitória.



Figura 3.13 - Vista aérea da represa Duas Bocas, Cariacica-ES. (seta indicando o ponto do barramento)

A Reserva Biológica tem sua história fortemente vinculada à produção de água para abastecimento dos núcleos urbanos (Cariacica e Vitória). No interior da atual REBIO a primeira represa foi inaugurada em 1918. Após a ampliação a área de proteção, uma nova represa para captação de água – Represa de Duas Bocas, foi inaugurada em 1951, pelo Presidente Getúlio Vargas (IDAF, 2010).

A Represa de Duas Bocas foi por vários anos a principal fonte de abastecimento de água da região de Vitória e segundo a CESAN a Estação de Tratamento de Água Duas Bocas localizada a jusante do barramento, é um marco na história local, por registrar a origem do saneamento básico no Espírito Santo.

O reservatório Duas Bocas possui área de 50 ha, profundidade máxima de 10 metros. A vazão máxima regularizada está na ordem de 250L/s, segundo dados da CESAN. Possui comprimento máximo efetivo de 1.607 m e largura máxima efetiva de 654 m.

Os estudos limnológicos no reservatório foram iniciados em 1995, porém destacamos os trabalhos de Delazari (2000) e FUNASA (2007b), os quais avaliaram as características limnológicas da represa através de parâmetros físico-químicos, bem como a comunidade fitoplanctônica de forma quali-quantitativa.

Em Delazari (2000), a comunidade fitoplanctônica foi caracterizada em oito semanas de amostragens, sendo quatro no inverno e quatro no verão, quando foram constatadas densidades elevadas de *Cylindrospermopsis raciborskii*. Apesar de ser um corpo hídrico localizado em área de Mata Atlântica bem preservada, o reservatório Duas Bocas têm apresentado consideráveis concentrações de nutrientes, anoxia nas camadas inferiores da coluna d'água (próximo à torre de captação) e elevada densidade de cianobactérias no verão (DELAZARI, 2000).

No trabalho FUNASA (2007b), os autores estudaram as águas do reservatório Duas Bocas no período de agosto/2003 a junho/2004. As águas apresentaram características de ácida a alcalina com baixa turbidez, e foi observada elevada biodiversidade do fitoplâncton com 82 espécies, porém a variação temporal da densidade de fitoplâncton total estatisticamente não apresentou diferença significativa, com predominância da classe Cyanophyceae em destaque para a cianobactéria *Cylindrospermopsis raciborskii* que apresenta extremo potencial tóxico podendo produzir hepatoxinas e neurotoxinas.



Figura 3.14 - Vista aérea da represa Duas Bocas no ponto do barramento e da ETA Duas Bocas localizada abaixo do barramento. (localização do ponto de tomada de água bruta da ETA)

Segundo FUNASA (2007b), em 1951, apesar de terminada a obra da represa, a água continuava a ser distribuída sem nenhum tratamento, sendo que, somente em 1975 foi inaugurada a Estação de Tratamento de Água (ETA) Duas Bocas apenas com floculadores e decantadores, aplicando-se cloro como agente de desinfecção e cal hidratada como corretivo de pH, devido a água do manancial ser considerada de boa qualidade. Em 1987 a ETA Duas Bocas foi reinaugurada, após ampliação, com a construção de seis filtros autolaváveis, passando a operar como ETA de filtração direta descendente (FDD).

Pavani e outros (2007) descreveram que em 2005 o processo de clarificação da ETA Duas Bocas passou a operar com Flotação por Ar Dissolvido (FAD) seguida de filtração em fluxo descendente, devido à crescente quantidade de algas presentes na água bruta, o que dificultou, consideravelmente, a operação e manutenção do sistema de FDD para atendimento dos padrões de potabilidade da Portaria MS 518/2004. Para a implantação do sistema de FAD, aproveitou-se a estrutura do sistema já existente e construíram-se algumas unidades: 02 (duas) câmaras de floculação, 02 (duas) câmaras de flotação e 03 (três) leitos de secagem para disposição final do lodo produzido, além de instalações próprias de um sistema de flotação, como saturador, elevatória de água de recirculação e central de ar comprimido. Com a

implantação da FAD, a desinfecção passou a ser realizada somente após os filtros, eliminando-se a pré-cloração.

Hoje, segundo informações dos operadores da ETA, a vazão média de produção da ETA é de 120L/s, sendo aplicados de 10 a 18 mg/L de sulfato de alumínio na tubulação de entrada da água bruta, seguindo para os floculadores tipo chicanas verticais. A água floculada segue para os dois tanques de flotação onde após a injeção de ar dissolvido e remoção dos flocos por ascensão, a água flotada recebe aproximadamente 0,8mg/L de cloro aplicados antes da entrada dos filtros de fluxo descendente (inter-cloração). Após a filtração, na entrada do reservatório de 854m³ são aplicados (dosagens médias) cal hidratada para correção do pH, 19mL/L de ácido fluorsilícico e 1,2mg/L de cloro para desinfecção. O cloro aplicado é o cloro-gás.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 PONTO DE COLETA E ARMAZENAMENTO

Para execução dos ensaios e análises, as amostras de água foram coletadas em uma tomada d'água na tubulação da água bruta antes do ponto de entrada da ETA Duas Bocas, localizada abaixo do barramento da represa Duas Bocas na área da ETA (Figura 4.1).

A coleta das amostras para a construção dos diagramas de coagulação foi realizada no período de chuva nos meses de Março, Abril e Maio e no período de seca em Junho, Julho e Agosto no ano de 2009, sendo que para a análise de remoção do fitoplâncton e investigação da formação dos trialometanos as águas foram coletadas nos meses de Maio e Junho do ano de 2010. O referencial pluviométrico foi a estação pluviométrica de Vitória a mais próxima de região (Figura 4.2).



Figura 4.1 - Vista da ETA Duas Bocas e localização do ponto de coleta de água bruta

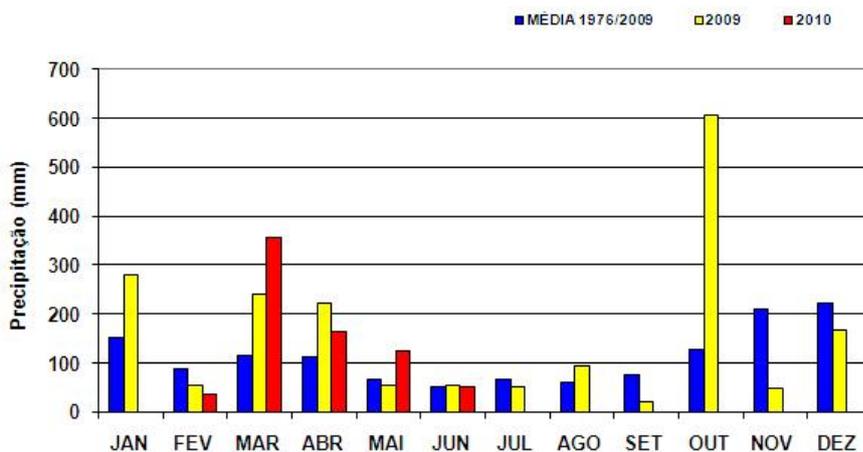


Figura 4.2 - Dados comparativos com a média da série histórica da estação meteorológica localizada no município de Vitória-ES; Coordenadas: LAT: 20,300S LON: 40,317W ALT: 36m Fonte: INCAPER (2010)

A água era coletada em bombonas de plástico e transportada até o laboratório de saneamento LABSAN/UFES e armazenada em tanque de fibra de vidro com tampa evitando aeração e luz excessiva em ambiente a 25°C. Simultaneamente à coleta, adicionou-se 250ml de água bruta em um frasco de vidro âmbar contendo solução de lugol acético a 5% (BICUDO; MENEZEZ, 2006) a fim de fixar e preservar as algas para posterior análise. Para análise de clorofila-a utilizou-se dois porta-filtros para membranas de fibra de vidro Ø 25mm e com o auxílio de uma seringa de 60mL a água bruta foi filtrada sendo anotado o volume filtrado. O frasco âmbar e os filtros foram acondicionados em uma caixa de isopor com gelo e levados ao laboratório.

4.2 ETAPAS DE TRABALHO

O trabalho foi desenvolvido em três etapas (Figura 4.3):

ETAPA 1: Realização de ensaios para definição do diagrama de coagulação para flotação, considerando a remoção de cor aparente, cor real e turbidez para o período de chuvas e para o período seco.

ETAPA 2: Realização de ensaios e réplicas nas condições estabelecidas pelos pontos escolhidos no diagrama de coagulação para estudo de remoção de fitoplâncton em função da variação da velocidade ascensional.

ETAPA 3: Análise da remoção do fitoplâncton e da formação de trialometanos (THM) e do potencial de formação de trialometanos (PTHM) na água bruta e após o tratamento completo

em bancada: Coagulação; Floculação; FAD; com e sem Inter-oxidação; Filtração em areia; Desinfecção, para duas diferentes dosagens de coagulante.

Todas as etapas foram desenvolvidas no laboratório de Saneamento do Departamento de Engenharia Ambiental LABSAN/UFES, sendo que na Etapa 3 as análises do fitoplâncton foram realizadas no laboratório de fitoplâncton do Departamento de Oceanografia e Ecologia LABFITO/UFES e a análise dos trialometas realizada no laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP Ribeirão Preto-SP.

Para a caracterização das águas foram analisados os seguintes parâmetros conforme Tabela 4.1. Todas as soluções utilizadas nos ensaios e análises dos parâmetros foram preparadas com água destilada e deionizada (água_{dd}).

Tabela 4.1 - Parâmetros analisados, método analítico e equipamentos utilizados

Parâmetro	Método	Equipamento	Referência
pH	Potenciométrico	Phmetro Quaxtron modelo 8010	APHA, 2000
Cor Aparente	Espectrofotométrico – DPD 465nm	Espectrofotômetro Amersham Pharmacia Biotech Ultrospec – 10000	APHA, 2000
Cor Real	Membrana 0.45mm Espectrofotométrico – DPD 465nm	Ultrospec – 10000	APHA, 2000
Turbidez	Nefelométrico 2130 B	Turbidímetro HACH 2100P	APHA, 2000
Alcalinidade	Potenciométrico	Phmetro Quaxtron modelo 8010	NBR 13736
Condutividade	Condutométrico	Condutivímetro TECNOPON mCA 150	APHA, 2000
Absorção em UV 254 nm	Espectrofotométrico	Cubeta de 1cm Ultrospec – 10000	APHA, 2000
Absorção em 665 nm	Espectrofotométrico	Cubeta de 1cm Ultrospec – 10000	APHA, 2000
Clorofila a	Extração acetona90% Espectrofotométrico 10200 H	Ultrospec – 10000	APHA, 2000
Nitrogênio Amoniacal	Espectrofotométrico 4500-NO3 B. 420nm	Ultrospec – 10000	APHA, 2000
Nitrato	Espectrofotométrico 4500-NO3 E. Cadmium Reduction 543nm	Ultrospec – 10000	APHA, 2000
Nitrito	Espectrofotométrico 4500-NO2 B. Colorimetric 543nm	Ultrospec – 10000	APHA, 2000
Cloro Livre Residual	Espectrofotométrico 4500-Cl G. DPD Colorimetric 515 nm	Ultrospec – 10000	APHA, 2000
Trialometas Totais (THM)	Método 551.1	CG/EDC	USEPA, 1995
Potencial de Formação de Trialometas (PTHM)	Método 551.1	CG/EDC	USEPA, 1995
Residual de Alumínio	Eriocromocianina 3500- Al B Colorimetric 535 nm	Ultrospec – 10000	APHA, 2000

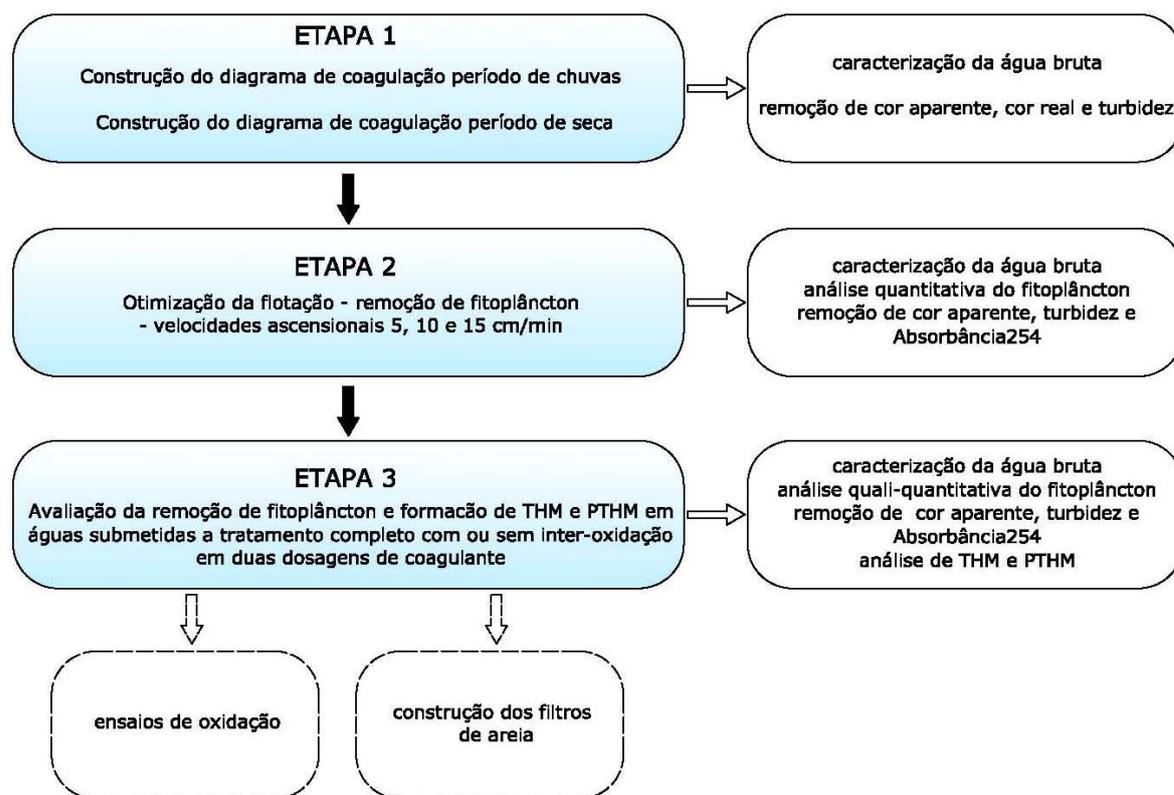


Figura 4.3 - Fluxograma das etapas de trabalho

4.2.1 ETAPA 1: Construção do diagrama de coagulação com remoção de cor aparente, cor real e turbidez.

Os ensaios para construção do diagrama de coagulação com sulfato de alumínio seguiram o proposto por Di Bernardo, Di Bernardo e Centurione Filho (2002). Foram construídos dois diagramas, um para o período de chuvas nos meses de Março, Abril e Maio e outro no período de estiagem Junho, Julho e Agosto no ano de 2009, com pontos caracterizados pela remoção de três parâmetros distintos: cor aparente, cor real e turbidez.

Na ETA Duas Bocas a coagulação com sulfato de alumínio é realizada sem ajuste de pH (indicando mecanismo de adsorção), na construção dos diagramas de coagulação buscou-se otimizar a remoção de cor aparente, cor real e turbidez da água bruta através das melhores dosagens do coagulante e variação do pH. Para tanto, variou-se a dosagem do coagulante de 5 em 5mL/L em uma faixa de pH de 5,5 a 7,5.

Para a coagulação foi utilizado uma solução de sulfato de alumínio $Al_2(SO_4)_3$ a 2% preparada semanalmente a partir da solução líquida comercial (concentração=45,27% e densidade

=1,32), e a correção do pH de coagulação foi feita com alcalinizante hidróxido de sódio NaOH a 1% a partir do produto granular P.A.

Os parâmetros hidráulicos fixados para os ensaios de construção do diagrama de coagulação com sulfato de alumínio estão apresentados na Tabela 4.2:

Tabela 4.2 - Parâmetros aplicados nos ensaios de flotação para a construção do diagrama de coagulação

Processo	Parâmetros Hidráulicos	Valor
Coagulação	Tempo de contato do alcalinizante	60 s
	Gradiente de velocidade de mistura do alcalinizante	50 s ⁻¹
	Tempo de mistura rápida	30 s
	Gradiente de velocidade de mistura rápida	800 s ⁻¹
Floculação	Tempo de floculação	20 min
	Gradiente de velocidade de floculação	30 s ⁻¹
Flotação	Pressão na câmara de saturação	4bar
	Tempo de saturação	10min
	Taxa de recirculação	15%
	Velocidade ascensional	10cm/min

Os ensaios experimentais foram realizados no equipamento Floteste marca Nova Ética modelo 218/LDBF-03 (Figura 4.4). O equipamento Floteste é composto por três jarros de acrílico 115x155mm com sub-base perfurada ligados a uma câmara de saturação. No mesmo jarro são realizados os processos de coagulação, floculação e flotação. As dosagens de coagulantes, alcalinizantes ou acidulantes podem ser adicionadas nos três jarros simultaneamente.

A câmara de saturação é abastecida com água clarificada através de um reservatório de 30L posicionado em nível superior da câmara, e é abastecida também com ar comprimido por um compressor de 50L de ar (CSI 7,4/50 Bravo Marca Schulz).

O volume coletado de água flotada corresponde em cada jarro a 60mL totalizando 180mL a cada ciclo. Cada ponto do diagrama corresponde à média dos resultados de cor aparente, cor real e turbidez dos três jarros em um ciclo de tratamento.

Eram coletados 140L de água bruta semanalmente, porém este intervalo de coleta variava a medida que alguma característica físico-química da água coletada apresentava alteração. A cada coleta a água bruta foi caracterizada pelos seguintes parâmetros: cor aparente, cor real, pH, turbidez, alcalinidade e condutividade e para água flotada foram avaliados os parâmetros: cor aparente, cor real, pH e turbidez.

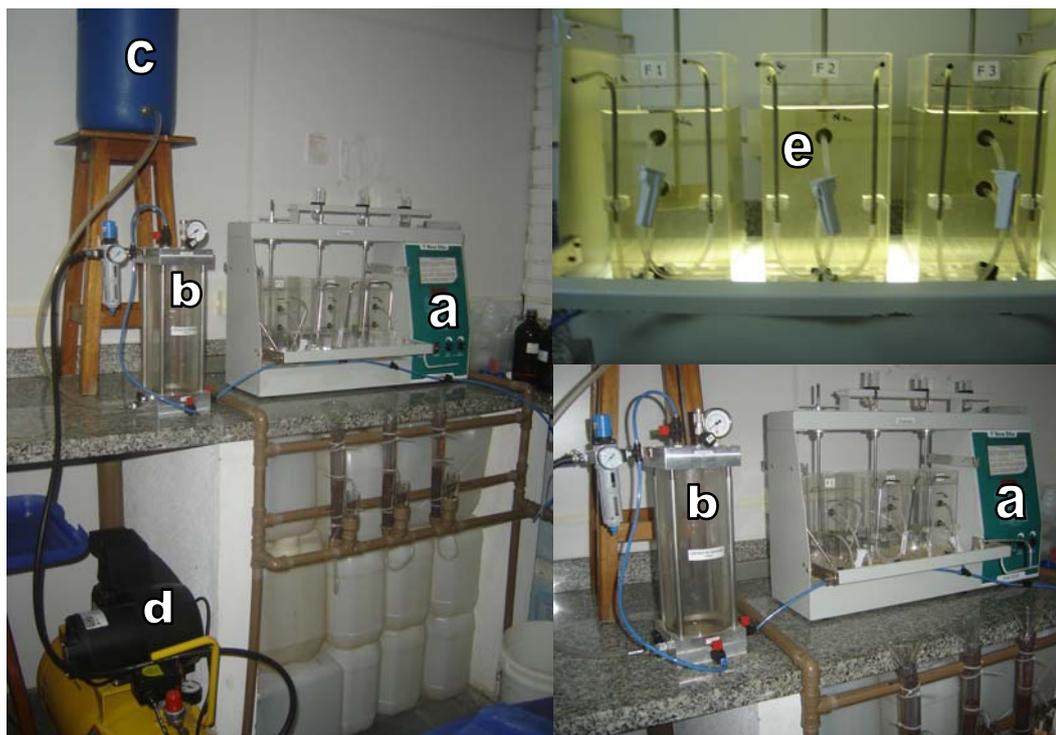


Figura 4.4 - Conjunto para flotação: a) equipamento floteste; b) câmara de saturação; c) reservatório de água clarificada; d) compressor de ar; e) Jarros para flotação com controlador manual de vazão (equipo).

4.2.2 ETAPA 2: Realização dos ensaios para otimização da flotação e remoção do fitoplâncton em função da variação da velocidade ascensional.

Para a realização da etapa 2 a água bruta foi coletada no mês de novembro de 2009 e caracterizada com os parâmetros: cor aparente, cor real, pH, turbidez, alcalinidade e condutividade.

Após a escolha do ponto ideal de dosagem de coagulante e pH para a formação dos flocos (etapa 1), foram testadas as velocidades ascensionais 5, 10 e 15cm/min no processo de flotação, afim de avaliar a remoção do fitoplâncton, conforme Tabela 4.3. Para tanto, foi quantificado o fitoplâncton da água bruta bem como a quantidade de algas (numero de indivíduos por mL) e flocos remanescentes das águas flotadas coletadas nas três velocidades referidas.

Tabela 4.3 - Valores das velocidades ascensionais e seus respectivos tempos de coleta da água flotada

Velocidade (cm/min)	Taxa de aplicação (m ³ /m ² xdia)	Tempo Médio (s)	Tempo de Coleta (20s)	
15	216	00:48	00:38	Início
			00:58	Final
10	144	01:12	01:02	Início
			01:22	Final
05	72	02:24	02:14	Início
			02:34	Final

O tempo de coleta de 20 segundos da água flotada é para que se mantenha a amostra dentro da velocidade ascensional desejada. Os 20 segundos de coleta correspondem aproximadamente à 60mL de amostra por jarro. Os ensaios foram realizados em triplicata.

4.2.2.1 Avaliação quantitativa do fitoplâncton.

A análise quantitativa foi realizada de acordo com o método descrito por Uthermohl (1958), que se baseia no uso da câmara de sedimentação e observação em microscópio invertido em aumento de 400x. A contagem foi realizada em microscópio invertido Nikon MI 1. O volume sedimentado variou de 2 a 5 mL, dependendo da densidade de organismos ou detritos. O tempo de sedimentação foi no mínimo de doze horas, valor este superior ao recomendado de três horas para cada centímetro de altura da câmara (CALIJURI; ALVES; SANTOS, 2006).

Para a contagem do fitoplâncton, foi considerado como um indivíduo organismos unicelulares; filamentos; tricomas; colônias; e cenóbios.

Como recomendado por Uehlinger, 1964 a contagem dos organismos deu-se por campos aleatórios, cujas coordenadas foram geradas por programa computacional. O número de campos contados correspondeu ao número necessário para alcançar 100 indivíduos da espécie mais freqüente, sendo, assim, inferido erro inferior a 20 % e um intervalo de confiança de 95% (LUND et al., 1958).

A densidade fitoplanctônica foi calculada de acordo com a fórmula descrita por Weber (1973):

$$N = \frac{C \cdot A_r}{A_f \cdot F \cdot V} - \text{equação 4.1}$$

Onde: N = número de células (ou indivíduos) por mL;
 C = número de células (ou indivíduos contados);
 At = área total do fundo da câmara de sedimentação (mm²);
 A_f = área de um campo de contagem (mm²);
 F = número de campos contados;
 V = volume da amostra sedimentada (ml).

4.2.3 ETAPA 3: Análise de remoção de fitoplâncton e de formação de trialometanos na água após o tratamento completo para duas dosagens de coagulante considerando a inter-oxidação com cloro.

Esta etapa compreendeu a avaliação da remoção de fitoplâncton, formação de trialometanos (THM) e potencial de formação de trialometanos (PTHM) em quatro linhas de tratamentos de ciclo completo (coagulação, floculação, FAD, filtração em areia e desinfecção com cloro), com e sem inter-oxidação, Tabela 4.4.

Para a realização da ETAPA 3 coletou-se água bruta nos meses de maio (remoção de fitoplâncton e formação de trialometanos) e Junho (remoção de fitoplâncton e avaliação de residual de alumínio) de 2010. A água bruta foi caracterizada com os parâmetros cor aparente, cor real, pH, turbidez, alcalinidade, condutividade, nitrato, nitrito, e clorofila-a.

Para a realização desta etapa foi necessário a construção de filtros de areia e realização de ensaios de inter-oxidação para estabelecimento das dosagens de cloro.

Tabela 4.4 - Descrição das linhas de tratamento aplicados na etapa 3

Nomenclatura	Descrição
1	Dosagens de coagulante e oxidante aplicadas na ETA Duas Bocas
2	Dosagens de coagulante e oxidante otimizados neste estudo.
A	Ciclo completo sem inter-oxidação
B	Ciclo completo com inter-oxidação

Foram escolhidos duas linhas de tratamentos 1 e 2 divididos nas seqüências considerando a inter-oxidação (Figura 4.5).

Nos quatro tratamentos foram mantidos os gradientes hidráulicos estabelecidos na etapa de elaboração do diagrama de coagulação, porém com a velocidade ascensional escolhida na Etapa 2. Para simular o tratamento da ETA Duas Bocas foram aplicados na coagulação

15mg/L de sulfato de alumínio e 0,8mg/L de cloro na inter-oxidação, lembrando que não há correção de pH no processo de coagulação da ETA.

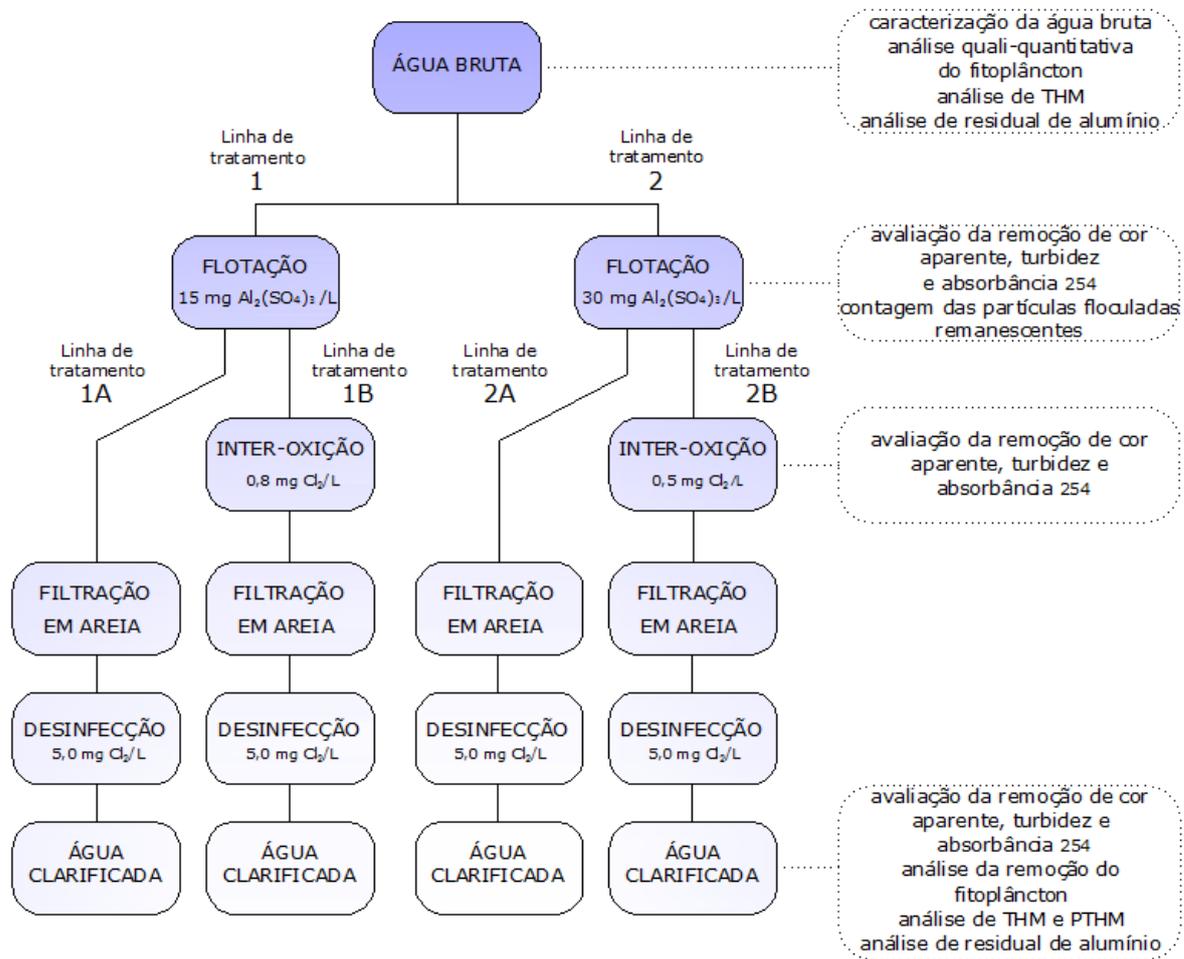


Figura 4.5 - Esquema das linhas de tratamentos

4.2.3.1 Filtro de areia em escala de bancada.

Para complementação do processo de clarificação foram construídos três filtros de areia seguindo o recomendado por Di Bernardo, Di Bernardo e Centurione Filho, (2002) e adaptados ao flote (Figura 4.7).

Cada filtro foi montado com 30cm de mangueira PVC flexível transparente diâmetro interno 25mm e externo 31mm com um CAP PVC soldável na parte inferior. A espessura do meio filtrante é de 15 cm. A areia do meio filtrante foi gentilmente fornecida pela gerência de operação da ETA Duas Bocas e o ensaio da composição granulométrica foi realizado no laboratório de ensaios de materiais de construção LEMAC/UFES (Anexo1), através de ensaio manual de agitação de peneiras, segundo NBR 7217 (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Composição granulométrica do leito filtrante

Tamanho dos grãos (mm)	% de massa
2,40-1,20	2*
1,20-0,60	74
0,60-0,30	23
0,30-0,15	1

*Antracito

A parede interna do filtro, na altura do leito filtrante, foi revestida com cola PVC e areia a fim de se evitar um caminho preferencial da água entre a parede e o leito filtrante. Antes de preencher o leito filtrante a areia foi lavada com água_{dd}.

A altura do ponto de coleta do filtro foi posicionada de forma a manter 1cm de nível de água (NA) fixo acima do leito filtrante para que este mantivesse sempre em carga, formando um volume de 78,5mL. Para que a vazão de filtração fosse constante foi estabelecido o nível de água de 12cm (NA de coleta da água flotada) acima do NA fixo, correspondendo a um volume aproximado de 59mL de coleta de água flotada na velocidade ascensional escolhida, 20 segundos de coleta do jarro (Figura 4.6). Na saída de cada jarro do Floteste foi inserido um dispositivo de controle manual de vazão (equipo – ver Figura 4.7), esse dispositivo permite o controle do NA da água flotada dentro do filtro.

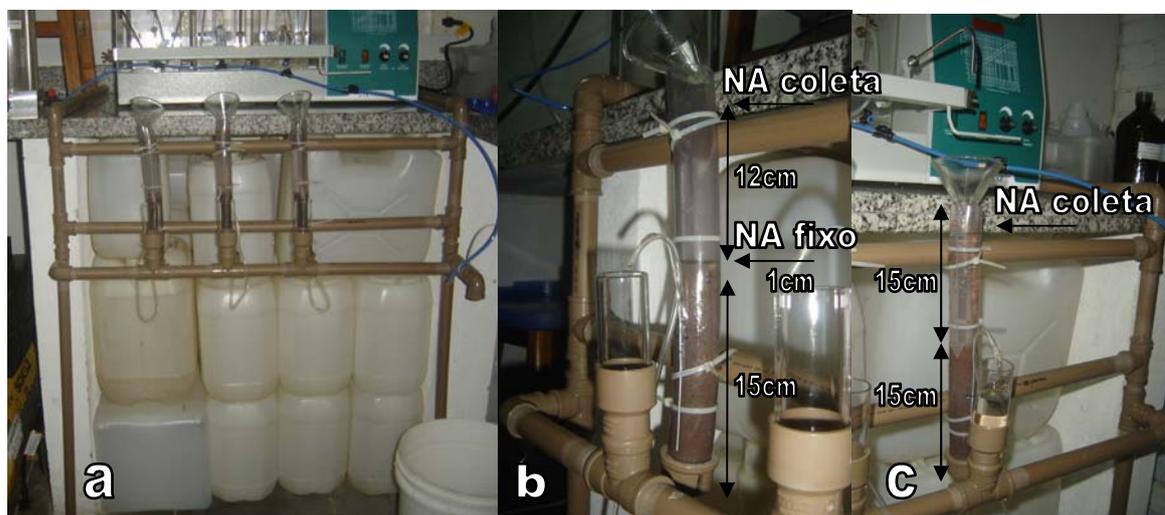


Figura 4.6 - a) Conjunto de filtros de areia adaptados ao floteste; b) e c) Vista lateral do filtro – dimensões do leito filtrante, cota do NA fixo e do NA de coleta.

Para verificação do volume de água dentro do leito filtrante e assim determinar o tempo de coleta das amostras, foi realizado três ensaios de filtração com corante Vermelho de metila. Para isto, o jarro do Floteste foi completado até o NA de recirculação com água_{ddd} e acrescentou-se o corante Vermelho de metila até atingir o ponto de coleta do jarro. O filtro foi

preparado com 3 cargas consecutivas de água_{dd} para retirar possíveis bolhas de ar dentro do leito filtrante. Com o NA fixo estabilizado, o filtro foi completado com 20 segundos de coleta de água corada do jarro, com a saída totalmente aberta, logo em seguida (NA de coleta de água flotada alcançado); a vazão de saída foi regulada (gotejamento) para manter o NA de coleta da água flotada.

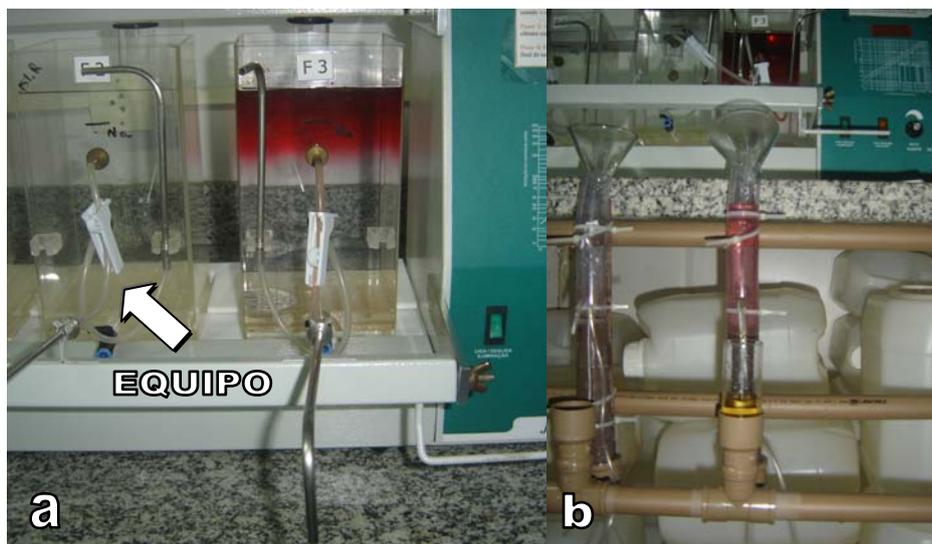


Figura 4.7 - Foto do ensaio realizado com vermelho de metila para definir o tempo de coleta da amostra nos filtros. A) jarro do floteste com água_{dd} e corante; b) filtragem com o corante.

O tempo médio de coleta do volume do leito filtrante (água_{dd}) foi de 2min e 35s e o volume médio medido de 45mL correspondendo a vazão de filtração de 16,07mL/min.

Para conferência da vazão de filtração foi repetido o processo de enchimento dos filtros como descrito acima, porém sem o corante. Do início da coleta foram marcados 10 tempos de 1min e para cada tempo foi medido o volume coletado com uma proveta.

A vazão média encontrada foi de 16,5mL/min correspondendo a uma taxa de aplicação de 81m³/m²xdia. A vazão de filtração encontra-se dentro da faixa de 12 a 20mL/min recomendada por Di Bernardo, Di Bernardo e Centurione Filho, (2002).

Com a vazão média de filtração e o volume de água do leito filtrante foi possível calcular o tempo de descarte da água_{dd} (45mL) e o tempo de coleta da amostra filtrada (60mL).

Após os testes cada filtro recebeu um volume de 20mL de solução de hipoclorito de cálcio à 1% para oxidação de qualquer impureza do leito filtrante. Em seguida, os filtros foram lavados com água_{dd} até a completa remoção da solução de hipoclorito de cálcio. Para isso foram comparados o pH e a cor real da água_{dd} e da água filtrada.

A cada ensaio os filtros eram lavados (fluxo descendente) com 3 cargas consecutivas de água_{dd} e checada a vazão de filtração. Na medida em que a vazão apresentava alteração o leito filtrante era retirado, lavado com água_{dd} e recomposto, então, a vazão de filtração era novamente medida e recalculado o tempo de coleta das amostras para cada filtro. Isto geralmente ocorria a cada 6 ciclos do processo de clarificação.

4.2.3.2 Ensaio de inter-oxidação e desinfecção com cloro.

O hipoclorito de cálcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ foi o composto escolhido como oxidante na etapa de inter-oxidação e desinfetante na etapa de desinfecção.

Foi utilizado o produto comercial com 65% $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ e 35% de material inerte (informações de fabricante) e para a determinação da concentração do cloro ativo nesse composto aplicou-se o método iodométrico determinado por Vogel (2008):

- Titulante: Tiosulfato de sódio $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ a 0,1M;
- Padronização: Iodato de Potássio KIO_3 ; e
- Indicador: Amido 0,1%.

Devido ao baixo grau de pureza do produto comercial a solução de hipoclorito de cálcio titulada a 0,1% foi preparada a partir de uma solução estoque a 1% filtrada em algodão para eliminação de interferentes e diminuição da turvação. A solução estoque era estocada em frasco âmbar sob refrigeração e utilizada no prazo máximo de uma semana.

Para a quantificação de cloro livre na solução de hipoclorito de cálcio utilizou-se a equação:

$$\text{Cl}_2 = \frac{V \cdot N \cdot 35450}{v}$$

Onde: Cl_2 = concentração de cloro em mg/L;
 V = volume gasto de tiosulfato de sódio para titular a amostra (mL);
 N = normalidade do tiosulfato de sódio após padronização; e
 v = volume da solução de hipoclorito em mL;

Para os ensaios de oxidação e desinfecção a solução de hipoclorito de cálcio a 0,1% era preparada diariamente a partir da solução estoque.

Para a determinação do cloro residual nas amostras após a oxidação foi utilizado o método espectrofotométrico com DPD 4500 Cl-G (APHA,2000). Como o volume de coleta da água flotada é relativamente pequeno (60mL), adequou-se a curva de calibração do cloro residual

para leitura em 10mL de amostra (Anexo2), sendo este procedimento realizado em triplicata. Os volumes calculados pela titulação para as concentrações desejadas nos ensaios de inter-oxidação foram checados com DPD no espectrofotômetro.

Na ETA Duas Bocas a oxidação acontece nos filtros, o cloro a adicionado à montante dos filtros, sendo o tempo de contato do cloro correspondente ao tempo de filtração. Nos ensaios de laboratório aplicando o ciclo completo com inter-oxidação, as dosagens de cloro eram adicionadas nos filtros imediatamente após o seu enchimento com a água flotada coletada dos jarros. Como os volumes da solução de cloro testados para a inter-oxidação eram pequenos, para cada dosagem o volume era completado com água_{dd} até 1mL.

Nos testes realizados a fim de se avaliar a melhor dosagem a ser aplicada na inter-oxidação, a água flotada foi coletada em beakers contendo as dosagens de 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; e 3,0mg/L de Cl₂, e após o tempo de contato médio de 5 minutos (tempo de filtragem da água flotada), eram analisados para cada dosagem: cor aparente, absorvância 254, absorvância 665 e cloro residual. A escolha dos valores mínimo e máximo das concentrações de cloro testadas foi em função da leitura dos valores de absorvância 515nm na curva de calibração do método DPD.

A desinfecção foi simulada em Jar test. Após a coleta da água filtrada no volume necessário para as análises de cada tratamento, era adicionado cloro na concentração de 5mg/L em tempo de contato de 30min, valores referentes ao máximo permitido de cloro ativo e tempo mínimo de contato na saída de uma ETA de acordo com o padrão de potabilidade, Portaria MS 518/04.

4.2.3.3 Avaliação da formação de trialometanos.

Foram avaliados a formação de trialometanos totais (TTHM) e o potencial de formação de trialometanos (PTHM) nos quatro tratamentos e na água bruta como referencial. Para produzir o volume necessário para as análises, cada tratamento foi repetido seis vezes. O preparo das amostras seguiu o método 5710-B (APHA, 2000) que determina a formação de TTHM e PTHM em concentrações de cloro livre entre 3 e 5mg/L.

O termo Trialometanos Totais significa a soma das concentrações dos quatro compostos principais (clorofórmio, bromofórmio, diclorobromometano e dibromoclorometano) produzidos durante o tratamento, sendo necessária então, a interrupção da ação do cloro logo

após o tempo de contato de 30min da fase de desinfecção. Após este tempo o pH foi ajustado para $7,0 \pm 0,2$ com tampão fosfato e para 250mL de amostra foi adicionado aproximadamente 1,0 g de ácido ascórbico. As amostras foram mantidas no refrigerador à $4^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ em frasco âmbar totalmente preenchidos com amostra e fechados com batoque, até serem encaminhadas para análise.

Para as análises do Potencial de Formação de Trialometanos, a inativação do cloro foi feita sete dias após cada tratamento seguindo o mesmo procedimento. Durante os sete dias de reação as amostras foram estocadas em ambiente escuro e a temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Análise dos trialometanos foi realizada no laboratório de Recursos Hídricos da UNAERP Ribeirão Preto-SP. Foi aplicado o método de Cromatografia Gasosa - Compostos Orgânicos Voláteis - Método USEPA 551.1. A seguir são apresentadas as configurações utilizadas na metodologia:

- Padrão Trialometanos: marca Supelco Padrões mistos: THM;
- Coluna: DB1: 30m x 5 μm filme x 0,32mm ID;
- Detector: Captura de elétrons (ECD), ECD;
- Gás arraste: Nitrogênio 5.0 ECD da White Martins;
- Pressão: 15psi – mecap aberto: 3,6 mL/min 74 cm/s;
- Temperatura do Injetor: 160 $^{\circ}\text{C}$;
- Temperatura do Detector: 290 $^{\circ}\text{C}$;
- Com divisão de amostra 2mL/min (-1) range de sensibilidade 10;
- Extração liquido-liquido com 5 mL de Metil Terc-Butil Eter HPLC (JTBaker) para 10mL de amostra.
- Padrão Interno: 10 μL de Diclorometano 10.000 ppm (1mL de diclorometano puro em 10mL de acetona): 10mg/L

4.2.3.4 Avaliação da remoção do fitoplâncton.

Nesta etapa o fitoplâncton foi analisado quali-quantitativamente em duas águas brutas (maio e junho de 2010), sendo que as análises quantitativas seguiram o descrito no item 4.3.2.1.

Para as análises qualitativas do fitoplâncton, esse foi observado pelas suas características morfológicas e morfométricas utilizando chave de identificação por Bicudo e Menezes (2005)

e os trabalhos de Bourrelly (1970), Prescott (1975), Komarék e Fott (1983), Sant'anna (1984), Ballech (1984), Parra e Bicudo (1995) e Tomas (1997).

A avaliação quali-quantitativa do fitoplâncton foi realizada na água bruta e nos tratamentos, na água flotada, e na água filtrada. Na a água flotada foram analisados os flocos e o numero de indivíduos de fitoplâncton remanescentes.

Clorofila a

O parâmetro clorofila-a foi analisado como dado secundário na quantificação do fitoplâncton obtido pela extração em acetona 90% seguindo metodologia 10200-H APHA (2000), Calijuri, Alves e Santos (2006) e Schwarzbald e outros (1999).

Para a coleta e concentração do fitoplâncton filtra-se a amostra em membrana de fibra de vidro Ø 25mm e poro 0,5µm até a saturação do filtro, anotando-se o volume filtrado. A filtração foi realizada no ponto de coleta em duplicata em porta-filtro para filtração com seringa e, logo após a filtragem, as membranas foram guardadas em papel alumínio em uma caixa refrigerada e levadas ao laboratório onde foram congeladas obedecendo um prazo máximo de três meses para a execução da análise.

Para a extração da clorofila, a membrana filtrante contendo as células é colocada em um tubo Falcon onde é acrescentado um volume de 10 mL de acetona 90%, e com o uso de um mixer fragmenta-se a membrana. Armazena-se o tubo Falcon sob refrigeração por 24h em abrigo de luz e em seguida centrifuga-se por 10 minutos a 3.000 rpm e, então, utiliza-se o sobrenadante para determinar por espectrofotometria a leitura em comprimento de onda a 665 nm e 750 nm. Sequencialmente, as amostras são acidificadas com ácido clorídrico 0,2 M, e após 2 minutos uma nova leitura é realizada para a determinação de feopigmentos. Todo o procedimento de extração e leitura das absorbâncias foi feito em ambiente escuro.

As concentrações de Clorofila-a e feofitina foram determinadas pela fórmula Lorenze (1967) extraído de Calijuri, Alves e Santos (2006):

$$\text{Cl-a} = \frac{[(U_{665} - U_{750}) - (A_{665} - A_{750})] \cdot v \cdot F \cdot K}{V \cdot s} \quad - \text{ equação 4.2}$$

$$\text{Pheo} = \frac{[R (U_{665} - U_{750}) - (A_{665} - A_{750})] \cdot v \cdot F \cdot K}{V \cdot s} \quad - \text{ equação 4.3}$$

- Onde: **Cl-a**= Clorofila a em µg/L;
Pheo= Feofitina em µg/L;
 U = Absorbância da amostra não acidificada;
 A = Absorbância da amostra acidificada;
 v = vol. extraído (mL) = volume de extração da clorofila;
 F = Coeficiente de absorção de clorofila α=11,00;
 K = Constante de redução da absorbância para concentração inicial de clorofila α=2,43;
 V = vol. filtrado (L) = volume de água filtrado por amostra;
 s = Passo ótico da cubeta (cm);
 R = Máxima razão U665: A665 na ausência de feopigmento =1,7.

4.2.3.5 Residual de alumínio.

Para avaliar as dosagens do coagulante em relação aos impactos na saúde humana e no meio ambiente foi avaliado o residual de alumínio nas águas. A comparação de residual de alumínio entre os tratamentos seguiu o método 3500- Al B (APHA ,2000) determinações de Alumínio em águas pelo Método da Eriocromocianina.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados dos ensaios e análises realizados nas três etapas deste trabalho:

5.1 ETAPA 1: CONSTRUÇÃO DOS DIAGRAMAS DE COAGULAÇÃO

Nos ensaios de flotação para construção dos diagramas de coagulação foram aplicados os gradientes hidráulicos conforme Tabela 4.3.

5.1.1 Diagrama de coagulação para as amostras coletadas no período de chuvas

O diagrama de coagulação para o período de chuvas foi construído considerando que as águas deste período apresentam os valores mais altos do ano de cor aparente, segundo dados de operação da CESAN/ETA Duas Bocas.

Para construção do diagrama foram utilizados os parâmetros: cor aparente, cor real e turbidez da água flotada. A seguir são apresentados os três diagramas construídos com a caracterização da água bruta coletada no período correspondente (Figuras 5.1, 5.2 e 5.3). Os pontos mais a esquerda para cada dosagem correspondem a valores sem correção de pH.

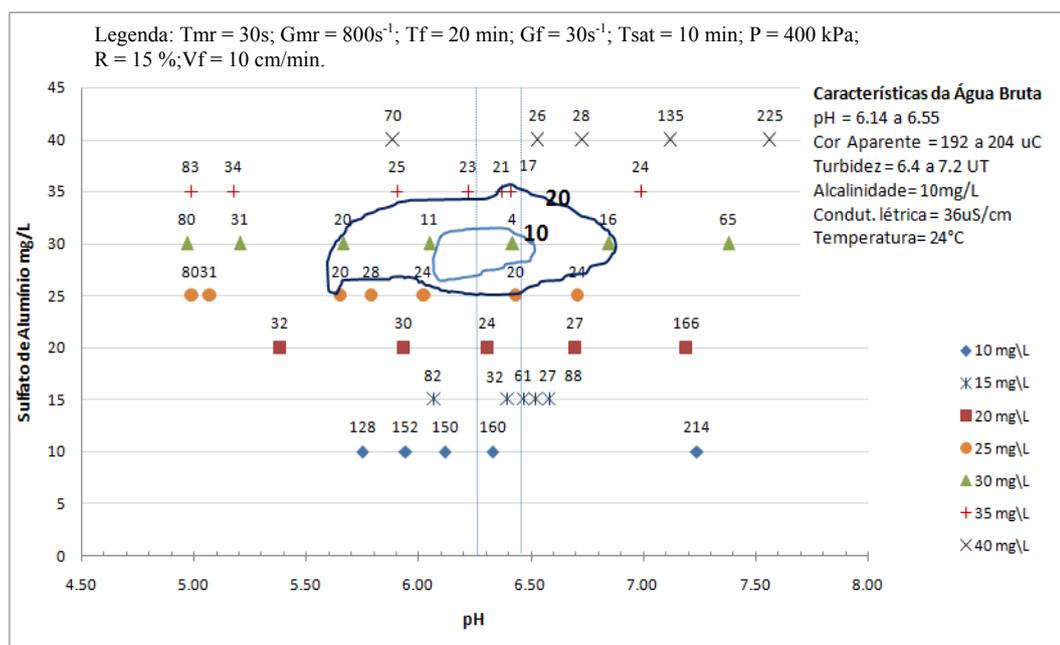


Figura 5.1 - Diagrama de coagulação período de chuvas – Valores de cor aparente (uC) na água flotada.

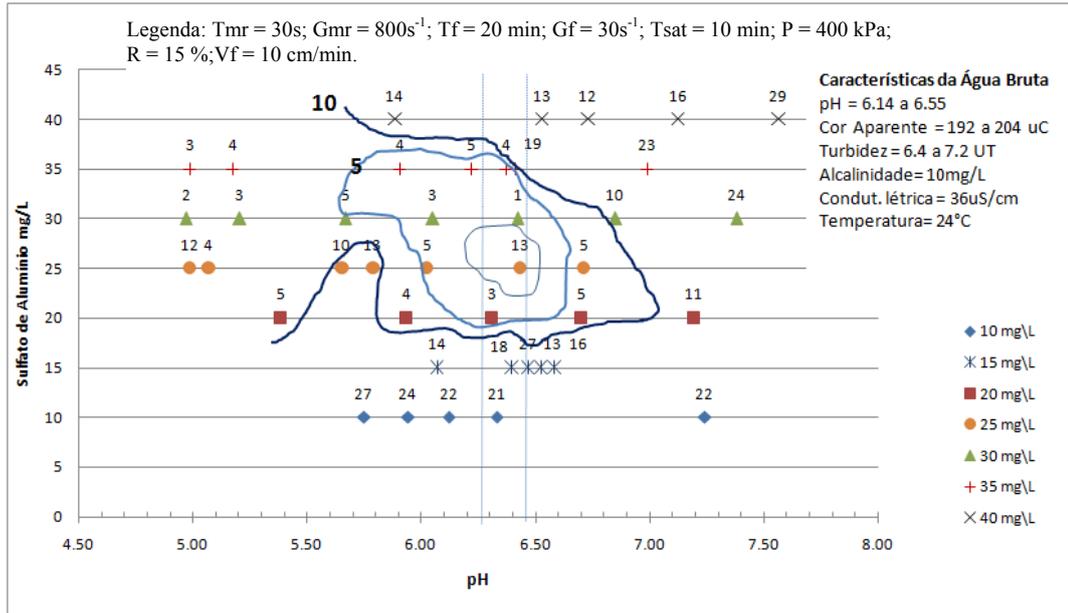


Figura 5.2 - Diagrama de coagulação período de chuvas – Valores de cor real (uC) na água flotada.

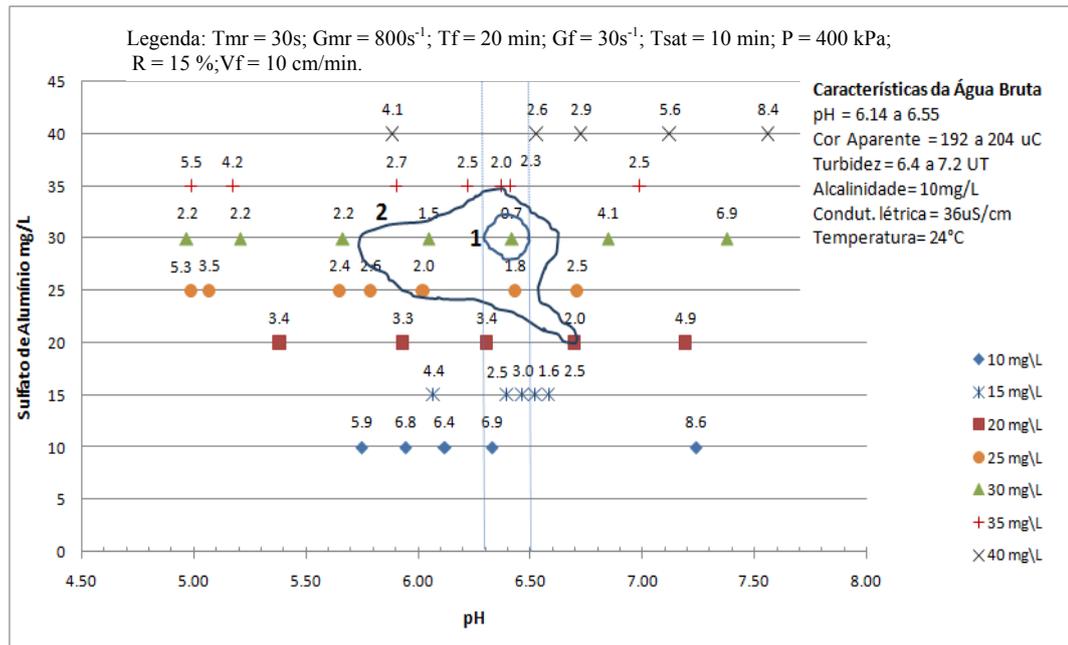


Figura 5.3 - Diagrama de coagulação período de chuvas – Valores de turbidez (UT) na água flotada.

Os três diagramas apontam para uma melhor região de remoção dos parâmetros analisados entre pH 6,3 e 6,5 e concentração de 25 a 35 mg/L de sulfato de alumínio, sendo escolhido o ponto de pH 6,3 e concentração de 30mg/L do coagulante para o tratamento da água bruta no período de chuvas (cor aparente: 192 a 204uC).

5.1.2 Diagrama de coagulação para as amostras coletadas no período seco

O diagrama de coagulação do período seco corresponde, a valores baixos de cor aparente da água bruta (68 a 116 uC).

Para construção dos diagramas foram levantados os parâmetros: cor aparente, cor real e turbidez. As Figuras 5.4, 5.5 e 5.6 apresentam os diagramas construídos para o período seco. Os primeiros pontos de cada dosagem do coagulante correspondem a valores sem correção de pH.

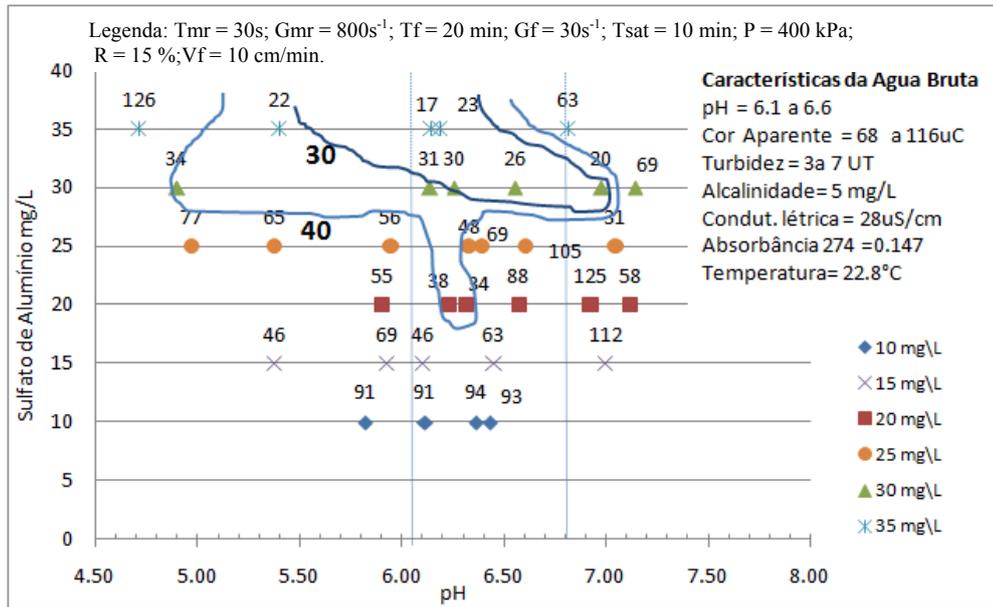


Figura 5.4 - Diagrama de coagulação período seco – Valores de cor aparente (uC) na água flotada.

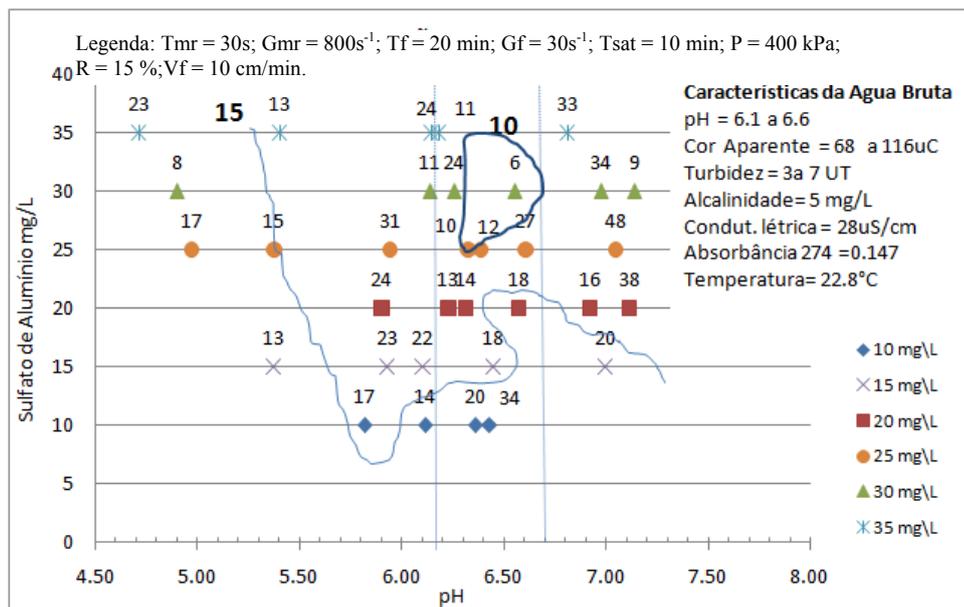


Figura 5.5 - Diagrama de coagulação período seco – Valores de cor real (uC) na água flotada.

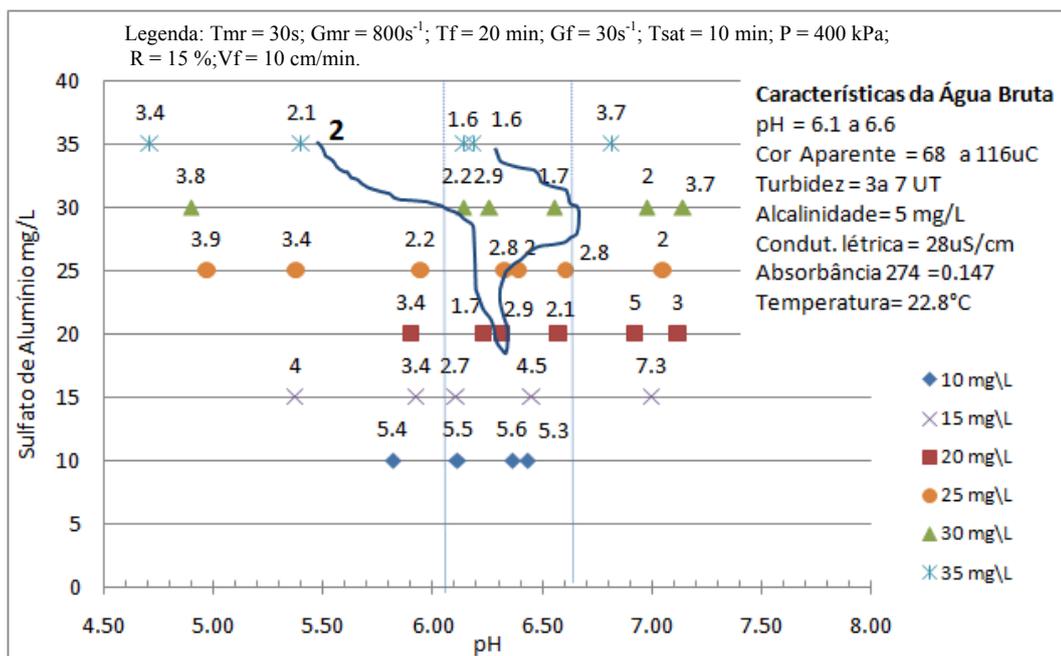


Figura 5.6 - Diagrama de coagulação período seco – Valores de turbidez (UT) na água flotada.

A região de remoção que melhor atende aos três parâmetros analisados está entre pH 6,0 a 6,7 e concentração de 25 a 35mg/L de sulfato de alumínio.

Centurione Filho e Di Bernardo (2003) investigaram a otimização da coagulação, floculação, flotação e filtração para uma água preparada com concentração de algas de cultivo (*Clorella*) com: turbidez = 40 a 58UT; cor aparente = 510 a 870uC; cor real = 80 a 100uC e alcalinidade 35mgCaCO₃/L. No referido estudo, na otimização da coagulação, os autores encontraram uma eficiência de remoção de 98% de cor aparente e turbidez, em uma faixa de pH de coagulação 6,0 a 7,5 com velocidade ascensional de 10cm/min.

No presente estudo, observa-se uma menor eficiência, 71%, na remoção do parâmetro cor aparente em relação ao diagrama de chuvas (93%), apesar das regiões de remoção dos dois períodos serem semelhantes. Esta diferença pode estar relacionada com o baixo valor da alcalinidade da água bruta no período de seca, dificultando a estabilização do pH de coagulação durante o experimento como visto por Di Bernardo, Di Bernardo e Centurione Filho (2002).

Lobato, Fantinin e Moresch (1997), no estudo de implantação do sistema FAD da ETA Mantenópolis –ES, em águas com presença de algas, ferro e manganês, obtiveram faixas de eficiência de remoção de 68 a 98% para cor real e 65 a 96% para turbidez.

Quando a alcalinidade não é elevada (inferior a cerca de 20 mg/L no caso da filtração direta e 30 mg/L no tratamento por ciclo completo), o sulfato de alumínio tem sido eficiente para que o pH, após aplicação do coagulante, resulte na região efetiva de coagulação, seja por adsorção-neutralização de cargas ou por varredura de partículas coloidais, suspensas e de substâncias húmicas (PÁDUA, 2006).

Nesta etapa foram estabelecidos as condições de dosagem de 30mg/L do coagulante e de pH 6,3 para as etapas seguintes.

5.2 ETAPA 2: OTIMIZAÇÃO DA FLOTAÇÃO

Na otimização da flotação foram avaliadas as velocidades ascensionais: 5, 10 e 15cm/min, aplicando os demais condições da etapa anterior (Tabela 4.3).

A água bruta utilizada nesta etapa foi coleta em novembro de 2009, porém apresentou características das águas de período seco conforme os dados apresentados na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Características da água bruta utilizada nos ensaios de otimização da flotação

Caracterização da água bruta	
pH	6,12
Cor Aparente uC	96
Cor Real uC	33
Turbidez UT	6,53
Alcalinidade mg CaCO ₃ /L	3
Absorbância 254 s ⁻¹	0,165
Temperatura °C	26
Condutividade US/cma 25°C	26,31
Fitoplâncton ind/mL	31453

Para avaliar a melhor velocidade ascensional no ensaio de flotação, foi fixado a dosagem de 30mg/L de sulfato de alumínio em pH de aproximadamente 6,3 avaliando os parâmetros: cor aparente, cor real, turbidez e número de partículas (células de fitoplâncton e flocos) remanescentes. Os valores remanescentes dos parâmetros citado são expressos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Valores remanescentes dos parâmetros analisados na água flotada para as velocidades ascensionais de 5, 10 e 15 cm/min.

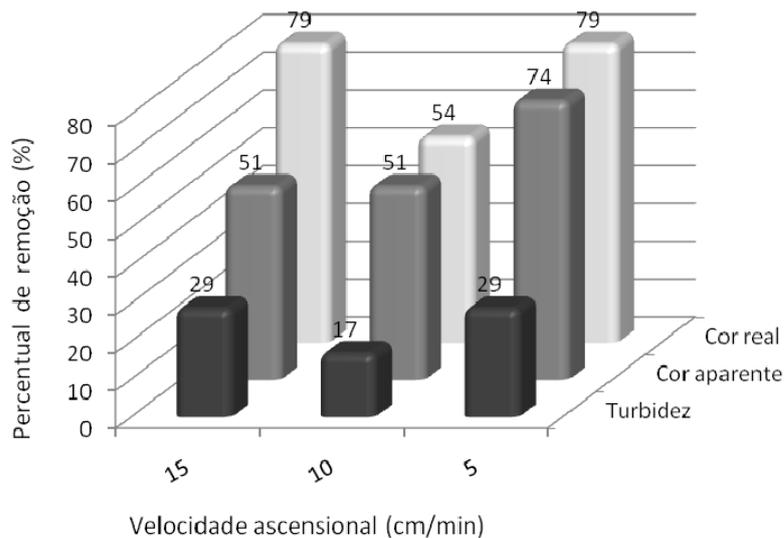
PARÂMETROS	5	10	15
pH	6,40	6,26	6,24
Cor Aparente uC	56	65	61
Turbidez UT	2,4	2,7	2,4
Absorbância a 254nm	3	4	6
No de partículas/mL	963	2907	2789

Valores médios de três ensaios

A Figura 5.7 apresenta os valores de percentual de remoção dos parâmetros analisados. A Figura 5.8 representa o número de partículas remanescentes de flotação para cada velocidade estudada. Os valores apresentados para cada parâmetro são referentes à média dos três jarros.

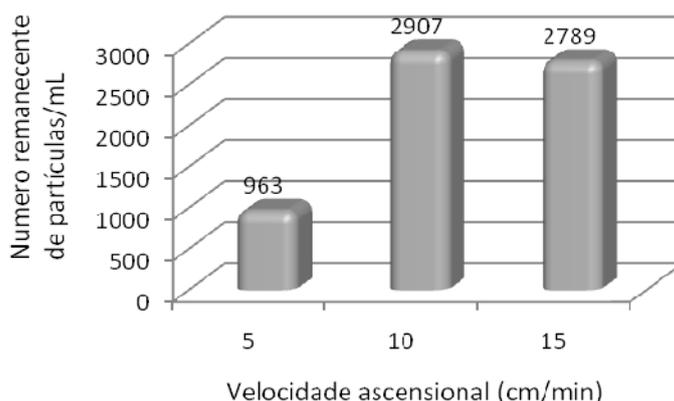
Os resultados indicam uma melhor remoção do material particulado (95%) e cor real (74%) na velocidade ascensional de 5cm/min. O mesmo resultado foi verificado no estudo anteriormente citado de Centurione Filho e Di Bernardo(2003), que na otimização da flotação avaliou as velocidades ascensionais de 5, 7,5, 10 e 15cm/min, porém com eficiência de 100% de remoção das algas para as velocidades de 5 e 7,5cm/min. Os resultados de remoção de cor aparente (51%) e fitoplâncton (85 e 86%) nas velocidades ascensionais de 10 e 15cm/min foram semelhantes. Ao comparar o processo de sedimentação e FAD na remoção de algas em água naturais, Bof (2007) não encontrou diferença significativa entre as velocidades ascensionais de 5, 10 e 15cm/min.

Lobato, Fantinin e Moresch (1997), no sistema FAD da ETA Mantenópolis – ES obtiveram uma faixa de eficiência na remoção de algas de 84 a 94%, para uma taxa de aplicação superficial de 170 m³/m²xdia.



Legenda: DSA = 30 mg/L; Tmr = 30s; Gmr = 800s⁻¹; Tf = 20 min; Gf = 30s⁻¹; Tsat = 10 min; P = 400 kPa; R = 15 %; Vf = 5, 10 e 15 cm/min.

Figura 5.7 - Percentual de remoção dos parâmetros turbidez, cor aparente, cor real na flotação para as velocidades ascensionais 5, 10 e 15 cm/min



Legenda: DSA = 30 mg/L; Tmr = 30s; Gmr = 800s⁻¹; Tf = 20 min; Gf = 30s⁻¹; Tsat = 10 min; P = 400 kPa; R = 15 %; Vf = 5, 10 e 15 cm/min.

Figura 5.8 - Número de partículas remanescentes/mL na flotação - teste das velocidades ascensionais 5, 10 e 15 cm/min

Apesar da obtenção de um melhor resultado de remoção de fitoplâncton com aplicação da velocidade ascensional de 5cm/min, para melhor avaliar a remoção das partículas e dar continuidade ao processo de clarificação na etapa seguinte (Etapa 3 – aplicação de inter-oxidação e filtração), optou-se por aplicar a velocidade ascensional de 10cm/min que corresponde a uma taxa de aplicação de 144 m³/m² x dia superior a taxa de aplicação de 72 m³/m² x dia referente à velocidade ascensional de 5cm/min. Uma taxa de aplicação maior implica, normalmente, em maior benefício econômico com relação ao dimensionamento de uma unidade de tratamento.

5.3 ETAPA 3: AVALIAÇÃO DE REMOÇÃO DO FITOPLÂNCTON ; DA FORMAÇÃO E POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIALOMETAMOS

Esta etapa compreendeu a avaliação da remoção de fitoplâncton, formação e potencial de formação de trialometanos em quatro tipos de tratamentos de ciclo completo (coagulação, floculação, FAD, filtração em areia e desinfecção com cloro) com e sem inter-oxidação com cloro.

5.3.1 Estudo da demanda de cloro na inter-oxidação.

Para a definição da concentração de Cl_2 a ser aplicada nos ensaios da etapa 3, foi avaliada a remoção da cor aparente, Absorbâncias a 254 e 665nm, em relação à variação da concentração de Cl_2 aplicada na água flotada (Tabela 5.4). A Tabela 5.3 apresenta os dados de caracterização da água bruta utilizada nos ensaios. Características da água bruta utilizada nos ensaios de otimização da inter-oxidação

Tabela 5.3 - Características da água bruta utilizada nos ensaios de otimização da inter-oxidação

Caracterização da água bruta	
pH	6,49
Cor Aparente uC	89
Cor Real uC	34
Turbidez UT	4,7
Alcalinidade mg $CaCO_3$ /L	8
Absorbância a 254nm	0,155
Absorbância a 665nm	0,016
Temperatura °C	24
Condutividade US/cma 25°C	35,65

Os ensaios de inter-oxidação foram realizados nas águas flotadas com a dosagem de 30mg/L de coagulante e velocidade ascensional de 10cm/min, valores determinados nas etapas anteriores.

Tabela 5.4 - Estudo da concentração de cloro a ser aplicado na inter-oxidação – resultados da aplicação de diferentes dosagens de cloro na água flotada.

Parâmetros	Concentração inicial do oxidante mg Cl_2 /L					
	0.50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00
Cor Aparente uC	10	20	41	27	24	31
Residual de cloro (T= 5min) mg/L	0,41	0,96	1,37	1,38	2,16	2,94
Demanda de cloro mg/L	0,09	0,04	0,13	0,62	0,34	0,06
Absorbância a 254nm	0,050	0,066	0,070	0,061	0,060	0,065
Absorbância a 665nm	0,005	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006

Na Figura 5.9 são apresentados os percentuais de remoção dos parâmetros analisados. Os baixos valores da demanda de cloro demonstram que a remoção da matéria orgânica estimada pela absorvância 254 e absorvância 665 indicativo de biomassa algal, ocorre na flotação.

Para estudos de escala de bancada, a utilização do composto hipoclorito de cálcio comercial (65%) não mostrou muita praticidade, devido à necessidade de aplicação de pequenas dosagem de cloro na água estudada (valores baixos de concentração de cloro para um volume de coleta de 60mL de cada jarro do floteste).

Foi adotado a concentração de 0,5mg/L de cloro na inter-oxidação por apresentar melhor remoção de cor aparente e absorvância 254.

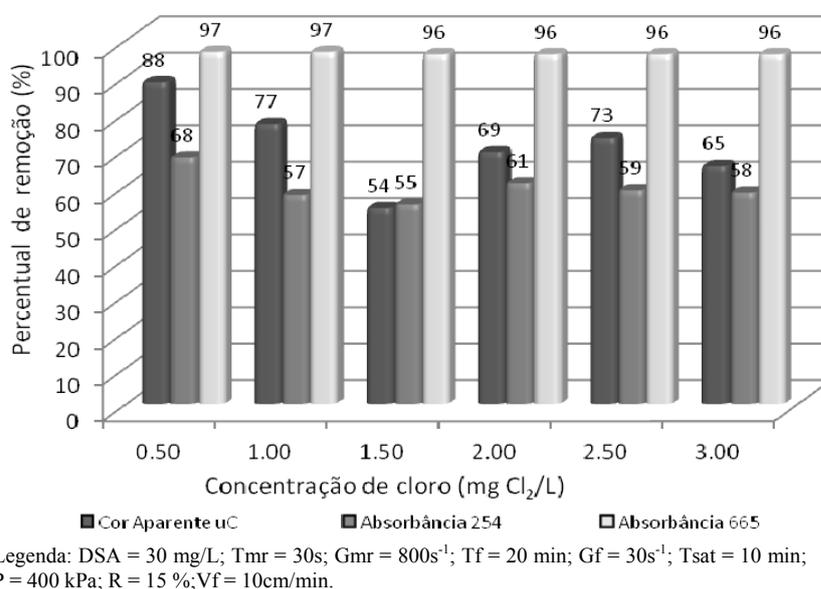


Figura 5.9 - Percentual de remoção dos parâmetros cor aparente, absorvância a 254 e 665nm para as concentrações 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 e 3,0 mg Cl₂/L aplicadas na água flotada.

5.3.2 Caracterização da água bruta

A Tabela 5.5 apresenta os parâmetros analisados para caracterização da água bruta utilizada nos ensaios de clarificação com processo completo. Alguns destes parâmetros foram comparados com os limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 357/05.

Em relação aos parâmetros analisados e referenciados pela resolução CONAMA 357/05 o manancial Duas Bocas manteve sua qualidade de água satisfatória para águas de abastecimento no período observado.

Os valores de clorofila-a acompanharam os valores de densidade do fitoplâncton. Os valores de feofitina são superiores aos de clorofila-a indicando um declínio na população no período de coleta, já que a feofitina é originada da degradação da clorofila (WETZEL; LIKENS, 1991).

A degradação das células implica na liberação dos metabólicos, inclusive toxinas para o meio aquoso sendo um possível problema para águas de abastecimento com aplicação de cloro. PÁDUA (2009) afirma que a matéria orgânica natural, as algas/microalgas e as cianobactérias e seus metabólitos, inclusive suas toxinas, são os principais precursores com os quais os halogênios reagem para formar esses subprodutos. Apesar do exposto, o parâmetro absorvância 254, indicativo de matéria orgânica, não acompanhou o aumento dos valores de feofitina.

Tabela 5.5 - Caracterização da água bruta utilizada nos ensaios da etapa 3

Parâmetro	unidade	Mês de coleta		CONAMA 357/05*
		Maio	Junho	
pH		6,87	6,67	6,0 e 9,0
Cor Aparente	uC	106	82	-
Cor Real	uC	10	14	75
Turbidez	UT	6,53	4,05	100
Alcalinidade	CaCO ₃ /L	8	5	-
Absorvância a 254nm		0,189	0,115	-
Temperatura	oC	25,7	26	-
Condutividade	uS/cma 25oC	35,81	31,33	-
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,06	0,25	3,7 para pH ≤ 7,5
Nitrito	mg/L	0,02	0,00	1
Nitrato	mg/L	0,04	0,02	10
Clorofila a	µg/L	6	15	30
Feofitina	µg/L	23	46	-
densidade fitoplâncton	ind/mL	39962	60738	**
Absorvância a 665nm		0,016	0,015	-
Residual de alumínio	mg/L	-	<LD	0,1
Triometanos totais	mg/L	0,00	-	-

* Valores máximos permitidos para água doce - classe2

** < 50.000 cel/mL de cianobactérias

< LD menor que o limite de detecção 520 µg Al/L

Delazari (2000) e FUNASA (2007b) caracterizaram as águas da represa Duas Bocas coletadas em período de seca, julho de 1998 e julho de 2004, respectivamente. Os dados estão apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 - Caracterização da água bruta utilizada nos ensaios da etapa 3

Parâmetro	unidade	Delazari (2000)*	FUNASA(2007)**
		jul/98	jul/04
pH		6,6	5,2
Turbidez	UT	-	1,4
Alcalinidade	mEq/L	0,21	-
Temperatura	°C	22	23
Condutividade	uS/cma 25oC	36,4	38
Nitrogênio Amoniacal	mg/L	0,54	0,58
Nitrito	mg/L	< 0,00152	<0,01
Nitrato	mg/L	0,01	<0,02
Clorofila a	µg/L	18,2	-
Feofitina	µg/L	10	-
densidade fitoplâncton	ind/mL	1510000	65862

*Valores médios - ponto amostral no meio da represa.

**Valores médios - ponto amostral na entrada da ETA Piloto.

Os valores obtidos para os parâmetros analisados ficaram próximos dos resultados dos estudos citados e relativamente os valores de densidade fitoplanctônica obtidos no presente estudo assemelha-se com o trabalho da FUNASA (2007b), pois a água bruta analisada desse foi coletada na entrada da estação de tratamento piloto, já no trabalho de Delazari (2000) a coleta das amostras se deu no meio da represa.

5.3.3 Avaliação qualitativa e quantitativa do fitoplâncton nas amostras água bruta.

Foi registrado um total de 22 táxons, sendo 8 da Classe *Cyanophyceae*, 6 *Chlorophyceae*, 6 *Zygnemaphyceae*, 1 *Bacillariophyceae* e 1 *Dinophyceae*, conforme Tabela 5.7:

Tabela 5.7 - Listas dos táxons e numero de indivíduos por mL

Algas numericamente representativas	Datas de coleta	
	Mai/2010	Junho/2010
Bacillariophyceae		
<i>Nitzschia acicularis</i> W. Smith	106	
Chlorophyceae		
<i>Ankistrodesmus gracialis</i> (Reinsch) Koesikov		212
<i>Crucigenia retangulare</i> (Braun) Gay		106
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thuret) Kom.-Leg.	12.296	2.226
<i>Monoraphidium</i> sp.		1.590
<i>Scenedesmus bicaudatus</i> (Hansgerg) Chodat	106	
<i>Scenedesmus ecornis</i> (Ralfs) Chodat	424	
Cyanophyceae		
<i>Anabaena</i> sp.	5.830	35.086
<i>Pseudoanabaena</i> sp.	1.590	
<i>Merismopedia</i> sp.	106	

Tabela 5.7 – Listas dos táxons e número de indivíduos por mL (continuação)

Algas numericamente representativas	Datas de coleta	
	Maior/2010	Junho/2010
<i>Spirulina</i> sp.		424
<i>Synechococcus</i> cf. <i>sigmoideus</i>	636	
<i>Synechococcus elegans</i> (Woloszynska) Komárek	636	
<i>Synechococcus nidulans</i>	16.642	15.052
<i>Synechococcus</i> sp		2.438
Dinophyceae		
<i>Peridinium</i> sp.		212
Zygnemaphyceae		
<i>Closterium</i> sp.		212
<i>Cosmarium asphaerosporum</i>		212
<i>Staurastrum</i> sp.1		106
<i>Staurastrum</i> sp.2	1.378	2.650
<i>Staurodesmus</i> cf. <i>indentatus</i>	106	212
<i>Staurodesmus</i> sp.	106	
Total de indivíduos por unidade de volume (mL)	39.962	60.738

As classes que apresentaram maior contribuição para a riqueza de táxons nos pontos analisados foram *Cyanophyceae* (36%), *Chlorophyceae* (27%) e *Zygnemaphyceae* (27%), conforme ilustra a Figura 5.10.

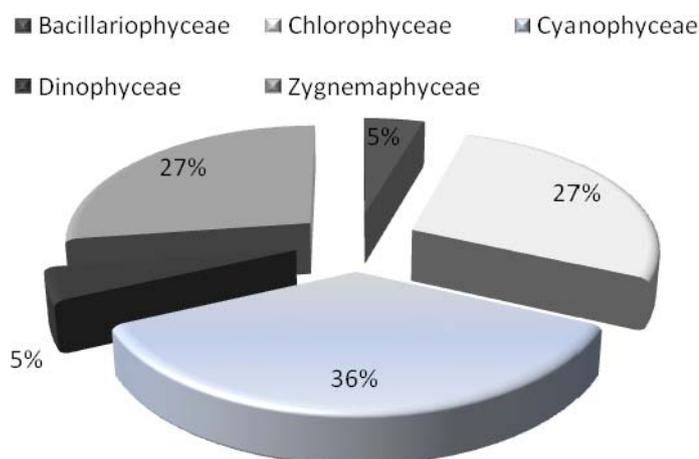


Figura 5.10 - Contribuição das Classes de algas fitoplanctônicas (em %), baseada na riqueza de táxons, no período seco.

No trabalho FUNASA (2007b) as classes mais expressivas em riqueza também foram *Chlorophyceae*, *Cyanophyceae* e *Zygnemaphyceae*, (34%, 33% e 25%, respectivamente).

As classes que apresentaram maior contribuição para densidade fitoplanctônica nos pontos analisados foram, *Cyanophyceae* (63,7% em maio e 87,3% em junho) e *Chlorophyceae* (32%

em maio e 6,8% em junho) seguida de Zygnemaphyceae (4% em maio e 5,6% em junho), conforme ilustra a Figura 5.11.

Em termos de densidade total, os valores correspondentes aos meses de coleta, maio e junho, ficaram dentro da faixa de valores encontrados neste mesmo período do trabalho FUNASA (2007b) para o ponto de captação.

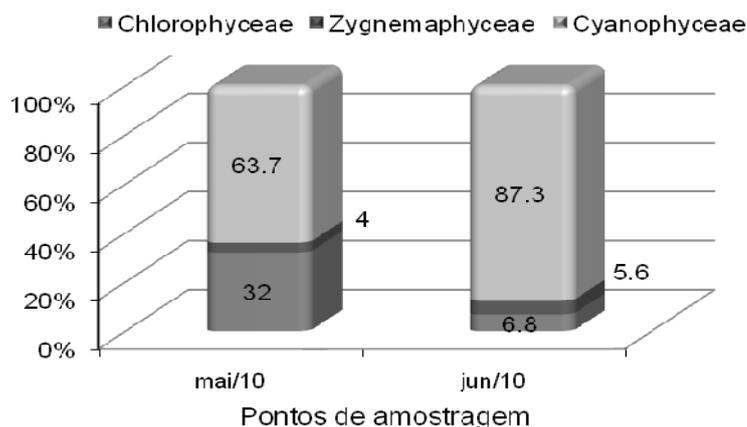


Figura 5.11 - Distribuição das classes mais representativas de algas fitoplanctônicas (em %), baseada na densidade nos meses de maio e junho.

Os gêneros mais expressivos em número de indivíduos foram as Cyanophyceae *Anabaena* sp. e *Synechococcus nidulans*, a Chlorophyceae *Monoraphidium contortum* e a Zygnemaphyceae *Staurastrum* sp.2. Com exceção do gênero *Anabaena* as algas listadas foram também levantadas nos trabalhos Delazari (2000) e FUNASA (2007b).

Nos trabalhos Delazari (2000) e FUNASA (2007b) os autores destacaram a dominância de *Cylindrospermopsis raciborskii*, sendo que o primeiro faz referência ao período de verão. O segundo trabalho listou esta alga nos meses de inverno (período seco). O presente estudo, esta espécie não foi encontrada no período de maio a junho. Para o período de verão FUNASA (2007A) destacou a dominância de *Synechococcus nidulans*.

Dos quatro gêneros da classe Cyanophyceae encontrados destaca-se o gênero *Anabaena* que tem potencial para a produção de neurotoxinas e hepatotoxinas. Todos os gêneros de cianobactérias são produtoras de dermatotoxinas, porém a toxicidade varia de espécie para espécie; dentro dos gêneros pode haver cepas produtoras e não produtoras de toxinas (CALIJURI; ALVES; SANTOS, 2006) e (FUNASA, 2003).

Além do potencial tóxico, a presença de populações algais nos reservatórios torna mais problemática a operacionalidade dos sistemas de tratamento e podem causar impactos negativos na qualidade das águas distribuídas e interferir no processo de clarificação. A

Tabela 5.8 correlaciona gêneros de as algas fitoplanctônicas encontradas neste estudo com alguns problemas causados por algas no sistema de abastecimento de água tratada baseado em Di Bernardo (1995) e Branco (1986).

Tabela 5.8 - Gêneros de algas encontradas neste estudo e problemas operacionais que podem ocorrer no sistema de abastecimento de água (adaptado de Di Bernardo (1995) e Branco (1986)).

Gêneros de algas encontrados no presente estudo	Problemas causados por algas no sistema de abastecimento	
<i>Anabaena, Closterium, Nitzchia, Peridinium</i>	Colmatação dos filtros	
<i>Anabaena, Nitzchia</i>	Interferência na coagulação	
<i>Anabaena, Closterium, Nitzchia, Scenedemus, Cosmarium, Staurastrum,</i>	Capim	Sabor e odor
<i>Peridinium</i>	Pepino	
<i>Anabaena, Nitzchia</i>	*Bolor	
<i>Peridinium</i>	*Peixe	
<i>Anabaena</i>	*Séptico	
<i>Cosmarium</i>	Coloração na água	
<i>Closterium, Scenedemus, Cosmarium</i>	Persistência no sistema de distribuição de água	
<i>Anabaena, Scenedemus</i>	Diminuição da dureza da água	

*Quando em elevada concentração

5.3.4 Eficiência da coagulação, floculação e flotação

A eficiência da flotação foi avaliada em função da remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez, absorbâncias 254 e 665nm e fitoplâncton, para os tratamentos 1 e 2 que correspondem as dosagens de 15 e 30mg/L de sulfato de alumínio, respectivamente, sendo aplicados na água bruta dos meses de maio e junho. A Tabela 5.9 apresenta os resultados dos ensaios de flotação dos tratamentos nos períodos citados.

Tabela 5.9 - Valores remanescentes dos parâmetros analisados na água flotada - Tratamentos 1 e 2 nos dois meses de estudo da etapa 3.

PARÂMETROS	Maio/2010			Junho/2010		
	Água Bruta	Tratamentos		Água Bruta	Tratamentos	
		1	2		1	2
pH	6,87	5,86	6,44	6,67	5,67	6,38
Cor Aparente uC	106	45,87	35,43	82	38,91	14,56
Turbidez UT	6,5	3,1	2,0	4,0	3,0	1,6
Absorbância a 254 nm	0,189	0,080	0,055	0,115	0,068	0,035
Absorbância a 665 nm	0,016	0,008	0,007	0,015	0,010	0,004
Fitoplâncton ind/mL	31.962	3.620	1.991	60.738	9.215	996

1- dosagem de $Al_2(SO_4)_3 = 15\text{mg/L}$; 2- dosagem de $Al_2(SO_4)_3 = 30\text{mg/L}$

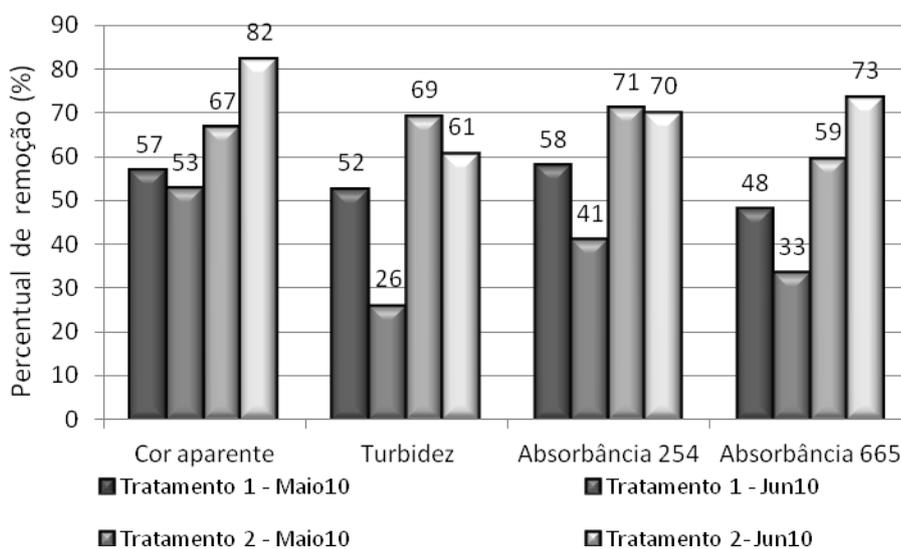
Valores médios de dois ensaios

O tratamento 2, referente à dosagem ótima definida pelo diagrama de coagulação, apresentou resultados de maior eficiência na remoção dos quatro parâmetros nos dois meses estudados (maio e junho), apresentando 74% de remoção da cor aparente, (media dos dois meses). Este resultado está dentro do esperado segundo o diagrama de coagulação para águas com características do período de seca (Figura 5.4). O percentual de remoção dos parâmetros turbidez, absorvâncias 254 e absorvância 665, foram 65, 70 e 66%, respectivamente.

Os resultados médios de remoção dos parâmetros analisados no tratamento 1 foram: 55% cor aparente, 39% turbidez, 49% absorvâncias 254 e 49% absorvância 665. Estes resultados confirmam o exposto por Di Bernardo, Di Bernardo e Centurione Filho (2002), indicando o mecanismo de varredura como melhor aplicação do sulfato de alumínio para remoção das impurezas em tratamentos com separação de fases.

Apesar de um maior gasto com coagulante e adição de alcalinizante, o tratamento 2 (aplicação de 30mg/L de sulfato de alumínio em pH 6,4) mostrou-se adequado removendo maior porção do material particulado e dissolvido facilitando a clarificação da água nas etapas seguintes.

A Figura 5.12 apresenta os resultados correspondentes à Tabela 5.8, relativos aos percentuais de remoção dos parâmetros analisados em relação à água bruta.



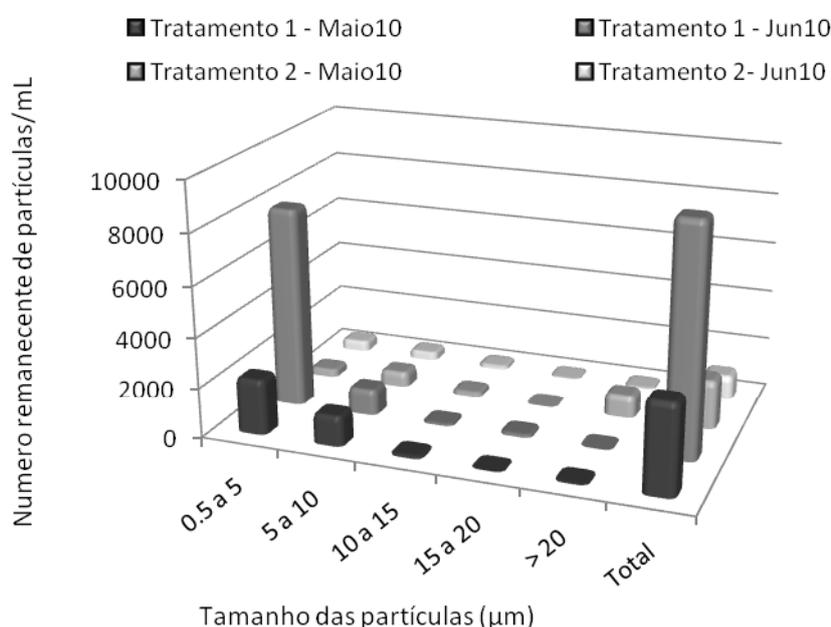
Legenda: DSA = 15 e 30 mg/L; Tmr = 30s; Gmr = 800s⁻¹; Tf = 20 min; Gf = 30s⁻¹; T_{sat} = 10 min; P = 400 kPa; R = 15 %; Vf = 10cm/min.

Figura 5.12 - Percentual de remoção de cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 na flotação – Tratamentos 1 e 2 nos meses de maio e junho.

Os menores valores remanescentes do número de algas (partículas) na água flotada foram encontrados no tratamento 2, correspondendo com a remoção do parâmetro absorvância 665.

A Figura 5.13 apresenta a variação do número remanescente de partículas em função do seu tamanho. Os resultados da contagem indicaram que a maior parte das partículas remanescentes está entre os tamanhos 0,5 e 10 μ m.

Centurione Filho e Di Bernardo (2002) avaliaram em bancada a flotação seguida de filtração em água natural com densidade de algas de 5×10^5 ind./mL; para a taxa de 15% de recirculação, também aplicada neste estudo. Os autores verificaram as menores porcentagens remanescentes do número de partículas em todas as faixas de tamanhos. (exceto na faixa entre 8 a 16 μ m em que foi similar aos resultados para R = 10%).



Legenda: DSA = 15 e 30 mg/L; Tmr = 30s; Gmr = $800s^{-1}$; Tf = 20 min; Gf = $30s^{-1}$; Tsat = 10 min; P = 400 kPa; R = 15 %; Vf = 10cm/min.

Figura 5.13 - Número remanescente de partículas em função do tamanho das partículas na flotação – Tratamentos 1 e 2 nos meses de maio e junho.

5.3.5 Eficiência da inter-oxidação com cloro.

Para avaliação da eficiência da inter-oxidação no processo de clarificação da água, foram analisadas a remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 para os tratamentos 1B (dosagem de 15mg/L de sulfato de alumínio e 0,8mg/L de cloro) e 2B (dosagem de 30mg/L de sulfato de alumínio e 0,5mg/L de cloro). Os tratamentos 1B e 2B foram aplicados na água bruta dos meses de maio e junho.

Como a reação do cloro na inter-oxidação acontece dentro dos filtros, para este ensaio foi necessário fazer a coleta da água floculada em becker e então aplicar a dosagem de cloro estabelecida para os tratamentos 1B e 2B.

Os resultados dos ensaios de flotação seguidos de inter-oxidação dos tratamentos 1B e 2B são apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Valores remanescentes dos parâmetros analisados na água flotada seguida de inter-oxidação - Tratamentos 1B e 2B nos dois meses de estudo da etapa 3.

PARÂMETROS	Maio/2010			Junho/2010		
	Água Bruta	Tratamentos		Água Bruta	Tratamentos	
		1B	2B		1B	2B
pH	6,87	6,10	6,30	6,67	5,78	6,55
Cor Aparente uC	106	35,43	23,25	82	35,43	7,60
Turbidez UT	6,5	2,7	0,3	4,1	2,5	0,9
Absorbância a 254 nm	0,189	0,060	0,042	0,115	0,060	0,022
Absorbância a 665 nm	0,016	0,008	0,002	0,015	0,008	0,002
Residual de cloro mg/L	-	0,76	0,10	-	0,66	0,04

1- dosagem de $Al_2(SO_4)_3 = 15\text{mg/L}$; 2- dosagem de $Al_2(SO_4)_3 = 30\text{mg/L}$

1B- dosagem de $Cl_2 = 0.8\text{mg/L}$; 2B- dosagem de $Cl_2 = 0.5\text{mg/L}$

Valores médios de dois ensaios

Os resultados dos testes de oxidação entre os processos de flotação e filtração apresentaram valores com baixa eficiência de remoção, principalmente em relação ao parâmetro absorbância 254 (9% - Figura 5.15) indicativo de presença de matéria orgânica natural.

Apesar das baixas concentrações aplicadas de cloro, pode-se observar uma menor demanda de cloro no tratamento 1B nas amostras dos dois meses estudados, porém no processo anterior de flotação o tratamento 1 (Figura 5.12) apresentou um menor valor de remoção de absorbância 254. A relação inversa também foi observada para o tratamento 2B na inter-oxidação e tratamento 2 na flotação.

A Figura 5.14 apresenta os resultados da Tabela 5.10 em percentual de remoção dos parâmetros analisados em relação à água bruta flotada e oxidada. Na Figura 5.15 são expressos os valores de eficiência da inter-oxidação em relação aos parâmetros analisados.

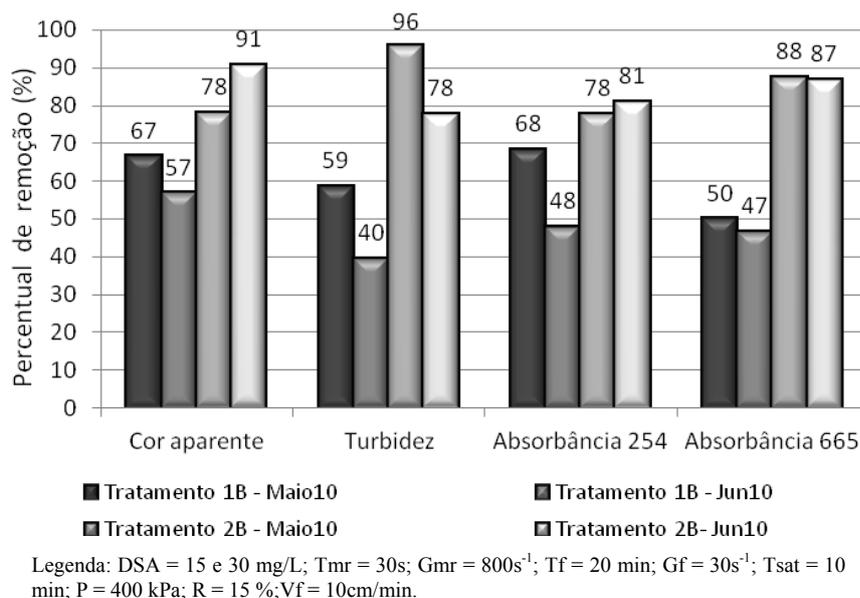


Figura 5.14 - Percentual de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 na flotação seguida de inter-oxidação – Tratamentos 1B e 2B nos meses de maio e junho.

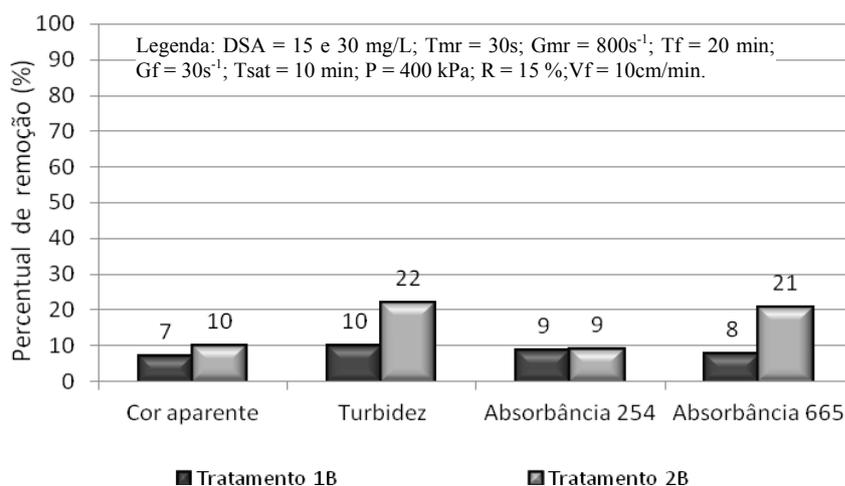


Figura 5.15 - Percentual médio de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 na inter-oxidação – Tratamentos 1B e 2B.

5.3.6 Eficiência da filtração seguida de desinfecção.

A remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 e fitoplâncton foram medidos para avaliar a eficiência da filtração em areia seguida de desinfecção no processo final de clarificação da água. Foram analisados os tratamentos 1A e 2A (tratamento completo sem inter-oxidação) e 1B e 2B (tratamento completo com inter-oxidação). Os quatro tratamentos foram aplicados na água bruta dos meses de maio e junho.

A Tabela 5.11 apresenta os resultados dos ensaios de filtragem seguido de desinfecção para tratamentos 1A, 1B, 2A e 2B nos períodos citados.

Tabela 5.11 - Valores remanescentes dos parâmetros analisados na água filtrada seguido de desinfecção - Tratamentos 1A, 1B, 2A e 2B nos dois meses de estudo da etapa 3.

PARÂMETROS	Tratamentos -Maio/10				Tratamentos- Junho/10				Portaria MS 518/04
	1A	1B	2A	2B	1A	1B	2A	2B	
pH	6,73	6,83	6,96	7,11	6,23	6,50	6,56	6,80	6,0 a 9,5
Cor Aparente uC	4,12	7,60	0,64	4,12	7,60	7,60	4,12	4,20	15
Turbidez UT	0,5	0,8	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	1
Absorbância a 254 nm	0,034	0,051	0,028	0,039	0,031	0,040	0,038	0,015	-
Absorbância a 665 nm	0,001	0,003	0,001	0,003	0,001	0,002	0,002	0,001	-
Residual de cloro mg/L 30min	3,71	2,99	3,37	1,87	4,02	4,77	4,70	4,35	> 0,5; < 5,0
Residual de alumínio mg/L	-	-	-	-	0,00	0,05	0,00	0,04	0,2
Fitoplâncton ind/mL	2798	1980	4508	3128	3493	965	881	898	-

1- dosagem de $Al_2(SO_4)_3 = 15\text{mg/L}$; 2- dosagem de $Al_2(SO_4)_3 = 30\text{mg/L}$

Valores médios de dois ensaios

1B- dosagem de $Cl_2 = 0.8\text{mg/L}$; 2B- dosagem de $Cl_2 = 0.5\text{mg/L}$

As águas clarificadas das quatro linhas de tratamentos, em relação aos parâmetros analisados e aos valores residuais de cloro e alumínio, ficaram dentro do padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS518/04 (Tabela 5.11).

As Figuras 5.16 e 5.17 apresentam os resultados da Tabela 5.11 em percentual de remoção dos parâmetros analisados em relação à água bruta, após tratamento completo.

Os resultados médios dos tratamentos deste estudo na remoção de cor e turbidez foram da ordem de 94% e 91%, respectivamente, utilizando meio filtrante misto composto com de grãos de areia de tamanho 1,20 a 0,60mm (70%) e 0,60 a 0,30mm (30%).

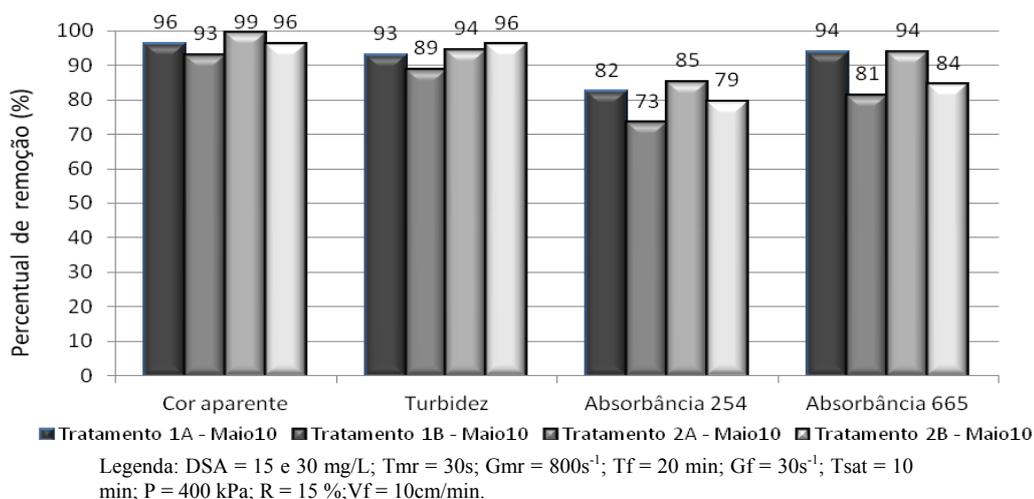
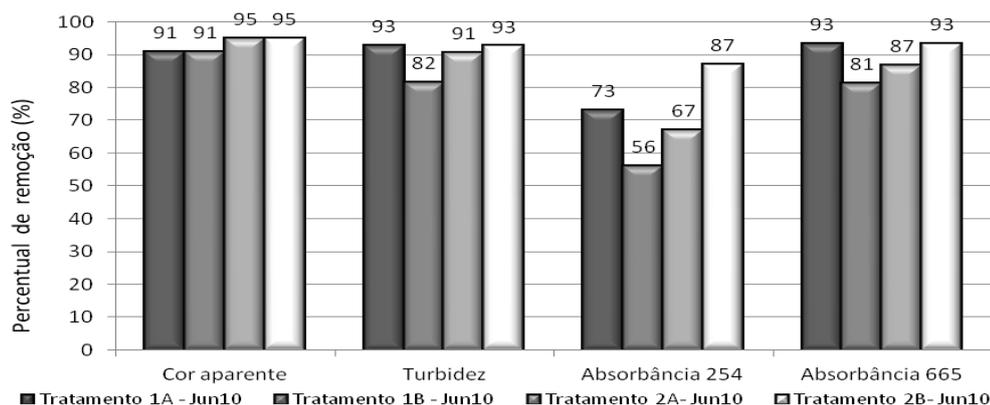


Figura 5.16 - Percentual de remoção de cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 após filtração e desinfecção – Tratamentos 1A, 2A, 1B e 2B no mês de maio.



Legenda: DSA = 15 e 30 mg/L; Tmr = 30s; Gmr = 800s⁻¹; Tf = 20 min; Gf = 30s⁻¹; T_{sat} = 10 min; P = 400 kPa; R = 15 %; Vf = 10cm/min. 54 e 665 após filtração e desinfecção – Tratamentos 1A, 2A, 1B e 2B no mês de Junho.

No trabalho de Centurione Filho e Di Bernardo (2003) em água produzida com algas em bancada a flotação seguida de filtração os resultados da remoção de cor aparente e turbidez utilizando grãos de areia com tamanho de 0,42 a 0,84 mm e 0,59 a 1,41 mm foram da ordem de 98 a 99% respectivamente. Este resultado também foi verificado em outro trabalho dos mesmos autores em 2002, porém com aplicação dos processos de floto-filtração em águas naturais com densidade de algas de 5x10⁵ ind./mL.

Na Figura 5.18 são expressos os resultados médios de eficiência dos processos de filtração e desinfecção entre os meses de maio e junho em percentual de remoção dos parâmetros analisados em relação á água bruta.

O processo de filtração seguido de desinfecção com cloro (aplicação de 5mg Cl₂/mL) mostrou-se eficiente na remoção dos parâmetros analisados para todas as águas estudadas compensando os valores menores de remoção das etapas anteriores (Figura 5.18).

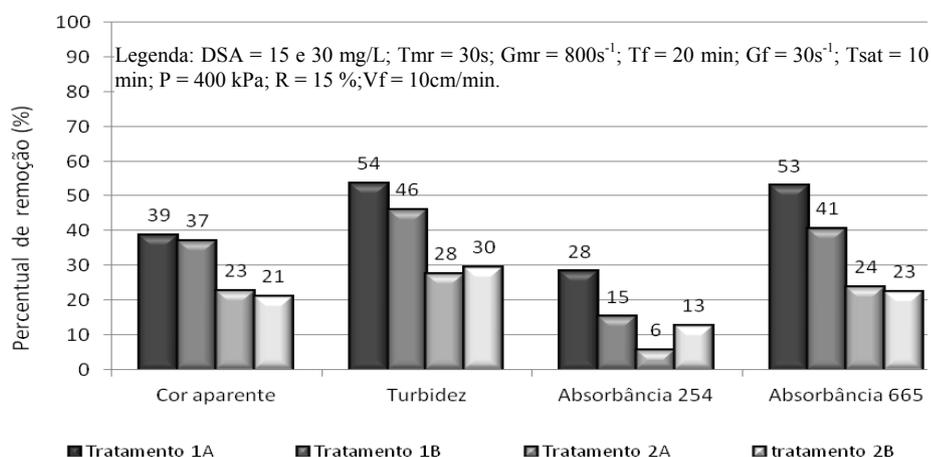


Figura 5.18 - Percentual de remoção de cor aparente, turbidez, absorbâncias 254 e 665 da filtração –Tratamentos 1A, 1B, 2A e 2 B.

Na Figura 5.19 são exibidos os valores de partículas remanescentes na água clarificada após filtração e desinfecção. Os valores em percentual médio de remoção do fitoplâncton foram: tratamento 1A (95%), tratamento 1B (92%), tratamento 2A (95%) e tratamento 2B (98%).

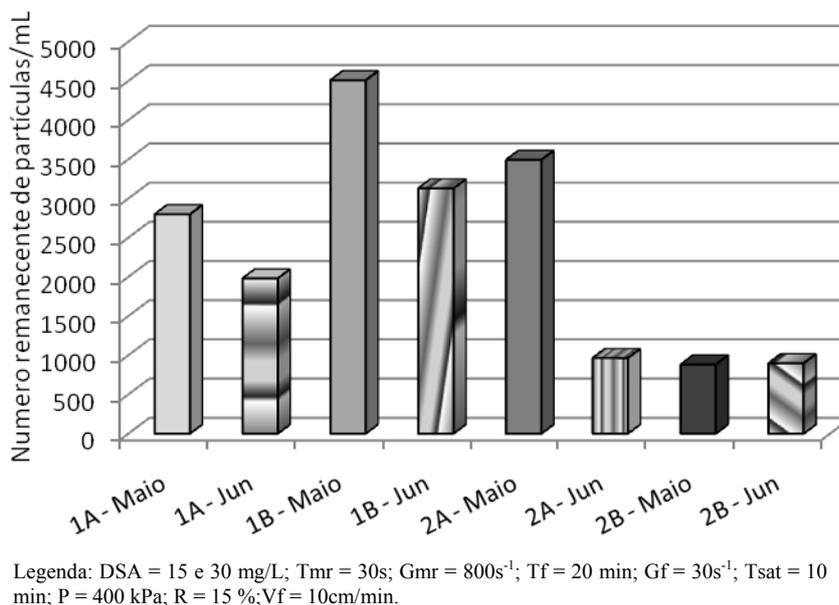


Figura 5.19 - Número remanescente de partículas após tratamento completo – Tratamentos 1A, 1B, 2A e 2B nos meses de maio e junho.

5.3.7 Formação e potencial de formação de trialometanos

A formação de trialometanos (THM) e do potencial de formação (PTMH) foram analisados para os quatro tratamentos das águas clarificadas com processo completo 1A, 1B, 2A e 2B sendo os resultados expressos nas Tabelas 5.12 e 5.13.

O padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS518/04 limita a um valor máximo permitido de 100µg/L para trialometanos totais; somatória dos quatro principais sub-produtos (blorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio). Todos os tratamentos apresentaram resultados positivos para a formação de clorofórmio e bromodicloromatano, porém abaixo do limite estabelecido pela Portaria MS 518/04 para TTHM.

Tabela 5.12 - Resultado dos testes para formação e potencial de formação de trialometanos – Tratamentos 1A e 1B

Subproduto (µg/L) Método USEPA 551.1	Tempo retenção Min	Resultados expressos em µg/L				
		Água bruta	1A THM	1A PTHM	1B THM	1B PTHM
Diclorometano (PI)	4,04					
Clorofórmio	6,44	<0,1	6,89	22,24	8,33	13,33
Bromodiclorometano	9,51	<0,1	1,60	4,86	1,28	2,61
Dibromoclorometano	13,00	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bromofórmio	16,65	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trialometanos totais TTHM		<0,1	8,49	27,1	9,61	15,94

Tabela 5.13 - Resultado dos testes de formação e potencial de formação de trialometanos – Tratamentos 2A e 2B

Subproduto (µg/L) Método USEPA 551.1	Tempo retenção Min	Resultados expressos em µg/L			
		2A THM	2A PTHM	2B THM	2B PTHM
Diclorometano (PI)	4,04				
Clorofórmio	6,44	5,47	16,84	13,08	12,13
Bromodiclorometano	9,51	1,08	3,76	1,18	2,96
Dibromoclorometano	13,00	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Bromofórmio	16,65	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Trialometanos totais TTHM		6,55	20,60	14,26	15,09

Observa-se nos resultados de THM e PTHM, em ordem de grandeza, uma maior a formação de clorofórmio seguido da formação de bromodiclorometano o qual indica a presença do íon bromo no manancial. Os resultados confirmam o exposto por FUNASA (2007a), que afirma que dos quatro principais THMs, o clorofórmio está presente geralmente em maiores concentrações, enquanto que a presença dos demais depende da concentração de bromo inorgânico na água, e que em águas superficiais brasileiras, as maiores contribuições de THMs em cuja constituição entram o bromo têm sido a do bromodiclorometano (16%) e a do dibromoclorometano (3%).

Paschoalato, Trimailovas e Di Bernardo (2008) avaliaram a formação de subprodutos com a utilização dos pré-oxidantes: cloro, ozônio e peroxônio, em água preparada com adição de substâncias húmicas (pH 7,6; cor aparente 200uH; absorvância 254 0,264), por meio do uso da pré-oxidação (5mg/L de cloro em hipoclorito de cálcio), presença e ausência de coagulação (14mg/L de sulfato de alumínio), filtração em papel e pós-cloração (5mg/L). Os autores encontraram valores de THM abaixo do limite da Portaria MS 518/04, porém verificaram que

a coagulação com sulfato de alumínio proporcionou redução acentuada na formação de trihalometanos. Os baixos valores dos resultados de formação de THM e PTHM do presente estudo podem estar relacionados ao uso do sulfato de alumínio como coagulante.

Outro fator que pode estar relacionado aos resultados encontrados de formação de THM e PTHM é a eficiência da remoção do material particulado no processo de clarificação como verificado no trabalho de Borges (2003) que avaliou a presença de algas de cultivo e a influência destas na formação de THM evidenciando que existe um maior potencial de formação de TTHM nas amostras sem filtrar.

No mesmo trabalho citado acima também foi verificado que quando da remoção das células, o material extracelular, compostos solúveis que passariam por todo o processo de tratamento de água, também apresenta um potencial de formação, ainda que menor do que o apresentado pelas algas. Este fato pode ser evidenciado no presente estudo avaliando os tratamentos sem inter-oxidação 1A e 2A os quais apresentaram os maiores valores de PTHM 27,1 e 20,6 µg/L, em relação aos tratamentos com inter-oxidação 1B e 2B (15,94 e 15,09µg/L), com tudo, não foi possível fazer uma associação dos valores de absorbância 254 medida (1A 0,034; 1B 0,051; 2A 0,028; 2B: 0,039) com a formação de THM e PTHM.

6. CONCLUSÕES

Cabe ressaltar que as conclusões a seguir são referentes à qualidade das amostras de água dentro do período de coleta de cada etapa de estudo.

O estudo de coagulação com sulfato de alumínio resultou em regiões semelhantes de remoção dos parâmetros cor aparente, cor real e turbidez nos períodos estudados (faixa entre pH 6,3 e 6,5 e concentração de 25 a 35 mg/L de sulfato de alumínio, indicando mecanismo de remoção por varredura), podendo ser aplicados a estes dois períodos o mesmo par de valores de dosagem de coagulante (30mg/L) e pH 6,30. Contudo, observa-se uma menor eficiência, de 71%, na remoção do parâmetro cor aparente no diagrama de coagulação do período seco em relação ao diagrama do período de chuvas (93%).

Na otimização da flotação, considerando as velocidades ascensionais de 5, 10 e 15cm/min, os resultados indicaram melhor remoção do material particulado (algas e flocos) (95%) e cor real (74%) na velocidade ascensional de 5cm/min, quando comparados com os resultados para as velocidades de 10 e 15cm/min.

Nos testes de inter-oxidação a demanda de cloro foi baixa, indicando a eficiência da flotação na remoção da matéria orgânica evidenciada pela absorvância em UV 254nm.

Para estudos em escala de bancada a utilização do composto hipoclorito de cálcio comercial (65% de pureza) não mostrou muita praticidade devido à aplicação de pequenas dosagens de cloro em volumes amostrais pequenos (60mL de cada jarro do floteste).

Avaliação qualitativa e quantitativa de fitoplâncton na água bruta permitiu o registro de 22 táxons, sendo a Classe *Cyanophyceae* a mais representativa em riqueza e em densidade relativa total nos dois meses de estudo, destacando o domínio das espécies *Synechococcus nidulans* e *Anabaena* sp..

Dos quatro gêneros da classe *Cyanophyceae* encontrados destaca-se o gênero *Anabaena* que tem potencial para a produção de neurotoxinas e hepatotoxinas, não sendo registrada a presença desta em trabalhos anteriores.

Considerando as duas dosagens de coagulante estudadas, uma com pares de valores na região ótima de coagulação e outra fora desta região, apesar de um maior gasto com coagulante e alcalinizante, o tratamento na região ótima de coagulação (aplicação de 30mg/L de sulfato de alumínio em pH 6,4) mostrou-se adequado para as águas coletadas nos dois meses estudados

(maio e junho), removendo na flotação maior porção do material particulado (algas e flocos) e dissolvido facilitando a clarificação da água nas etapas seguintes.

As linhas de tratamentos considerando a flotação e meio filtrante seguido de desinfecção com cloro mostrou-se eficiente na remoção dos parâmetros analisados, uma vez que a inter-oxidação apresentou, nas dosagens aplicadas, baixa eficiência de remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez, absorvâncias 254 e 665 nas linhas de tratamento estudadas.

Após o tratamento final, todas as linhas de tratamento apresentaram resultados satisfatórios para os parâmetros analisados, atendendo o padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS 518/04. Tais resultados apresentaram valores próximos indicando a participação da filtração como etapa de grande contribuição para clarificação da água, onde a filtração compensou os valores menores de remoção das etapas anteriores.

As sequências de tratamentos estudados, variando-se dosagem de coagulante e considerando ou não a etapa de inter-oxidação apresentaram resultados positivos para a formação de clorofórmio e bromodiclorometano. Porém estes valores se apresentaram abaixo dos limites estabelecidos pela Portaria MS 518/04 para TTHM. A formação de bromodiclorometano indica a presença do íon bromo no manancial.

7. RECOMENDAÇÕES

Realização de estudos de coagulação-floculação-flotação e inter-oxidação, aplicando outros tipos de coagulante como o policloreto de alumínio (PAC) nas águas do manancial Duas Bocas.

Recomenda-se para aplicação de oxidante no processo de inter-cloração, em escala de bancada, o uso de reagentes com grau de pureza maior que a do composto hipoclorito de cálcio comercial.

Recomenda-se que na ETA Duas Bocas passe a fazer o ajuste do pH de coagulação com alcalinizante a fim de otimizar a flotação para melhor remoção das algas, conforme foi verificado nos diagramas de coagulação dos períodos de seca e de chuvas.

Avaliação da formação de trialometanos e potencial de formação de trialometanos nas águas do manancial Duas Bocas para o período de chuvas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUL EISH, M. Y. Z.; WELLS, M. J. M. Assessing the trihalomethane formation potential of aquatic fulvic and humic acids fractionated using thin-layer chromatography. **Journal of Chromatography A**, v. 1116, p. 272–276, 2006.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed. N. York: APHA, AWWA, WPCF, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

BACKER, L. C.; ASHLEY, D. L.; BONIN, M. A.; CARDINALI, F. L.; KIESZAK, S. M.; WOOTENH, J. V. Household exposures to drinking water disinfection by-products: whole blood trihalomethane levels. **Journal of exposure analysis and environmental epidemiology**, 10, p. 321-326, 2000.

BALLECH, E. **Los dinoflagelados Del Atlântico Sudoccidental**. Madrid: Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 1984.

BICUDO, C. E. de M.; MENEZES, M. (Org.) **Gêneros de algas de águas continentais do Brasil (chave de identificação e descrições)**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2006.

BOF, J. G. **Remoção de turbidez e fitoplâncton por meio da sedimentação e da flotação, com base no diagrama de coagulação do sulfato de alumínio: avaliação em escala de bancada**. 2007. 138p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

BORGES, J. T. **A utilização da técnica MIMS na determinação de trihalometanos em águas de abastecimento e a influência do íon brometo, da amônia e das algas na formação desses compostos**. 2003. 254 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BOURRELLY, P. (1970) **Les algues d'eau douce. Initiation a la systematique**. III. Les algues bleues et rouges, les Eugleniens, Perdinieniens et Cryptomonadines. Paris: N. Boubée et Cie, 1970.

BRANCO, S. M. **Hidrobiologia aplicada à engenharia ambiental**. 3. ed. São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1986. 641p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências**. Brasília, 2005.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano**. Brasília: Funasa, 2003.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Potenciais fatores de risco à saúde decorrentes da presença de subprodutos de cloração na água utilizada para consumo humano.** Brasília: Funasa, 2007.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Potencial de florações de cianobactérias em um reservatório de abastecimento doméstico no estado do Espírito Santo (reservatório Duas Bocas – Cariacica – ES).** Brasília: Funasa, 2007.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004. **Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.** Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

BRYANT, E. A.; FULTON, G. P.; BUDD, G. C. **Disinfection Alternatives for Safe Drinking Water.** New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

CALIJURI, M. C.; ALVES, M. S. A.; SANTOS, A. C. A. **Cianobactérias e cianotoxinas em águas continentais.** São Carlos: Rima, 2006.

CENTURIONE FILHO, P. L.; DI BERNARDO, L. **Ensaio de flotação e filtração em equipamento especial utilizando água natural proveniente de curso d'água eutrofizado.** Trabalho apresentado no XXVIII Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Cacún, México, 2002. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/i-004.pdf>>. Acesso em 12 ago. 2010

CENTURIONE FILHO, P. L.; DI BERNARDO, L. Coagulação, floculação e flotação para remoção de algas. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., 2001, Salvador. Anais ... Salvador: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. II – 004. p. 247-256.

CENTURIONE FILHO, P. L.; DI BERNARDO, L. Procedimento para execução de ensaios de flotação/filtração em equipamento de bancada. **Engenharia sanitária e ambiental.** v. 8, nº 1 jan./mar. 2003, nº 2, p.39-44, abr./jun. 2003.

COMPANHIA ESPIRITO SANTENSE DE SANEAMENTO – CESAN. Disponível em: <<http://www.cesan.com.br/news.php?item.393>>. Acesso em: 15 jan.2010.

DELAZARI, A. B. **Comunidade fitoplanctônica do reservatório Duas Bocas (Reserva Biológica de duas Bocas) – ES: variação vertical e temporal em duas épocas distintas.** 2000. 188p. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2000

DESOUZA, S. R.; OLIVEIRA, K. F.; SOUZA, C. S.; KILIKIAN, B. V.; LALUCE, C. Yeast flotation viewed as the result of the interplay of supernatant composition and cell-wall hydrophobicity. **Colloid and Surfaces B: Biointerfaces,** v. 29, p. 309-319, 2003.

DI BERNARDO, L., MENDES, C. G. N., BRANDÃO, C. C. S., SENS, M. L. e PÁDUA, V. L. **Tratamento de Água para Abastecimento por Filtração Direta.** PROSAB 3. São Carlos: ABES, 2003, 498p.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. S. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005. 792 p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A. S.; CENTURIONE FILHO, P. L. **Ensaio de tratabilidade de águas e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: RiMa, 2002.

DI BERNARDO, LUIZ. **Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento**. Rio de Janeiro: ABES, 1995.

EDZWALD, J. K.; BECKER, W. C.; WATTIER K. L. Surrogate Parameters for monitoring organic matter and THM precursors. **Journal of the American Water Works Association**, v.77, n.4, p.122-132,1985.

FERREIRA FILHO, S.S. Remoção de compostos orgânicos precursores de subprodutos da desinfecção e seu impacto na formação de trihalometanos em águas de abastecimento. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.6, n1 e 2, p. 53-60, Jan/Junho 2001.

INSTITUTO CAPIXABA DE PESQUISA, ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL – INCAPER. Disponível em: <http://hidrometeorologia.incaper.es.gov.br/index.php?pagina=vitoria_sh>. Acesso em: 15 jan.2010.

INSTITUTO DE DEFESA AGROPECUÁRIA E FLORESTAL DO ESPÍRITO SANTO – IDAF. Disponível em: <<http://www.idaf.es.gov.br/IDAFInternet/Pages/wfReservaDuasBocas.aspx>>. Acesso em: 15 jan.2010.

KAWAMURA, S. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2th ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

KOMÁREK, J. & FOTT, B. **Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung: Chlorococcales**. G. Das Phytoplankton des Susswassers. Huber Pestalozzi, 1983.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água**. Átomo, 2005.

LOBATO, S. J. M.; FANTININ, L.; MORESCH, V. Implantação do processo de flotação por ar dissolvido em substituição ao processo de decantação de alta taxa no pré-tratamento da água bruta da estação de tratamento de água de Mantenópolis – ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., 1997, Foz do Iguaçu. Anais.....Foz do Iguaçu: ABES, 1997. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsacd/abes97/mantenopoli.pdf> Acesso em: 10 jan . 2009.

LOBATO, S. J. M.; REALI, M. A. P.; FANTININ, L. O sucesso do emprego da flotação por ar dissolvido no pré-tratamento da água bruta da ETA Meaípe –ES. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 18., 1995, Salvador. **Anais...** Salvador: ABES, 1995. Disco5/9.

LUND, J. W. G.; KIPLING, C. & LeCREN, E. D. The inverted microscope method of estimating algal number and statistical bases of estimating by counting. **Hydrobiologia**, Belgica v.11, p. 143-170, 1958.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de Águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.10, n.1, p. 99–110, jan./mar. 1994.

MONDARDO, R. I.; SENS, M. L.; DALSSASSO, R. L.; SILVA, R. L.; PROENÇA, L. A. O. **Filtração em margem: alternativa como um pré-tratamento à filtração direta na remoção de cianobactérias e saxitoxinas**. Trabalho apresentado no XXXI Congresso Interamericano AIDIS, Santiago, Chile, 2008. Disponível em: <<http://www.documentos.aidis.c l/Trabajo s%20 Oral/.../I-Mondardo-Brasil.doc>>. Acesso em 19 jun. 2010

PÁDUA. V. L. (Coord.) **Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 392 p. (Projeto PROSAB, Edital 5). ISBN 9788570221650.

PÁDUA. V. L. (Coord.). **Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 504 p. (Projeto PROSAB, Edital 4). ISBN 9788570221490

PARRA, O. O. & BICUDO, C. E. M. **Introducción a la biología y sistemática de las algas de aguas continentales**. Santiago, Chile: Gráfica Andes, 1995.

PASCHOALATO, C. F. P. R.; TRIMAILOVAS, M. R.; DI BERNARDO, L. Formação de subprodutos orgânicos halogenados nas operações de pré-oxidação com cloro, ozônio e peroxônio e pós-cloração em água contendo substância húmica. **Engenharia sanitária e ambiental**. v.13, nº 3, p. 313-322, jul/set. 2008.

PAVANI, A; OLIVEIRA, M. D. de; ROBERTO A.; CERESINO, A. Avaliação do sistema de flotação por ar dissolvido e filtração direta descendente para potabilização de águas de represas – Estudo de caso ETA Duas Bocas – Cariacica/ES. **Revista Capixaba de Ciência e Tecnologia**, Vitória, n. 3, p.1-6, 2.sem. 2007.

PEREZ, M. F. **Remoção de fitoplâncton e microcistina de águas de abastecimento, pela associação das técnicas de flotação por ar dissolvido e oxidação química com cloro e permanganato de potássio**. 2008. 254 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação da Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos.

PIVELI, R. P.; KATO, M. T. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2005. 285p.

PRESCOTT, G.W. (1975) **Algae of the western great lakes area**. 6 ed. Iowa: Wm. C. Brown Company Publishers, 1975.

RICHTER, C. A.; NETTO, J. M. A. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgard Blucher, 1991.

ROSALÉM, S. F. **Estudo de identificação e quantificação de trihalometanos em água de abastecimento**. 2007. 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

- SANT'ANNA, C. L. **Chlorococcales (Chlorophyceae) do estado de São Paulo, Brasil**. J.: Cramer: Germany, 1984.
- SCHWARZBOLD, A.; PEDROSO, C. DA S.; MIRANDA, A. L. B.; RAYA-RODRIGUES, M. T. Verificação e adequação das metodologias de análise espectrofotométrica para identificação de clorofila a em amostras de água. **Acta Limnologica Brasiliensia**. v. 11, p. 63-71. 1999.
- SILVA, M. L da; CHAREST-TARDIF, G., KRISHNAN, K.; TARDIF, R. Influence of oral administration of a quaternary mixture of trihalomethanes on their blood kinetics in the rat. **Toxicology Letters**, v. 106, p. 49–57, 1999.
- TOMAS, C. R. **Identifying marine phytoplankton**. Santiago, Califórnia: Academic Press, 1997.
- TOMINGA, M. Y. & MIDIO, A. F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. **Revista de Saúde Pública**, v.33, n. 4, p. 413-21, 1999.
- TUNDISI, J.G.; TUNDISI, T. M.; ROCHA, O. Limnologia de águas interiores, impactos, conservação e recuperação de ecossistemas aquáticos. In: Reboças, A. C.; Braga B.; Tundisi, J. G. (Org.). **Águas doces do Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 2. ed. São Paulo: Escrituras, 2002. p. 195-225
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA Method 551.1: Determination of chlorination disinfection byproducts, chlorinated solvents, and halogenated pesticides/herbicides in drinking water by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron-capture detection**, Ohio, 1995.
- UTERMOHL, H. Zur vervollkommung der quantitativen phytoplankton methodik. **Limnol. Mitt. Int. Verrein**, v.9, p.1-38, 1958.
- VIANNA, M. R. **Hidráulica aplicada às estações de tratamento de água**. ABES, 2006.
- VOGUEL, A. I. **Análise Química Quantitativa/Vogel**; tradução AFONSO, J. C.; AGUIAR, P. F.; ALENCASTRO, R. B. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2008. 488p.
- Weber, C. I. (Ed.). **Biological field and laboratory methods for measuring the quality of surface water and effluents**. Ohio: U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, 1973. EPA 670-4-73-001.
- WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological analyses**. New York: Springer-Verlag, 1991.
- WHITE, D. M.; GARLAND, D. S.; NARR J.; WOOLARD, C. R. Natural organic matter and DBP formation potential in Alaskan water supplies. **Water Research**, v. 37, p. 939-947, 2003.

ANEXO

ANEXO 1 – ENSAIO DE GRANULOMETRIA

Método espectrofotométrico com DPD 4500 CI-G (APHA,2000) adaptado para 10mL de amostra.

LEMAC - Laboratório de Ensaios em Material de Construção

Material: AREIA
 Procedência: FILTRO ETA CESAN

Natureza do Trabalho: Determinação da composição granulométrica

NBR 7217 - Agregados

Nota: Dados do material fornecidos pelo interessado através da solicitação de serviço n°.....

Peneira	AMOSTRA 1		AMOSTRA 2		MÉDIAS	
	Retida	% Retida	Retida	% Retida	% Retida	% Retida Acumulada
• 76						
64						
50						
• 38						
32						
25						
• 19						
12,5						
• 9,5						
6,3						
• 4,8	0		0	0	0	0
• 2,4	0,19	0,06	0,09	0,03	0	0
• 1,2	4,76 *	1,59	4,35	1,45	2	2
• 0,6	223,90	74,72	221,80	73,93	74	76
• 0,3	67,04	22,37	40,15	23,38	23	99
• 0,15	3,08	1,03	3,15 (3,15)	1,05	1	100
FUNDO	0,68	0,23	0,46	0,16	0	
TOTAL	299,65		300,00		100	
Massa Inicial	300,0					
MF - Módulo de finura			2,77			
DMC - Dimensão máxima característica (mm)			1,18 mm			
Classificação - NBR 7211/83						

Massa - precisão de 0,1% da massa da amostra de ensaio.

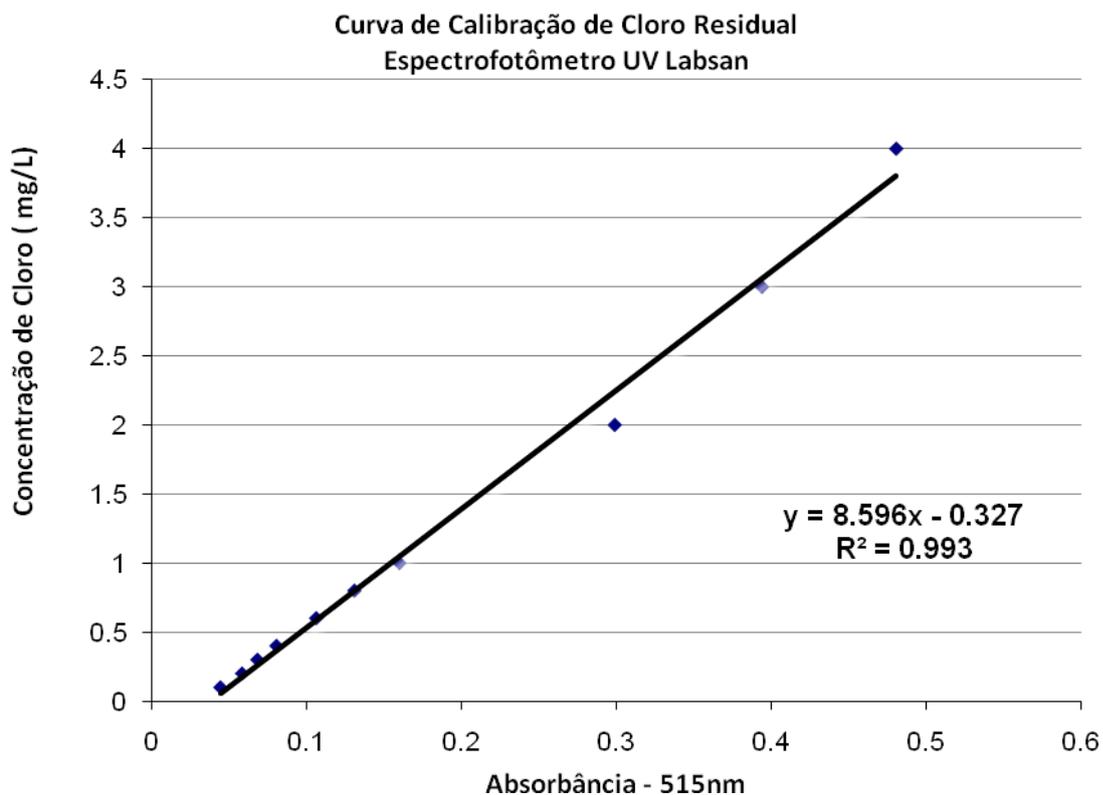
* Antracito.

Vitória, 07 de Julho de 2010

Técnico/Laboratorista: *[Assinatura]*

ANEXO 2 – CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA ANÁLISE DE CLORO RESIDUAL

Método espectrofotométrico com DPD 4500 Cl-G (APHA,2000) adaptado para 10mL de amostra.



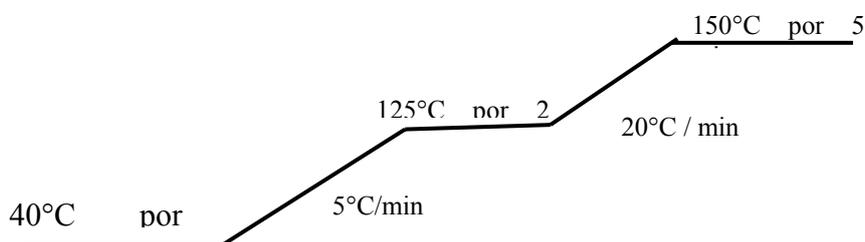
ANEXO 3 – ANALISES DE THM E PTHM – DADOS DE CALIBRAÇÃO E CROMATOGRAMAS

DADOS DE CALIBRAÇÃO

- Padrão Interno: 10µL de Diclorometano 10.000 ppm (1mL de diclorometano puro em 10mL de acetona): 10mg/L

Nº	Tempo (min)	Composto (µg/L)	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
1	4,04	PI – Diclorometano	10	10	10	10	10	10	10
2	6,44	Clorofórmio	10	20	40	60	80	100	120
3	9,51	Bromodiclorometano	10	20	40	60	80	100	120
4	13,00	Dibrocloreto	10	20	40	60	80	100	120
5	16,65	Bromofórmio	10	20	40	60	80	100	120

Rampa de aquecimento da corrida:

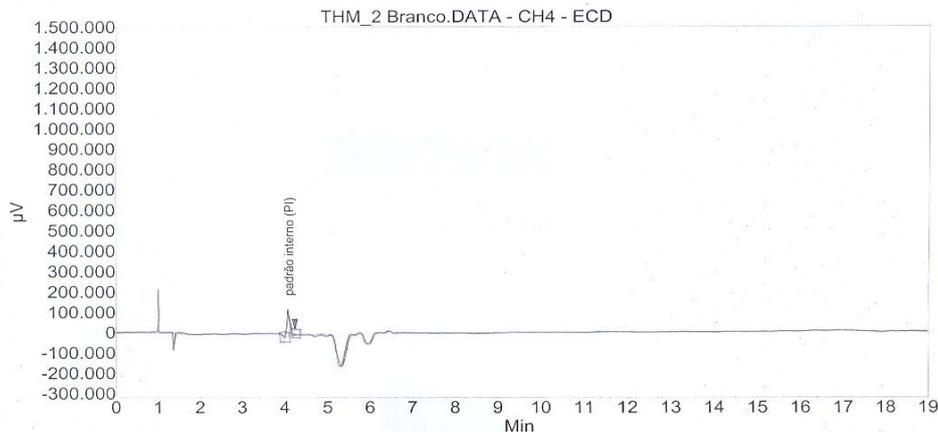




Análise: THM_2 Branco_CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
Método : THM2
Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 27/5/2010 16:51:03
Processamento : 27/5/2010 17:16:39
Impressão : 27/5/2010 17:17:30



Resultados de Picos :

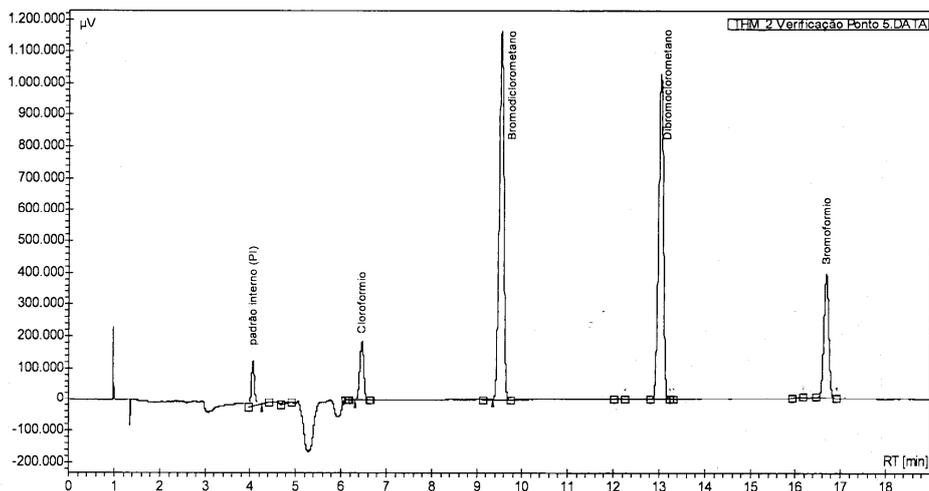
Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [µg/L]
padrão interno (PI)	4.06	100,000	633763,8	0,00
Total		100,000	633763,8	0,00



Análise: THM_2 Verificação Ponto 5_CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
Método : THM2
Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 27/5/2010 16:08:42
Processamento : 27/5/2010 16:31:20
Impressão : 27/5/2010 16:31:43



Resultados de Picos :

THM_2 Verificação Ponto 5.DATA [CH4 - ECD]

Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [µg/L]
padrão interno (PI)	4.05	3.540	731536,0	0,00
Cloroformio	6.46	5.553	1147675,1	84,31
Bromodiclorometano	9.53	39,389	8140748,1	80,26
Dibromodiclorometano	13.03	36,638	7572130,0	79,92
Bromoformio	16.68	14,170	2928498,7	83,22
Total		100,000	20667364,2	327,71

Curva de calibração - Clorofórmio

Calibration Report :

File : THM_2

Component : Cloroformio

Polynom : $y = b \times x + a$

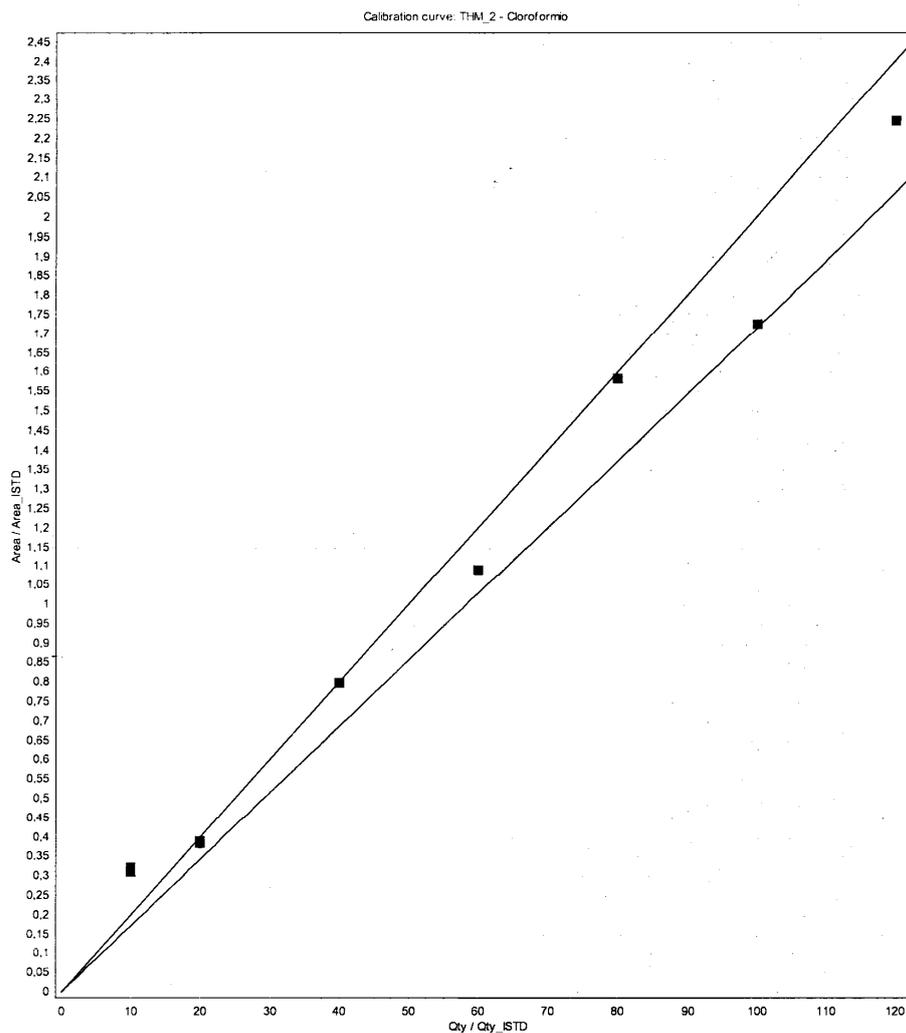
a = 0

b = 0,01861

Correlation Coef. : 0,9859

Weighting : None

Force zero : Yes

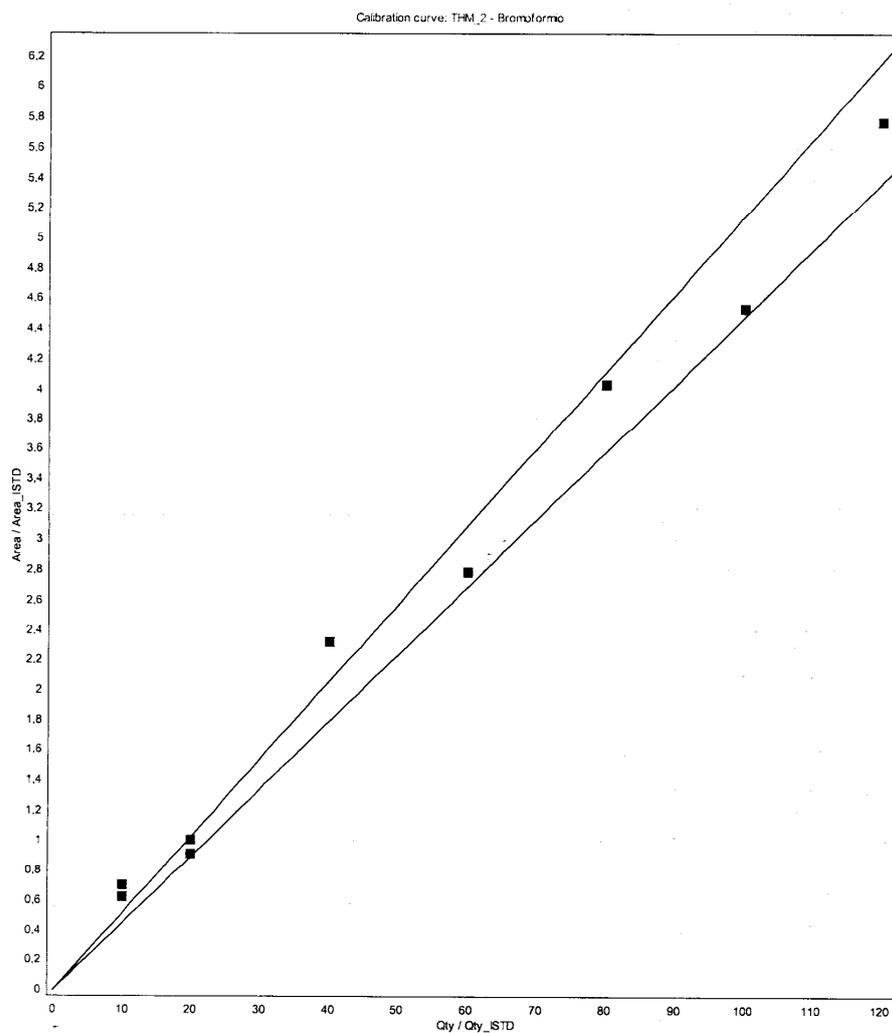


Calibration table : Cloroformio

#	Used	Name	Qty / Qty_ISTD	Area / Area_ISTD	RF	Chromatogram	Date	Area / Area_ISTD (recalc)	Res %	time [Min]	Level	Username
1	1	Point 1	10,00	0,31	31,94	THM 2 Ponto 1 (1)	11/5/2010 13:12:29	0,19	40,57	6,44	1	Cristina Paschoalato
2	1	Point 2	20,00	0,39	51,14	THM 2 Ponto 2 (1)	11/5/2010 13:12:53	0,37	4,84	6,45	2	Cristina Paschoalato
3	1	Point 3	60,00	1,09	54,90	THM 2 Ponto 4 (1)	11/5/2010 14:26:37	1,12	2,15	6,45	4	Cristina Paschoalato
4	1	Point 4	80,00	1,59	50,45	THM 2 Ponto 5 (1)	11/5/2010 15:11:11	1,49	6,13	6,44	5	Cristina Paschoalato
5	1	Point 5	100,00	1,73	57,91	THM 2 Ponto 6 (1)	11/5/2010 16:10:35	1,86	7,76	6,44	6	Cristina Paschoalato
6	1	Point 6	120,00	2,25	53,45	THM 2 Ponto 7 (1)	11/5/2010 16:37:18	2,23	0,55	6,45	7	Cristina Paschoalato
7	1	Point 7	10,00	0,32	30,83	THM 2 Ponto 1' (1)	11/5/2010 17:21:06	0,19	42,63	6,44	1	Cristina Paschoalato
8	1	Point 8	20,00	0,38	51,96	THM 2 Ponto 2' (1)	11/5/2010 18:03:38	0,37	3,31	6,45	2	Cristina Paschoalato
9	1	Point 9	40,00	0,80	49,94	THM 2 Ponto 3 (1)	11/5/2010 18:11:19	0,74	7,08	6,44	3	Cristina Paschoalato

Curva de calibração - Bromofórmio

Component : Bromoformio
 Polynom : $y = b x + a$
 a = 0
 b = 0,04811
 Correlation Coef. : 0,9883
 Weighting : None
 Force zero : Yes



Calibration table : Bromoformio

#	Used	Name	Qty / Qty_ISTD	Area / Area_ISTD	RF	Chromatogram	Date	Area / Area_ISTD (recalc)	Res %	time [Min]	Level	Username
1	1	Point 1	10,00	0,71	14,18	THM_2 Ponto 1 (1)	11/5/2010 13:12:29	0,48	31,77	16,65	1	Cristina Paschoalato
2	1	Point 2	20,00	1,01	19,80	THM_2 Ponto 2 (1)	11/5/2010 13:12:53	0,96	4,76	16,66	2	Cristina Paschoalato
3	1	Point 3	60,00	2,78	21,57	THM_2 Ponto 4 (1)	11/5/2010 14:26:37	2,89	3,77	16,66	4	Cristina Paschoalato
4	1	Point 4	80,00	4,03	19,84	THM_2 Ponto 5 (1)	11/5/2010 15:11:11	3,85	4,56	16,65	5	Cristina Paschoalato
5	1	Point 5	100,00	4,53	22,09	THM_2 Ponto 6 (1)	11/5/2010 16:10:35	4,81	6,26	16,67	6	Cristina Paschoalato
6	1	Point 6	120,00	5,77	20,79	THM_2 Ponto 7 (1)	11/5/2010 16:37:18	5,77	0,03	16,66	7	Cristina Paschoalato
7	1	Point 7	10,00	0,63	15,88	THM_2 Ponto 1' (1)	11/5/2010 17:21:06	0,48	23,62	16,65	1	Cristina Paschoalato
8	1	Point 8	20,00	0,92	21,82	THM_2 Ponto 2' (1)	11/5/2010 18:03:38	0,96	4,96	16,65	2	Cristina Paschoalato
9	1	Point 9	40,00	2,33	17,15	THM_2 Ponto 3 (1)	11/5/2010 18:11:19	1,92	17,51	16,65	3	Cristina Paschoalato

Curva de calibração – Bromodichlorometano

Component : Bromodichlorometano

Polynom : $y = b x + a$

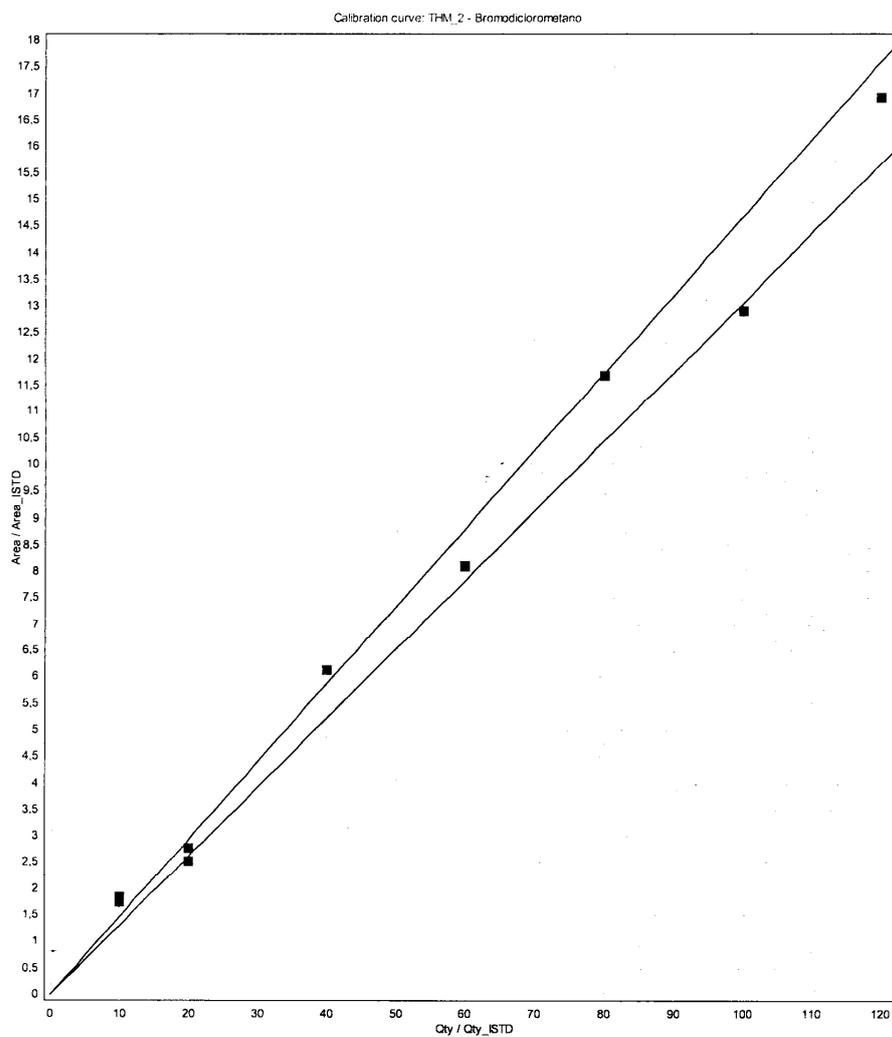
a = 0

b = 0,13865

Correlation Coef. : 0,9918

Weighting : None

Force zero : Yes



Calibration table : Bromodichlorometano

#	Used	Name	Qty / Qty_ISTD	Area / Area_ISTD	RF	Chromatogram	Date	Area / Area_ISTD (recalc)	Res %	time (Min)	Level	Username
1	1	Point 1	10.00	1.85	5.42	THM 2 Ponto 1 (1)	11/5/2010 13:12:29	1.39	24.89	9.51	1	Cristina Paschoalato
2	1	Point 2	20.00	2.77	7.21	THM 2 Ponto 2 (1)	11/5/2010 13:12:53	2.77	0.00	9.51	2	Cristina Paschoalato
3	1	Point 3	60.00	8.10	7.41	THM 2 Ponto 4 (1)	11/5/2010 14:26:37	8.32	2.74	9.52	4	Cristina Paschoalato
4	1	Point 4	80.00	11.68	6.85	THM 2 Ponto 5 (1)	11/5/2010 15:11:11	11.09	5.05	9.51	5	Cristina Paschoalato
5	1	Point 5	100.00	12.90	7.75	THM 2 Ponto 6 (1)	11/5/2010 16:10:35	13.86	7.45	9.52	6	Cristina Paschoalato
6	1	Point 6	120.00	16.94	7.09	THM 2 Ponto 7 (1)	11/5/2010 16:37:18	16.64	1.75	9.52	7	Cristina Paschoalato
7	1	Point 7	10.00	1.74	5.74	THM 2 Ponto 1' (1)	11/5/2010 17:21:06	1.39	20.37	9.50	1	Cristina Paschoalato
8	1	Point 8	20.00	2.53	7.91	THM 2 Ponto 2' (1)	11/5/2010 18:03:38	2.77	9.74	9.51	2	Cristina Paschoalato
9	1	Point 9	40.00	6.13	6.53	THM 2 Ponto 3 (1)	11/5/2010 18:11:19	5.55	9.52	9.50	3	Cristina Paschoalato

Curva de calibração – Dibromoclorometano.

Component : Dibromoclorometano

Polynom : $y = b x + a$

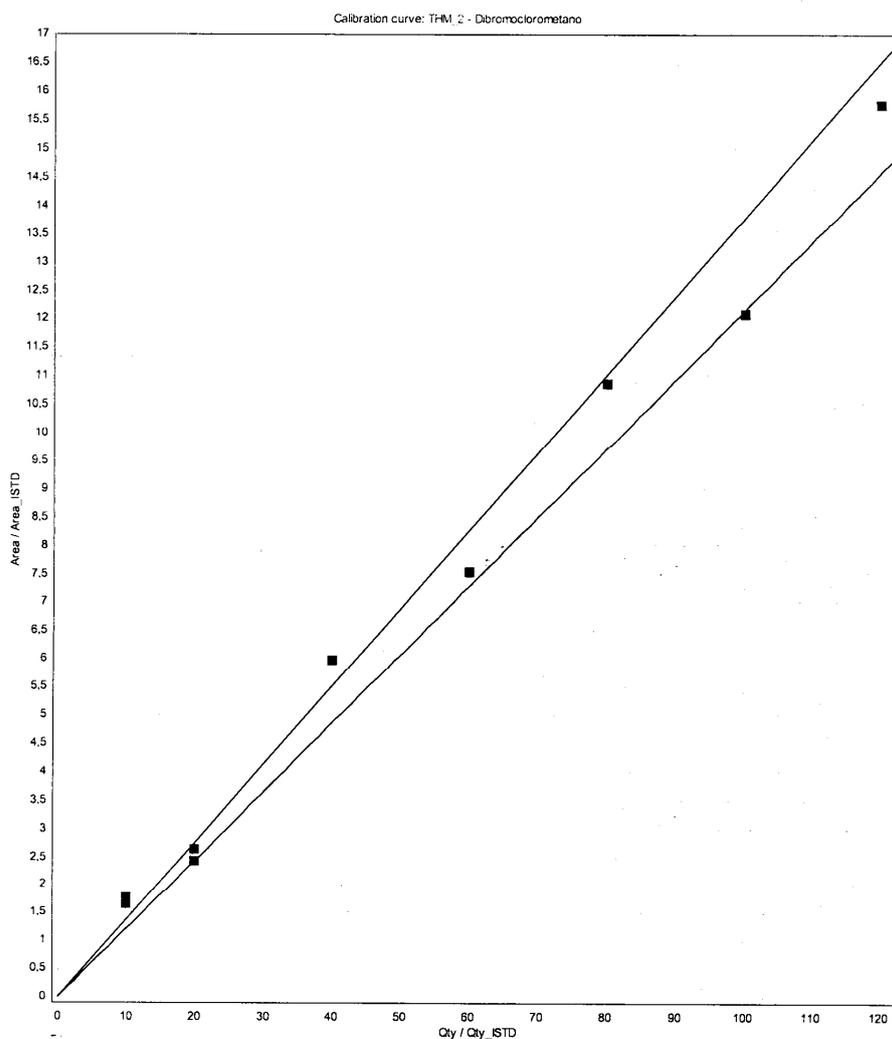
a = 0

b = 0,12952

Correlation Coef. : 0,9904

Weighting : None

Force zero : Yes



Calibration table : Dibromoclorometano

#	Used	Name	Qty / Qty_ISTD	Area / Area_ISTD	RF	Chromatogram	Date	Area / Area_ISTD (recalc)	Res %	time [Min]	Level	Username
1	1	Point 1	10,00	1,78	5,62	THM 2 Ponto 1 (1)	11/5/2010 13:12:29	1,30	27,17	13,00	1	Cristina Paschoalato
2	1	Point 2	20,00	2,64	7,58	THM 2 Ponto 2 (1)	11/5/2010 13:12:53	2,59	1,85	13,01	2	Cristina Paschoalato
3	1	Point 3	60,00	7,52	7,98	THM 2 Ponto 4 (1)	11/5/2010 14:26:37	7,77	3,33	13,01	4	Cristina Paschoalato
4	1	Point 4	80,00	10,86	7,37	THM 2 Ponto 5 (1)	11/5/2010 15:11:11	10,36	4,58	13,00	5	Cristina Paschoalato
5	1	Point 5	100,00	12,06	8,29	THM 2 Ponto 6 (1)	11/5/2010 16:10:35	12,95	7,38	13,01	6	Cristina Paschoalato
6	1	Point 6	120,00	15,76	7,62	THM 2 Ponto 7 (1)	11/5/2010 16:37:18	15,54	1,37	13,02	7	Cristina Paschoalato
7	1	Point 7	10,00	1,67	5,99	THM 2 Ponto 1' (1)	11/5/2010 17:21:06	1,30	22,44	13,00	1	Cristina Paschoalato
8	1	Point 8	20,00	2,42	8,25	THM 2 Ponto 2' (1)	11/5/2010 18:03:38	2,59	6,88	13,01	2	Cristina Paschoalato
9	1	Point 9	40,00	5,98	6,68	THM 2 Ponto 3' (1)	11/5/2010 18:11:19	5,18	13,44	13,00	3	Cristina Paschoalato

CROMATOGRAMAS

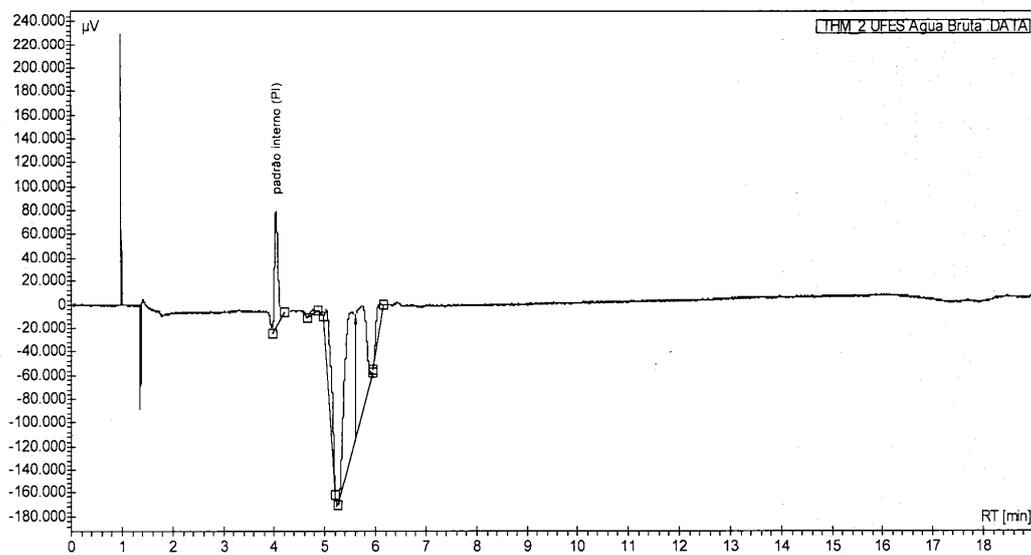
Cromatograma THM água bruta



Análise: THM_2 UFES Agua Bruta _CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
 Método : THM2
 Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 19/5/2010 16:25:38
 Processamento : 19/5/2010 16:44:42
 Impressão : 19/5/2010 16:45:56



Resultados de Picos :

THM_2 UFES Agua Bruta .DATA [CH4 - ECD]

Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [ug/L]
padrão interno (PI)	4,04	11,089	464128,3	0,00
Total		100,000	4185488,8	0,00

Notas da injeção: N.A.

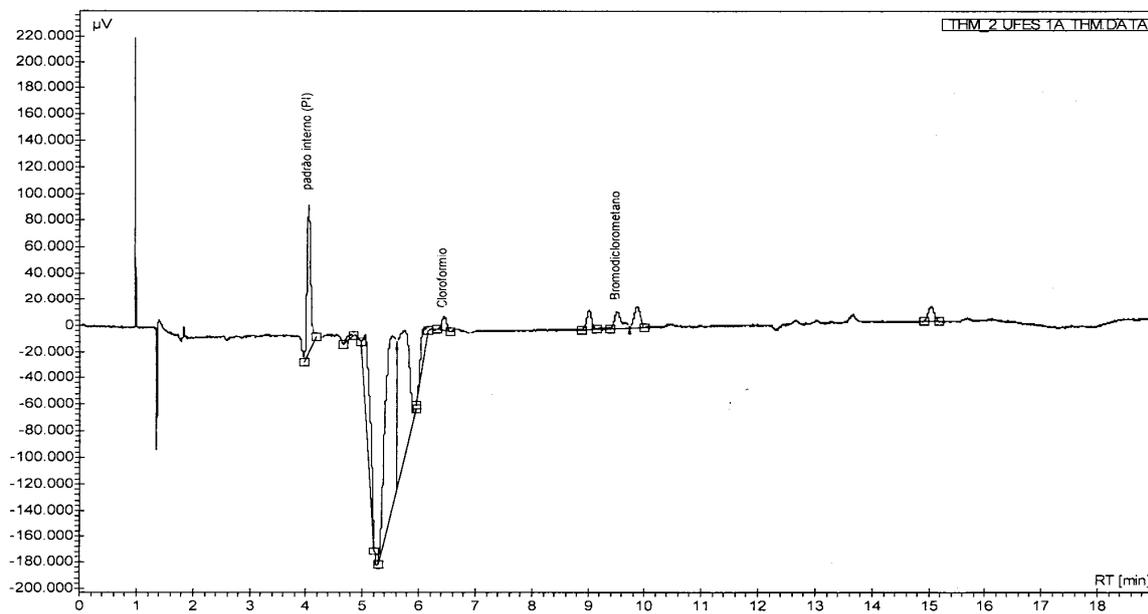
Cromatograma THM Tratamento 1A



Análise: THM_2 UFES 1A THM_CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
Método : THM2
Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 19/5/2010 17:09:32
Processamento : 26/5/2010 15:34:07
Impressão : 26/5/2010 15:35:04



Resultados de Picos :

THM_2 UFES 1A THM.CH4 - ECD

Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [µg/L]
padrão interno (PI)	4.04	10.639	515827.2	0.00
Cloroformio	6.44	1.364	66121.0	6.89
Bromodiclorometano	9.50	2.361	114464.9	1.60
Total		100.000	4848518.3	8.49

Notas da injeção: N.A.

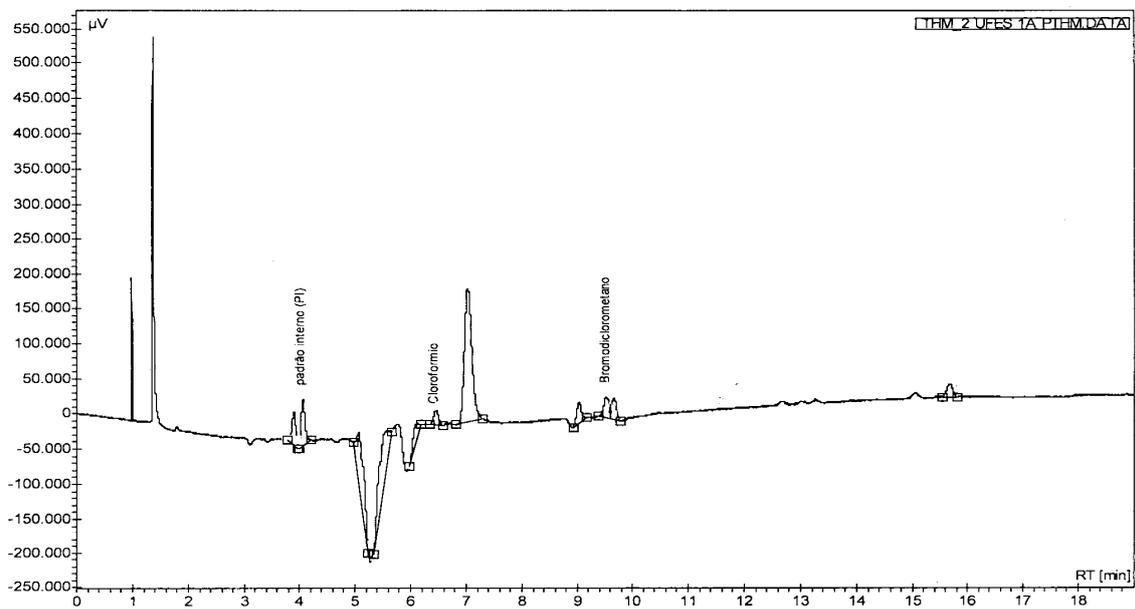
Cromatograma PTHM Tratamento 1A



Análise: THM_2 UFES 1A PTHM_CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
 Método : THM2
 Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 26/5/2010 14:37:59
 Processamento : 26/5/2010 15:36:26
 Impressão : 26/5/2010 15:36:39



Resultados de Picos :

THM_2 UFES 1A PTHM.DATA [CH4 - ECD]

Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [ug/L]
padrão interno (PI)	4,06	6,313	307685,2	0,00
Cloroformio	6,45	2,612	127328,4	22,24
Bromodichlorometano	9,53	4,252	207230,6	4,86
Total		-100,000	4873905,7	27,10

Notas da injeção: 10-05

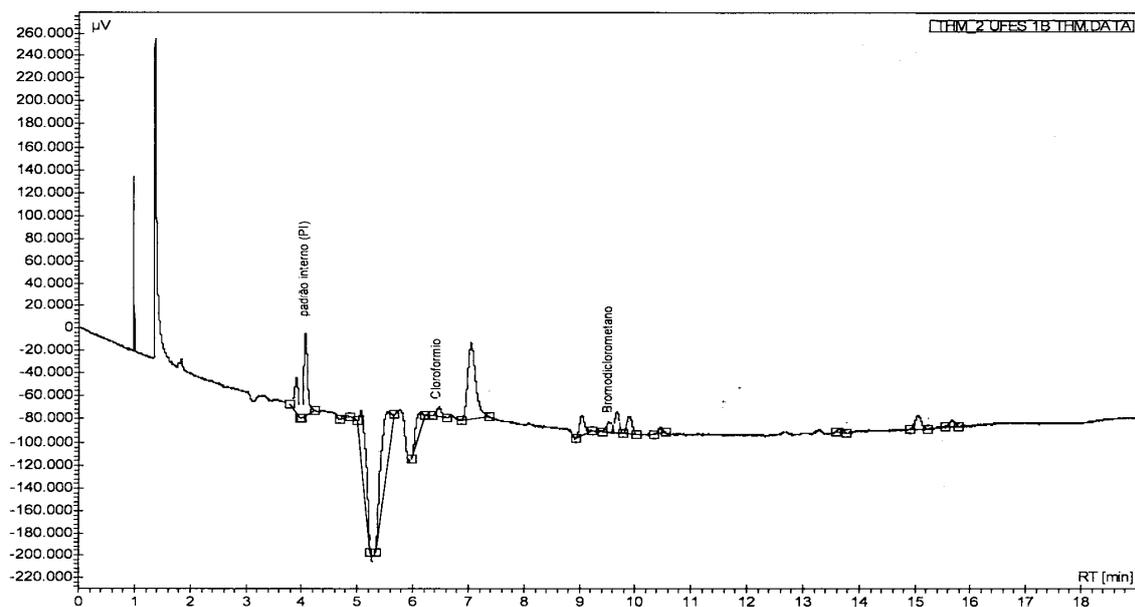
Cromatograma THM Tratamento 1B



Análise: THM_2 UFES 1B THM_CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
 Método : THM2
 Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 26/5/2010 15:19:15
 Processamento : 26/5/2010 15:38:19
 Impressão : 26/5/2010 15:39:25



Resultados de Picos :

THM_2 UFES 1B THM.DATA [CH4 - ECD]

Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [ug/L]
padrão interno (PI)	4,06	11,338	345811,8	0,00
Cloroformio	6,46	1,757	53590,5	8,33
Bromodiodorometano	9,53	2,014	61430,3	1,28
Total		100,000	3050038,8	9,61

Notas da injeção: 10-05

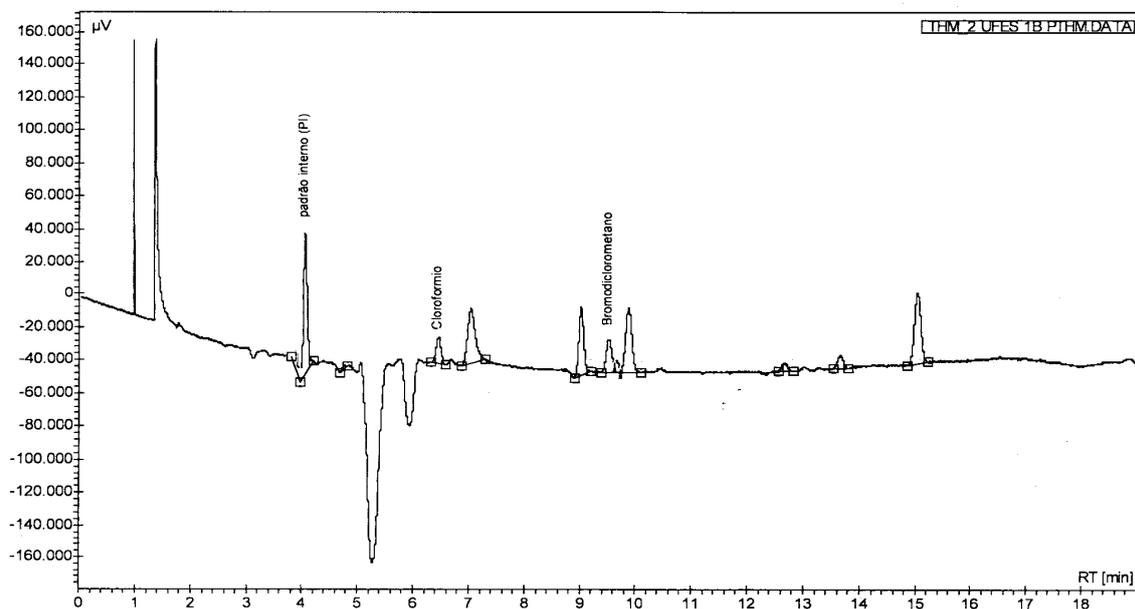
Cromatograma PTHM Tratamento 1B



Análise: THM_2 UFES 1B PTHM_CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
 Método : THM2
 Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 26/5/2010 16:00:26
 Processamento : 26/5/2010 17:59:00
 Impressão : 26/5/2010 18:00:56



Resultados de Picos :

THM_2 UFES 1B PTHM.DATA [CH4 - ECD]

Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [µg/L]
padrão interno (PI)	4.05	19.603	405029,8	0.00
Cloroformio	6.45	4.863	100484,5	13,33
Bromodiclorometano	9.52	7.095	146593,0	2,61
Total		100.000	2066165,4	15,94

Notas da injeção: 10-05

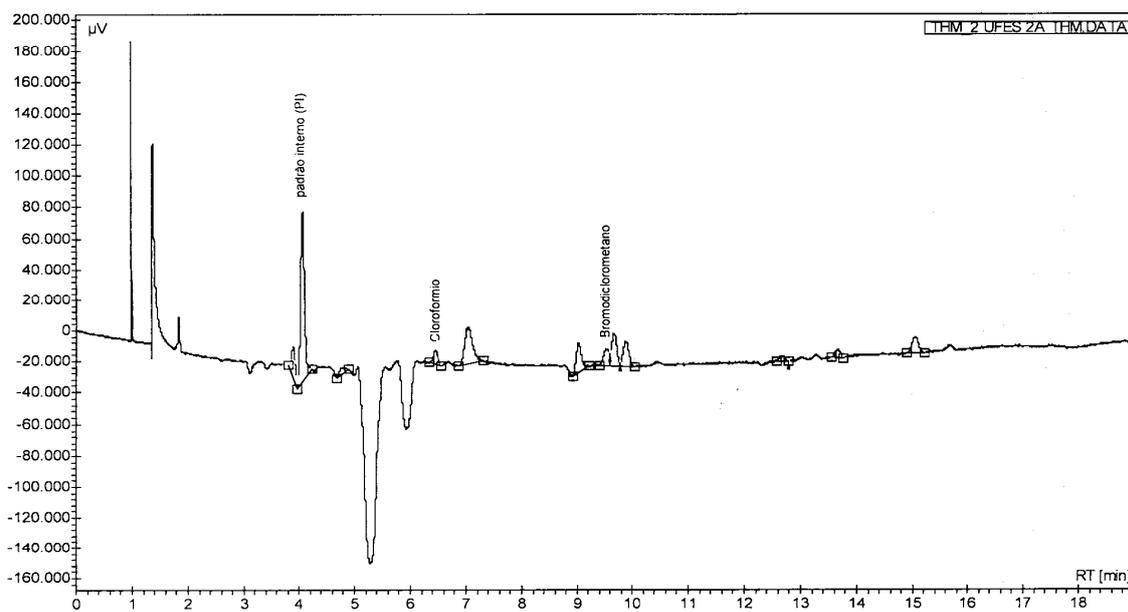
Cromatograma THM Tratamento 2A



Análise: THM_2 UFES 2A THM_CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
 Método : THM2
 Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 26/5/2010 16:42:18
 Processamento : 26/5/2010 17:01:21
 Impressão : 26/5/2010 17:04:16



Resultados de Picos :

THM_2 UFES 2A THM.DAT [CH4 - ECD]

Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [µg/L]
padrão interno (PI)	4.05	33.940	523301,2	0,00
Cloroformio	6.46	3.453	53236,2	5,47
Bromodichlorometano	9.53	5.090	78486,4	1,08
Total		100,000	1541859,2	6,55

Notas da injeção: 16-05

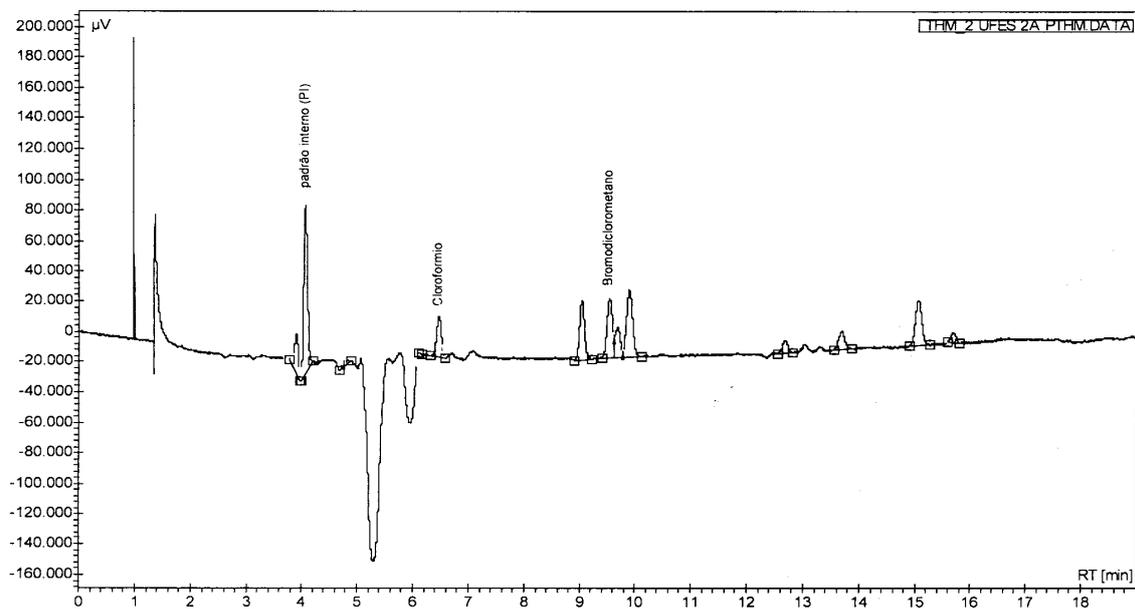
Cromatograma PTHM Tratamento 2A



Análise: THM_2 UFES 2A PTHM_CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
 Método : THM2
 Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 26/5/2010 17:24:37
 Processamento : 26/5/2010 18:01:29
 Impressão : 26/5/2010 18:02:12



Resultados de Picos :

THM_2 UFES 2A PTHM.DATA [CH4 - ECD]

Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [ug/L]
padrão interno (PI)	4.06	22.771	515369,5	0.00
Cloroformio	6.47	7.136	161511,6	16.84
Bromodiodorometano	9.54	11.866	268544,8	3.76
Total		100.000	2263221,8	20.60

Notas da injeção: 12-05

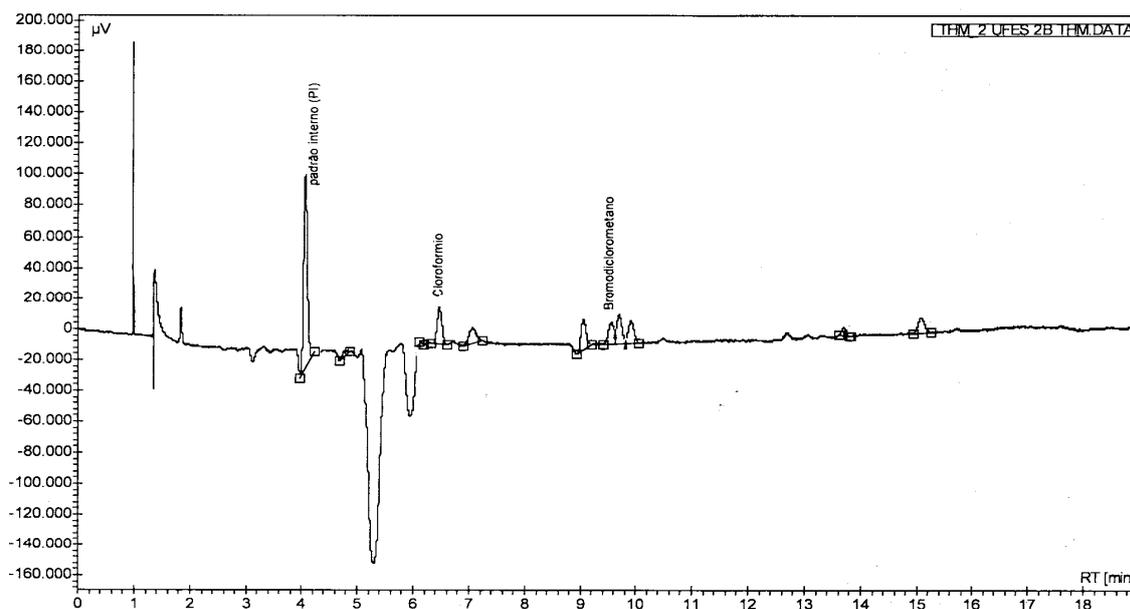
Cromatograma THM Tratamento 2B



Análise: THM_2 UFES 2B THM_CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
 Método : THM2
 Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 26/5/2010 18:07:44
 Processamento : 26/5/2010 18:28:21
 Impressão : 26/5/2010 18:28:34



Resultados de Picos :

THM_2 UFES 2B THM.CH4 - ECD

Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [µg/L]
padrão interno (PI)	4,06	41,153	592785,5	0,00
Cloroformio	6,47	10,014	144238,7	13,08
Bromodiodorometano	9,54	6,749	97214,2	1,18
Total		100,000	1440427,0	14,26

Notas da injeção: 17-05

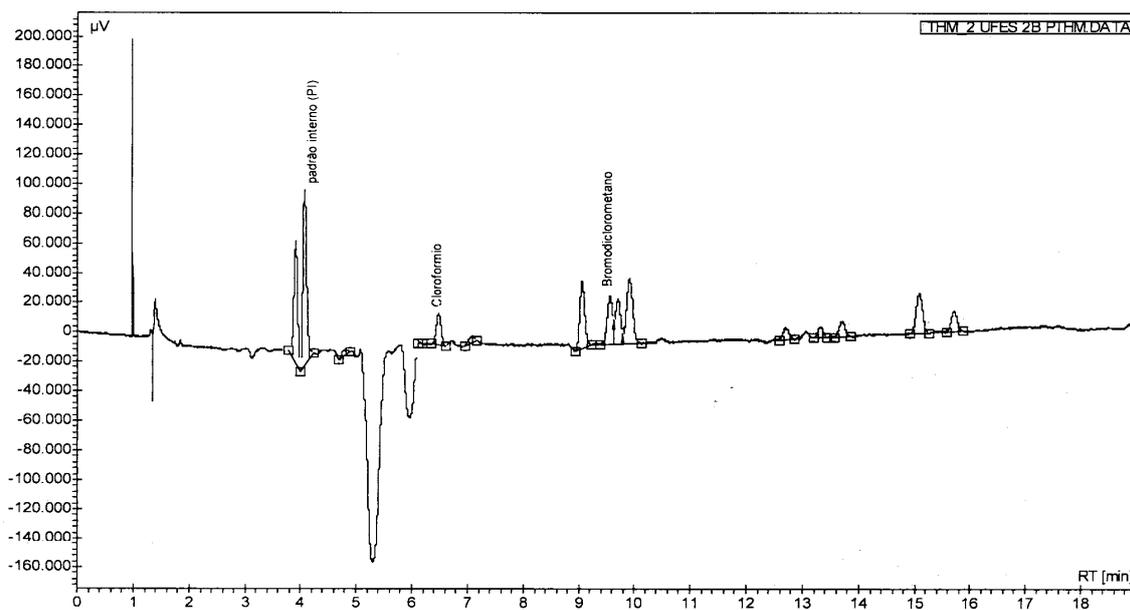
Cromatograma PTHM Tratamento 2B



Análise: THM_2 UFES 2B PTHM_CH4 - ECD

Sistema : CP-3600
 Método : THM2
 Usuário : Cristina Paschoalato

Aquisição : 26/5/2010 18:50:17
 Processamento : 26/5/2010 19:17:05
 Impressão : 26/5/2010 19:17:17



Resultados de Picos :

THM_2 UFES 2B PTHM.DATA [CH4 - ECD]

Name	Time [Min]	Area % [%]	Area [µV.Sec]	Quantity [ug/L]
padrão interno (PI)	4.07	20.647	558924.6	0.00
Cloroformio	6.47	4.659	126119.9	12.13
Bromodiclorometano	9.55	8.481	229570.9	2.96
Total		100.000	2706991.9	15.09

Notas da injeção: 16-05