

**“ ESTUDO DA EFICIÊNCIA DAS ONDAS DE ULTRA-SOM EM
RELAÇÃO AO HIPOCLORITO DE SÓDIO E À FILTRAÇÃO
ADSORÇÃO NA ELIMINAÇÃO DE MICRORGANISMOS EM
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA”**

ANTONIO ROBERTO CRYSTAL BELLO

**Dissertação apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Rio Claro
para obtenção do título de Mestre em Ciências
Biológicas (Área de Microbiologia Aplicada)**

**Rio Claro
Estado de São Paulo - Brasil
janeiro / 2003**

**“ESTUDO DA EFICIÊNCIA DAS ONDAS DE ULTRA-SOM EM
RELAÇÃO AO HIPOCLORITO DE SÓDIO E À FILTRAÇÃO
ADSORÇÃO NA ELIMINAÇÃO DE MICRORGANISMOS EM
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA ”**

ANTONIO ROBERTO CRYSTAL BELLO

Orientador: Profa. Dra. DEJANIRA FRANCESCHI DE ANGELIS

Co-Orientador: Prof. Dr. ROBERTO NAVES DOMINGOS

**Dissertação apresentada ao Instituto de
Biociências da Universidade Estadual Paulista
“Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Rio Claro
para obtenção do título de Mestre em Ciências
Biológicas (Área de Microbiologia Aplicada)**

**Rio Claro
Estado de São Paulo - Brasil
janeiro / 2003**

DEDICATÓRIA

À minha esposa Sônia Raquel

aos meus filhos Robson e Thômas

pelo incentivo e compreensão;

aos meus pais Antonio (in memorian) e Maria Ruth

pelo amor que me dedicaram.

AGRADECIMENTOS

À DEUS que me guiou nos caminhos dando força e esperança para alcançar meu objetivo.

À Profa. Dra. Dejanira Franceschi de Angelis pela orientação, amizade, apoio, incentivo e conhecimentos os quais foram muito importantes para a realização desse estudo.

Ao Prof. Dr. Roberto Naves Domingos, pela co-orientação, amizade, apoio, incentivo e conhecimentos que foram muito importantes para a realização desse estudo.

Ao CEA - Centro de Estudos Ambientais, UNESP - Campus de Rio Claro(SP), no qual realizou-se todos os ensaios desse estudo.

Aos Profs. Drs. Samia Maria T. Tornisiolo, Carlos Renato Corso, Jonas Contiero, José Carlos Marconato, Eleonora C. Carmona, Edério D. Bidoia, Antonio C. Simões Pião, Sandra Mara M. Franchetti, Pedro Oliva Neto, Ana Paula da Arruda V. Kataoka, Angeles Marena, pelos conhecimentos transmitidos no decorrer do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq / CT Hidro Brasil, pelo apoio dado na realização desse estudo.

Às funcionárias Eleni Nadai Malagutti e Francisca Mattioli Gonçalves; do Centro de Estudos Ambientais (CEA) da UNESP –Campus de Rio Claro(SP), pelo apoio dado durante a execução dos experimentos.

Ao Sr. Paulo R. Busato, diretor da Bunker Equipamentos para Laboratórios – Piracicaba(SP), pelo apoio e assistência técnica referente ao aparelho de ultra-som .

Ao DAAE- Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Rio Claro (SP), pelo auxílio e colaboração na obtenção de água bruta da Floresta Estadual Navarro de Andrade.

À todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse estudo.

O meu muito obrigado

Antonio Roberto Crystal Bello

ÍNDICE

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
3 REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1 Conceitos e Aplicações do ultra-som	7
3.2 Processos de cloração	14
3.3 Processos de filtração / adsorção	18
3.4 Processos de coagulação, floculação, decantação e desinfecção	24
3.5 Controle de qualidade e doenças transmissíveis pela água.....	28
4 MATERIAL E MÉTODO	37
4.1 Material	37
4.1.1 Água Bruta	37
4.1.2 Equipamentos	37
4.1.3 Reagentes e Meios de Cultura	39
4.1.4 Vidraria e outros materiais de uso geral de laboratório	40
4.1.5 Materiais de filtração	40
4.2 Método	41
4.2.1 Coleta de Água Bruta	41
4.2.2 Operação da Estação Compacta de Tratamento de Água	42
4.2.3 Determinação da vazão da ETA	43
4.2.4 Parâmetros químicos, físico-químicos e bacteriológicos analisados.....	43
4.2.5 Desinfecção com solução de hipoclorito de sódio	43
4.2.6 Desinfecção com ultra-som	44
4.2.7 Retenção de microrganismos pela filtração/adsorção	44
4.2.8 Definição dos processos empregados	45
4.2.9 Métodos analíticos aplicados	47
4.2.10 Preparo de soluções e meios de cultura	47
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49

5.1	Análises químicas, físico-químicas e bacteriológicas	49
5.2	Avaliação da água bruta da Represa Florestal Estadual Navarro de Andrade Rio Claro(SP)	50
5.3	Avaliação dos Processos A, B e C – 1ª coleta	51
5.3.1	Avaliação do Processo A – 1ª coleta	52
5.3.2	Avaliação do Processo B – 1ª coleta	53
5.3.3	Avaliação do Processo C – 1ª coleta	54
5.4	Avaliação dos Processos A, B e C – 2ª coleta	55
5.4.1	Avaliação do Processo A – 2ª coleta	56
5.4.2	Avaliação do Processo B – 2ª coleta	58
5.4.3	Avaliação do Processo C – 2ª coleta	58
5.5	Avaliação dos Processos A, D e E - 3ª coleta	59
5.5.1	Avaliação do Processo A – 3ª coleta	60
5.5.2	Avaliação do Processo D – 3ª coleta	62
5.5.3	Avaliação do Processo E – 3ª coleta	63
5.6	Avaliação dos Processos F, G e H - 4ª coleta	64
5.6.1	Avaliação do Processo F – 4ª coleta	65
5.6.2	Avaliação do Processo G – 4ª coleta	67
5.6.3	Avaliação do Processo H – 4ª coleta	68
5.7	Avaliação dos Processos F, G e H - 5ª coleta	68
5.7.1	Avaliação do Processo F – 5ª coleta	69
5.7.2	Avaliação do Processo G – 5ª coleta	71
5.7.3	Avaliação do Processo H – 5ª coleta	72
5.8	Comparação dos Processos empregados na ETA-CB para eliminação de microrganismos	72
5.9	Avaliação dos Processos empregados na ETA-CB em relação à Portaria n.º 1469/00 do Ministério da Saúde	73
6	CONCLUSÕES	75
7	RESUMO	78
8	SUMMARY	80
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
10	APÊNDICE	89

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1 -	Mini Estação compacta de Tratamento de Água (ETA-CB), aparelho de ultra-som utilizado nos ensaios e o pHmetro utilizado para controle contínuo do pH de coagulação	38
Figura 2 -	Ponto de captação de água de Abastecimento da ETA I – DAAE, no lago do Floresta Estadual Navarro de Andrade , município de Rio Claro (SP)	41
Figura 3 -	Estação compacta CB (ETA-CB) mostrando a aplicação de produtos químicos na caixa de entrada de água bruta e pHmetro para controle do pH de coagulação	42
Figura 4 -	Diagrama indicando a forma de processamento dos experimentos na ETA-CB	46

ÍNDICE DE TABELAS

		Página
Tabela 1 .	Porcentagem de diminuição de células de <i>Saccharomyces cerevisiae</i> submetidas à ação do ultra-som de 20 KHz	11
Tabela 2 .	Valores da concentração $\times$ do tempo (CT) de diferentes desinfetantes para inativação de microrganismos	32
Tabela 3 .	Quantificação de bactérias da água bruta no lago da Floresta Estadual Navarro de Andrade	35
Tabela 4 .	As doenças mais comuns, de transmissão hídrica	36
Tabela 5 .	Diagrama das condições experimentais A,B,C,D,E,F,G,H dos ensaios utilizando a ETA-CB para tratamento da água do Ribeirão Claro	45
Tabela 6 .	Quantificação de alguns parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água bruta do Ribeirão Claro, após tratamento mediante os processos A, B e C aplicados na ETA-CB	51
Tabela 7 .	Diminuição percentual de alguns parâmetros da qualidade da água bruta coletada 10/12/01- 1ª coleta , após tratamento com aplicação dos processos A , B e C na ETA-CB	53
Tabela 8 .	Quantificação de alguns parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água bruta do Ribeirão Claro, após tratamento mediante aplicação dos processos A,B e C na ETA-CB – coleta 07/01/02	56
Tabela 9 .	Diminuição percentual de alguns parâmetros da qualidade da água bruta coletada 07/01/02- 2ª coleta, após aplicação dos processos A, B e C na ETA-CB	57
Tabela 10 .	Quantificação de alguns parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água bruta do Ribeirão Claro, após tratamento mediante aplicação dos processos A, D e E viabilizados na ETA-CB – coleta 05/03/02	60
Tabela 11 .	Diminuição percentual de alguns parâmetros da qualidade da água bruta coletada 05/03/02- 3ª coleta, após aplicação dos processos A, D e E na ETA-CB	61

Tabela 12 .	Quantificação de alguns parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água bruta do Ribeirão Claro, após tratamento mediante processos F, G e H na ETA-CB – coleta 19/03/02	65
Tabela 13 .	Diminuição percentual de alguns parâmetros da qualidade da água bruta coletada 19/03/02- 4ª coleta, após aplicação dos processos F, G e H na ETA-CB	66
Tabela 14 .	Quantificação de alguns parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água bruta do Ribeirão Claro, após tratamento mediante aplicação dos processos F, G e H na ETA-CB – coleta 07/05/02	69
Tabela 15 .	Diminuição percentual de alguns parâmetros da qualidade da água bruta coletada 07/05/02- 5ª coleta, após aplicação dos processos F, G e H na ETA-CB	70

APÊNDICE

		Página
Tabela 1 .	Quantificação dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) do pH na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB	90
Tabela 2 .	Quantificação em (PtCo) dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) da cor aparente na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB	91
Tabela 3 .	Quantificação em unidades nefelométricas de Turbidez (NTU) dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) da turbidez na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB	92
Tabela 4 .	Quantificação em mg/L dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) dos sólidos totais dissolvidos na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB..	93
Tabela 5 .	Quantificação em $\mu\text{S}/\text{cm}$ dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) da condutividade elétrica na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB ..	94
Tabela 6 .	Quantificação em ‰ dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) da salinidade na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB	95
Tabela 7 .	Quantificação em Graus Celsius ($^{\circ}\text{C}$) dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) da temperatura na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E, F,G e H realizados na ETA-CB	96
Tabela 8 .	Quantificação em mg/L dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) do ferro na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB	97
Tabela 9 .	Quantificação em mg/L dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) dos sólidos suspensos na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB	98

Tabela 10 .	Quantificação em mg/L Cl_2 dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) do cloro livre residual na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB	99
Tabela 11 .	Quantificação dos números mais prováveis (NMP) /100mL dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) dos coliformes totais na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB	100
Tabela 12 .	Quantificação em número mais provável (NMP) /100mL dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) dos coliformes fecais <i>Escherichia coli</i> na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB	101
Tabela 13 .	Quantificação em unidades formadoras de colônias (UFC)/mL dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) de bactérias heterotróficas na água bruta e na água dos processos definidos como A,B,C,D,E,F,G e H realizados na ETA-CB	102
Tabela 14 .	Diminuição percentual de bactérias coliformes totais, coliformes fecais <i>Escherichia coli</i> e heterotróficas para os diferentes processos empregados no tratamento da água bruta da represa da Floresta Estadual Navarro de Andrade – Estação de captação DAAE Rio Claro–SP realizados na ETA-CB	103
Tabela 15 .	Valores médios das análises nos diferentes processos de tratamento da água bruta do Ribeirão Claro – Rio Claro(SP), realizados na ETA-CB..	104
Tabela 16 .	Alguns parâmetros e indicadores de qualidade e quantidade das águas – 1999, local Rio Corumbataí, ponte próxima à usinas Tamandupá na localidade de Recreio (SP), código do local DOSPO5 535 CRUM 02500, classe 2 UGRHI Piracicaba/Capivari/Jundiaí	105

1 INTRODUÇÃO

A coagulação é um processo de formação de coágulos mediante a reação de coagulante em contato com a água. O objetivo da coagulação e floculação é transformar as impurezas (dentre as quais, suspensão fina em estado coloidal ou em solução, bactérias e protozoários) em partículas maiores denominadas de flocos para que possam ser removidas por sedimentação, flotação e/ou filtração. A coagulação ótima ocorre em função das características físico-químicas da água bruta. Os fatores que determinam uma coagulação eficiente são : pH , tipo de coagulante, vazão da água bruta, vazão da aplicação/mistura do coagulante e água bruta, temperatura da água e potencial zeta. Os principais coagulantes empregados são: sulfato de alumínio, sulfato ferroso, sulfato ferroso clorado, sulfato férrico, cloreto férrico, policloreto de alumínio e outros. A escolha do coagulante é em função do custo, da quantidade aplicada, do fator ambiental, da faixa de pH e da facilidade de trabalho. As metas principais do processo de coagulação/floculação são:

- diminuir o potencial zeta;
- fornecer energia ao meio para que a agitação propicie maior contato entre os flocos;
- introduzir ao meio, compostos floculantes que auxiliem a formação de aglomerados de partículas.

A floculação é um processo pelo qual as partículas em estado de equilíbrio eletrostaticamente instável no seio da massa líquida são forçadas a se movimentarem, a fim de que sejam atraídas entre si formando flocos que com a continuidade da agitação

tendem a aderir uns aos outros tornando-se mais densos, para posterior decantação. Existem dois tipos de sistemas de floculação:

- sistema hidráulico
- sistema mecânico

No processo de decantação, partículas em suspensão e partículas em estado coloidal sendo mais pesadas que a água, tenderão a precipitar no decantador com certa velocidade. Partículas grandes precipitam inicialmente com movimento acelerado e partículas pequenas no regime de deposição atingem equilíbrio e apresentam rapidamente velocidade constante. Os principais tipos de decantadores são: decantador de escoamento horizontal e decantador de escoamento vertical.

A etapa de filtração consiste na remoção de partículas suspensas, colóides e microrganismos presentes na água que escoam através do meio poroso. Os filtros possuem características próprias do meio filtrante, que pode ser composto de camadas de areia ou carvão ativado-areia, terra diatomácea.

Na filtração ocorrem fenômenos devido às ações químicas, físicas, biológicas, bioquímicas e que estão na dependência de muitos parâmetros tais como natureza química, porosidade e granulometria.

O processo de adsorção envolve a substância a ser adsorvida (adsorbato) e a superfície do adsorvente, como por exemplo, quando sólidos fragmentados são colocados em solução colorida observa-se que a intensidade da coloração é diminuída. A substância colorida é adsorvida sobre a superfície do adsorvente. A intensidade do efeito depende: da temperatura, da natureza e subdivisão do adsorvente, do adsorbato e da concentração da substância adsorvida. Se entre o adsorbato e a superfície do adsorvente agirem apenas forças de Van der Waals, a adsorção é chamada física ou de Van der Waals. Quando as moléculas adsorvidas reagem quimicamente com a superfície o fenômeno é denominado de adsorção química, a qual é observada somente em uma camada sobre a superfície do adsorvente. Como na adsorção química ligações são rompidas e formadas, o calor de adsorção é da mesma ordem dos calores de ligação química.

O processo de desinfecção da água bruta é fundamental para a eliminação de microrganismos presentes na água e pode ser feito por substâncias químicas, tais como, hipoclorito de sódio (NaClO), cloro gasoso (Cl_2), hipoclorito de cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), dióxido de cloro (ClO_2), cal clorada ($\text{CaO} \cdot \text{Cl}_2$), ozônio (O_3) e quaternários de amônio,

ou por processos físicos, tais como: ultra-som, irradiação ultravioleta e eletrólise. A filtração / adsorção também consiste num processo de eliminação de microrganismos, pois retém os mesmos deixando a água de saída da Estação de Tratamento de Água (ETA) com quantidade inferior ao da água bruta.

No caso da solução de hipoclorito de sódio (NaClO), largamente utilizado em ETAs, forma em solução aquosa o ácido hipocloroso e o íons hipoclorito que tem ação desinfetante agindo sobre os microrganismos em geral.

O hipoclorito de sódio também atua sobre *Escherichia coli* que é um bacilo gram negativo, aeróbio facultativo utilizada na legislação de saúde pública como indicador biológico de contaminação.

O custo da desinfecção com NaClO comparativamente não é alto, porém, dependendo da composição química da água bruta, pode reagir formando compostos clorados como os trihalometanos (THM) que em altas concentrações são prejudiciais à saúde humana.

O ultra-som (US) consiste de uma onda mecânica longitudinal não audível, com frequência acima de 20.000Hz onde a energia é transmitida pelas vibrações das moléculas do meio no qual a onda está se propagando. Este meio irradiado oscila harmonicamente com a frequência do gerador ultra-sônico comprimindo e expandindo. Os efeitos térmicos e não térmicos do US prevalecerão de acordo com o regime de pulso contínuo ou pulsado aplicado.

A ação do US em meio biológico atribuiu-se os efeitos benéficos ou deletérios a quatro mecanismos físicos: efeito térmico, a cavitação, as formas de radiação e o micro-fluxo acústico. A cavitação pode resultar em fenômenos elétricos e químicos e em destruição mecânica, quando neste último as cavidades se colapsam ou quando as bolhas de gás crescem até ficarem suficientemente grandes para vibrarem em ressonância com as ondas sonoras. A cavitação gerada pelo US produz intensas ondas de choque, aumentos instantâneos de temperatura e pressão e efeitos químicos no meio, que são gerados pelo colapso das cavidades ou microbolhas. A porcentagem de morte e alterações nas estruturas moleculares aumentam com o tempo de duração de exposição ao US, e com o nível de intensidade gerado pelo US. As propriedades biofísicas da cavitação podem ser consideradas como um dos principais mecanismos que afetam a atividade germicida do US em meio líquido.

Outro efeito do US na área biológica, é devido às forças de radiação, que podem deslocar, distorcer e/ou reorientar partículas intercelulares e células em relação a suas configurações normais. Nesse caso, o efeito está associado à grandes tensões hidrodinâmicas suficientes para causarem danos às células e macrocélulas em suspensão.

2 OBJETIVOS

- Estudar comparativamente a eficiência das ondas de ultra som, do hipoclorito de sódio e do processo de filtração/adsorção, na remoção ou destruição de bactérias presentes na água.
- Projetar e montar a Estação Piloto de Tratamento de Água. Esta planta deverá compor um projeto compacto e será confeccionada em material acrílico conforme protótipo projetado pela CB Consultoria e Treinamento S/C Ltda.
- Estudar e avaliar a eficiência de diferentes processos de desinfecção na Estação Piloto de Tratamento de Água mediante a contagem de coliformes totais, coliformes fecais e bactérias heterotróficas, além de avaliar pH, turbidez, cor aparente, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, ferro solúvel, cloro livre residual, e outros.
- Propor métodos alternativos de desinfecção no tratamento de água em função da qualidade da água bruta.
- Estudar as fases dos processos de coagulação, floculação hidráulica (chicanas e meio granular), decantação e filtração no tratamento de água.

- Avaliar as interferências dos produtos químicos utilizados no tratamento de água em relação ao pH de coagulação e a formação de flocos com arraste de sólidos suspensos, partículas, microrganismos e outros.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Conceitos e aplicações do ultra-som

Segundo Okuno et al.(1986), a atenuação de uma onda ultra-sônica obedece a lei exponencial $I=I_0 e^{-2\alpha x}$ onde I = intensidade do ultra-som após atravessar a espessura x de um material com coeficiente de atenuação α ; I_0 = intensidade inicial do ultra-som; e = base dos logaritmos naturais .

Conforme a referência de Willians (1990), são vastas as aplicações de ondas de ultra som, que vão desde homogeneização de substâncias, rompimento de células, extração de produtos fitoquímicos, esterilização de equipamentos, localização de mineral, emulsificação, até degradação de massa molar e fonoforese (ação do ultra-som para facilitar a penetração de agentes farmacologicamente ativos através da pele).

Experiências realizadas por Scherba et al. (1991), mostraram a eficiência da ação germicida da energia ultra-sônica, a uma frequência de 26.000Hz aplicada em suspensões aquosas de bactérias.

Segundo Fontana (1996), o efeito do ultra-som na área biológica, pode ocorrer devido ao poder da alta potência de radiação, que podem deslocar, distorcer e/ou reorientar partículas intercelulares ou mesmo células com relação a suas configurações normais. Tais efeitos estão associados a grandes tensões hidrodinâmicas suficientes para causar danos às

células e macrocélulas suspensas. Além disso o US desenvolve o processo biofísico da cavitação que vem sendo considerado como um dos principais mecanismos que afetam a atividade germicida em meio líquido.

Segundo Guirro (1999), a cavitação gerada pelo US pode induzir fenômenos elétricos e químicos e destruição mecânica. Isto acontece quando neste último as cavidades se colapsam ou quando as bolhas de gás crescem, até ficarem suficientemente grandes para vibrar em ressonância com as ondas sonoras. A cavitação produz intensas ondas de choque, aumentos instantâneos de temperatura e pressão, e efeitos químicos no meio, que são gerados pelo colapso das cavidades ou microbolhas. A pesquisadora verificou em seus experimentos que células de *Escherichia coli* BH 100, irradiadas com ondas de US revelaram no plaqueamento diminuição do número de colônias na frequência de 1MHz, nos tempos de irradiação de 5 e 15 minutos. Para a frequência de 3MHz houve incremento das colônias, nos mesmos tempos. Os ensaios indicam que na relação número de colônias em função do tempo considerando 5 e 15 minutos, houve maior inibição no tempo de 15 minutos. Nos experimentos em que a pesquisadora associou o US com a tetraciclina em função do tempo de 5 e 15 minutos, houve diminuição do número de colônias no tempo de 5 minutos e inibição total do crescimento no tempo de 15 minutos.

Os autores Barbosa & Serra (1992), citam que no final dos anos 70, o interesse pela sonoquímica ressurgiu devido em grande parte, aos resultados provenientes de tentativas de se entender o fenômeno. O efeito das ondas ultra-sônicas começou a ser observado em sistemas homogêneos não aquosos. Nesta época, as pesquisas começaram a serem orientadas para sistemas heterogêneos. Em sistemas heterogêneos, numa interface sólido-líquido, o US pode dirigir-se para a superfície originando uma erosão localizada, responsável pela fadiga na extremidade do transdutor. Com o aumento do emprego do US, foram constatados fenômenos tais como rompimento de células vivas, dispersão de tecidos biológicos e limpeza de superfícies.

Além disso, no processo de cavitação gerado por ondas de US pode haver formação de dois tipos de bolhas:

- Bolhas de cavitação estáveis, que oscilam periodicamente no meio e possuem tempo de vida longa de alguns ciclos. Seu volume cresce por penetração de

gás dissolvido no meio quando na fase de descompressão. Se atingirem uma dimensão crítica podem tornar-se transitórias;

- Bolhas de cavitação transitórias possuem tempo de vida curto de poucos ciclos. Seu volume cresce por penetração do gás dissolvido na fase de descompressão, quando alcançam uma dimensão crítica. São as responsáveis pela cavitação. No momento da implosão das bolhas há formação de ondas de choque e na fase final esperam-se no centro da bolha, temperatura e pressão muito elevadas da ordem de aproximadamente 10.000K e 1000 atm.

Na referência de Lin & Zhang (2000), o ultra-som com alta potência é um meio tradicional de várias aplicações e que durante décadas passadas sendo utilizado na indústria eletrônica e outros diferentes campos. Cada vez mais tem-se dado atenção a algumas aplicações como limpeza ultra-sônica, soldagem ultra-sônica de plásticos, avaliação da qualidade de metais fundidos, assim como para novas aplicações do ultra-som alta potência, como química de ultra-som e terapia ultra-sônica. No caso da energia de aplicação do ultra-som de alta potência, as características de vibração do transdutor usado são essenciais para modelo e segurança de trabalho do sistema vibracional. A medida das características vibracionais do transdutor é importante para avaliação da sua performance, assim como do processo prático do transdutor utilizado. As características da alta potência do transdutor inclui o sistema fechado acústico, a eficiência electro-acústica, a elevação da temperatura do deslocamento da distribuição vibracional, e outros fatores. Como essas características do transdutor sob as condições de alta potência afetam a performance do transdutor e do efeito do processo ultra-sônico, um trabalho mais acentuado tem sido feito para análise e melhoria do modelo do sistema vibracional.

Na avaliação do transdutor com alta potência ultra-sônica a potência acústica e a eficiência eletro-acústica são dois importantes parâmetros de performance. Um método chamado de alta frequência medidor-watt, proposto por pesquisadores japoneses tem sido usado para a medida do transdutor sob alta potência. Para a medida do transdutor usando este método, acredita-se que, embora o método possa ser usado para medir as características para alta potência há três desvantagens que necessitam ser avaliadas. Primeira, neste método, dois idênticos transdutores devem ser usados para obter a perda de

potência dielétrica. Segunda, na ordem de obter o mecanismo de perda de potência, a relação entre o mecanismo de perda de potência e a velocidade de vibração devem ser determinadas. Terceira, a relação entre a perda de potência dielétrica e a voltagem terminal devem ser medidas para obter-se a perda de potência dielétrica. Considerando esses fatores, o método consome tempo e trabalho e devido a isto não tem sido largamente utilizado como aplicação prática. Neste raciocínio, uma melhoria no método baseado na alta frequência medidor-watt tem se tornado cada vez mais evidente. Neste método a medida das perdas dielétrica e mecânica não são necessárias. Portanto, isto simplifica o tempo de trabalho tornando-se conveniente à aplicação prática. Este método pode ser usado nas medições do transdutor sob a condição de alta potência e em casos práticos, tais como, limpeza ultra-sônica, processos líquidos ultra-sônico e outras aplicações.

Segundo Phull et al.(1997), a destruição ou inativação de microrganismos por aplicação de ondas ultra-sônicas foi estudada e os resultados obtidos nos ensaios mostraram que o US pode ser utilizado com eficácia na desinfecção de águas. O processo de US pode ser aplicado em associação com cloro o que promove uma diminuição acentuada no número de bactérias presentes na água, além de diminuir significativamente a quantidade de cloro necessária para a desinfecção. Neste estudo, os pesquisadores concluíram que aumentando o poder do US aumenta a destruição das células bacterianas e que as ondas do ultra-som de alta frequência são mais eficazes do que as de baixa frequência com relação ao processo de desinfecção de água.

Na referência de Tomasin (2001), o US de 20 KHz quando aplicado em condições controladas de laboratório mostra diminuição da viabilidade celular de *Saccharomyces cerevisiae* (tabela 1). A eficiência do US aumenta com o tempo de exposição aos efeitos das ondas acústicas e da cavitação sobre as células. Segundo a autora o US pode ser utilizado como um método para controle da viabilidade de microrganismos em resíduos aquosos e sanitização de águas contaminadas.

Tabela 1. Porcentagem de diminuição de células de *Saccharomyces cerevisiae* submetidas à ação do ultra-som de 20 KHz (Fonte: Tomasin,2001)

<i>Tempo de Sonicação</i> (min)	<i>n.º total de células/mL</i> (10 ⁷)	<i>Porcentagem de diminuição</i>
0	7,65	0%
4	5,30	31%
8	4,90	36%
12	4,05	47%
16	3,90	49%
20	3,85	50%

Segundo Margulis (2002), a causa da eletrificação local está relacionada com a fragmentação das bolhas decorrente do processo de cavitação e também pela própria deformação das mesmas. A ruptura das bolhas na cavitação está relacionada com a tensão superficial, vibração das bolhas, força de Stokes e forças eletrostáticas. O problema das cargas não compensadas na superfície das bolhas deformadas pela cavitação é apresentado numa nova visão: a deformação radial é devida à rotação parabólica /deformação axial e à cavidade hiperbólica de rotação. A explanação dos efeitos físicos e físico-químicos da cavitação é proposta em função da teoria elétrica e em particular da eletrificação local da cavitação de bolhas. A teoria da eletrificação local é uma teoria simples que correlaciona a maioria dos fatos experimentais da cavitação.

Em estudos feitos com aplicação de US na preparação e preservação de produtos cosméticos emulsionáveis, Campanha (2001) ressaltou que US é um excelente agente biocida. O tratamento do cosmético contaminado com o fungo *Aspergillus flavus* com ondas ultra-sônicas mostrou-se eficiente levando-se em consideração a diminuição do número de microrganismos presentes após irradiação. Foram estudadas amostras de cosméticos contaminadas com o fungo e irradiadas em equipamento gerador de US nos tempos de 12, 16 e 20 minutos, mostrando que a diminuição é maior em função do aumento do tempo de irradiação.

Ragaini et al. (2001), investigaram a cinética da degradação do 2-cloro fenol na água usando diferentes técnicas, sendo empregadas separadamente ou simultaneamente: irradiação por luz (315 - 400 nm), sonicação, fotocátalise com diferentes tipos de TiO_2 e fotocátalise com sonicação. A influência do volume de reação e das diferentes misturas gasosas, contendo Ar e O_2 , assim como O_2 / O_3 , foi também investigado. Finalmente, uma comparação energética entre essas diferentes técnicas foi avaliada enfocando a aplicação industrial em algumas delas.

Domingos (1998), descreveu os efeitos biológicos do US ainda que não completamente esclarecidos estão associados ao efeito da cavitação. A cavitação é a formação de cavidades ou bolhas no meio líquido contendo quantidades variáveis de gás, vapor ou ambos. A cavitação é devido à atividade oscilatória e à alta compressão de corpos semelhantes a bolhas. Essas bolhas são transformadas através de energia transferida pelo campo acústico incidente. As bolhas podem ser formadas porque a pressão negativa no tecido durante a rarefação pode fazer com que os gases dissolvidos ou capturados se juntem e formem as bolhas. No caso de células biológicas ou macromoléculas em suspensão aquosa, o US pode alterá-las estrutural ou funcionalmente através da cavitação. Outro fenômeno citado pelo autor é que no colapso das bolhas há liberação de energia que pode romper as ligações moleculares provocando a produção de radicais livres H e OH altamente reativos e, como consequência, causar mudanças químicas. Vários estudos tem surgido tentando esclarecer a formação dos radicais livres entre outros durante o processo de cavitação. Os radicais são formados por descargas elétricas nos vapores de água das cavidades ou por dissociação térmica devido a compressão adiabática e colapso das bolhas.

Segundo Bier (1982), a fragmentação mecânica que constitui na destruição da célula bacteriana pela trituração com abrasivos em alta rotação, por congelamento e degelo repetidos, pela agitação prolongada da cultura seca em moinhos de bola, constituem excelentes métodos para se extraírem substâncias das células bacterianas, porém, tais métodos em geral não são suficientes para destruir totalmente a cultura. Usando-se vibrações sônicas (de cerca de 9000 ciclos por segundo) ou câmaras de alta pressão, consegue-se desintegrar completamente as bactérias.

Mason (2000), citou que se conhece há muitos anos a importância da energia ultra-sônica, demonstrada pelo seu grande potencial na extensa variedade de aplicações em processos industriais. Alguns desses processos são conhecidos por muitos anos e continuam sendo importantes nas aplicações comerciais, como por exemplo, na soldagem e limpeza de plásticos. Outro exemplo, a perfuração ultra-sônica apesar de ter grande potencial ainda foi pouco utilizada. Atualmente o potencial do uso do ultra-som na indústria é enorme no entanto, muitas ainda apresentam resistência em adotá-lo.

Outra possibilidade de emprego do US, segundo Chemat et al. (2001), é quanto à remoção das substâncias húmicas da água bruta antes da cloração, pelo processo convencional de coagulação e filtração usando sulfato de alumínio. Aplicações de alta intensidade de radiação ultra-sônica em conjunto com agentes oxidantes comerciais como H_2O_2 tem sido estudado como alternativa para a remoção de substâncias húmicas. A sono-oxidação e sono-degradação de substâncias húmicas naturais e sintéticas tem sido avaliadas em função da medida do carbono orgânico total (TOC) e da absorbância medida no espectrofotômetro (UV-VIS) no comprimento de onda na faixa de ultravioleta. Foi observado que em aproximadamente 60 min de radiação ultra-sônica o TOC diminui 50% enquanto que a degradação dos ácidos húmicos é completa.

Conforme citou Dezhkunov (2002), a influência da temperatura na intensidade da sonoluminescência (SL) é diferente dependendo da intensidade ultra-sônica. Para intensidade ultra-sônicas não muito maiores do que a cavitação, a intensidade SL aumenta com a temperatura. Para intensidade ultra-sônicas consideravelmente maiores a cavitação, a intensidade SL diminui com o aumento da temperatura. Para intensidade ultra-sônicas intermediárias, a intensidade SL tem o seguinte desempenho: a atividade da cavitação primeiramente aumenta com a temperatura, alcança um máximo e depois decresce com o aumento da temperatura. No estudo da influência da temperatura do líquido em relação à cavitação foi empregado irradiação ultra-sônica com módulo contínuo e pulsado, para frequências de 880 e 21,9 KHz.

3.2 Processos de cloração

Como descreveu Witt (1993), muitas das enfermidades estão relacionadas com água contaminada, como por exemplo, cólera (*Vibrio cholerae*), febre tifóide e paratifoide (*Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* A,B,C), disenteria bacilar (*Shigella sp*) disenteria amebiana (*Entamoeba histolytica*), hepatite infecciosa (vírus da hepatiteA), diarreias (*Salmonella sp*, *Escherichia coli*, parasitas e vírus).

Existem também outras enfermidades causadas pela água poluída, apesar de não se apresentarem em grande escala, podem ter significado especial. Doenças como: a ascaridíase e a criptosporidiose, leptospirose , cisticercose e esquistossomose também podem ser veiculadas pela água.

Devido a importância da água como via de transmissão de enfermidades, a sua desinfecção para abastecimento público constitui uma das medidas mais efetivas para controlar a incidência de tais doenças. A razão fundamental da desinfecção da água é diminuir o risco da infecção das enfermidades por ela transmitidas mediante a destruição ou inativação dos diversos organismos patogênicos que potencialmente podem estar aí presentes.

Existem várias substâncias químicas que são utilizadas para desinfetar a água potável, como hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio, iodo elementar, cal clorada, cloro gasoso. O cloro é um dos desinfetantes mais efetivos para a água potável, sendo também um dos de menor custo. Na água com baixa turbidez e pH menor que 8, ele é muito eficaz contra as bactérias relacionadas com as enfermidades transmitidas pela água. Contudo sua eficácia é pequena contra alguns vírus e cistos de protozoários, especialmente quando é aplicado na temperatura e tempo de contato normais dos processos de cloração da água. Além disso, os microrganismos aderidos a partículas ficam protegidos e é possível que não sejam afetados pela ação do cloro. Outro fato é que a água pode ter uma demanda de cloro necessária para oxidação da matéria orgânica, antes do que este possa destruir os microrganismos. Este fato pode induzir o aparecimento de sabor de cloro, o que não é garantia de que a desinfecção foi adequada.

Manfrini et al.(1977), citaram que o hipoclorito de sódio apresenta-se em solução de 12 a 15 % de cloro ativo. A solução é razoavelmente instável e se decompõe

rapidamente, tendo maior estabilidade quando o pH está próximo a 11 e quando não apresenta cátions de metais pesados. O hipoclorito de sódio é produzido pela combinação do cloro com soda cáustica e seu armazenamento deve ser feito em ausência de luz e temperaturas inferiores à 30 °C pois acima desta decompõe-se rapidamente. Além disso apresenta facilidade para aplicações como por exemplo, na desinfecção da água a partir da solução original.

Segundo Rossin (1977), o cloro e alguns compostos clorados tem poder desinfetante e suas ações dependem:

- da concentração (quanto maior, mais efetiva sua ação);
- espécie química ativa (ácido hipocloroso ou íon hipoclorito ou cloroaminas);
- tempo de contato (quanto maior o tempo de contato mais efetiva a ação);
- pH (que influi na dissociação do ácido hipocloroso);
- tipo de microrganismo a ser destruído (alguns são resistentes à ação do cloro ou compostos clorados);
- turbidez (organismos envoltos por determinados materiais que dão turbidez à água poderão proteger-se contra a ação do desinfetante);
- grau de homogeneização do desinfetante e a água.

Di Bernardo (1993), também atribuiu à desinfecção o principal objetivo da cloração quando a água a ser tratada não recebeu qualquer forma de poluição. No entanto em águas poluídas a cloração pode ser empregada com o objetivo adicional, aproveitando-se da ação oxidante do cloro. Na água o cloro age de duas formas principais:

- desinfetante para destruir ou inativar os microrganismos patogênicos, algas e bactérias de vida livre, especialmente as ferro- redutoras do gênero *Crenothrix*;
- oxidante de compostos orgânicos e inorgânicos presentes na água.

Likins et al.(1994), relataram que quando a desinfecção é realizada com cloro livre, a seguinte equação geral pode ser escrita sobre a formação de trihalometanos(THM) e outros subprodutos halogenados originários da desinfecção (SPD) quando há presença de matéria orgânica natural (MON) e brometos:



Segundo Di Bernardo (1995), os principais subprodutos da desinfecção identificados na água tratada são:

- Trihalometanos (THMs): clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano, bromofórmio.
- Ácidos haloacéticos (AHAs): ácido monocloroacético, ácido dicloroacético, ácido tricloroacético, ácido monobromoacético, ácido dibromoacético, ácido tribromoacético, ácido bromocloroacético, ácido bromodicloroacético, ácido dibromocloroacético.
- Haloacetônitrilas (HANs): dicloroacetônitrila, tricloroacetônitrila, dibromoacetônitrila, tribromoacetônitrila, bromocloroacetônitrila.
- Haletos cianogênicos (HC): cloreto cianogênico, brometo cianogênico.
- Halopicrinas (HP): cloropicrina, bromopicrina.
- Haloacetonas (HA): 1,1-dicloropropanona; 1,1,1-tricloropropanona; 1,1-dicloro-2-butanona; 3,3-dicloro-2-butanona; 1,1,1-tricloro-2-butanona.
- Haloaldeídos (HAD): dicloroacetaldeído, tricloroacetaldeído.
- Halofenóis (HF): 2-clorofenol; 2,4-diclorofenol; 2,4,6-triclorofenol.
- MX [3-cloro-4-(diclorometil)-5-hidroxi-2(5H)-furanona].

A matéria orgânica natural é a principal precursora com a qual os halogênios reagem para formar os subprodutos. Na ausência de brometos, somente os subprodutos clorados da desinfecção (SPD) são formados, enquanto na presença destes, o ácido hipocloroso os oxida rapidamente à ácido hipobromoso (HBrO), o qual, juntamente com o residual de ácido hipocloroso, formam os compostos que possuem cloro e bromo. Os principais fatores que influenciam a formação de SPD são: pH, tempo de contato,

temperatura e concentração da matéria orgânica natural, dosagem de cloro aplicada, residual de cloro livre e concentração de brometos.

Ritchter (1998), descreveu que a desinfecção tem por finalidade a destruição principalmente dos microrganismos patogênicos presentes na água, entretanto deve-se distinguir a diferença entre desinfecção e esterilização.

Esterilizar significa destruir todas as formas de vida, enquanto que a desinfecção é a destruição total ou parte de um grupo de organismos que podem ser patogênicos.

Os vírus de hepatite e da poliomielite, por exemplo, não são completamente destruídos ou inativados pelas técnicas usuais de desinfecção. A desinfecção é necessária, porque não é possível assegurar a remoção total dos microrganismos por processos físico-químicos usualmente utilizados no tratamento da água.

Entre os agentes químicos que propiciam a desinfecção o mais utilizado na água contaminada é o cloro, devido às seguintes razões:

- está disponível na forma gasosa ou sólida (hipoclorito);
- tem baixo custo;
- sua aplicação é simples;
- tem alta solubilidade em água (7,0 g/l, a 20°C);
- deixa um residual em solução cuja concentração é facilmente determinada;
- é capaz de destruir a maioria dos microrganismos patogênicos.

O cloro apresenta algumas desvantagens, porquanto é um gás venenoso e corrosivo, requerendo cuidadoso manejo e pode causar problemas de sabor e odor, particularmente na presença de fenois.

Segundo Condie (1990), a água de abastecimento público tem sido mundialmente desinfetada para prevenir a transmissão de doenças de veiculação hídrica. Embora o cloro tenha sido usado nos Estados Unidos como o desinfetante primário, a segurança de seu uso foi questionado quando descobriu-se que a cloração da água pode resultar na formação de trihalometanos (THM). Na água pura, o cloro reage para formar ácido hipocloroso (HClO). Com o aumento do pH, HClO dissocia-se formando o íon hipoclorito (ClO^-). Pesquisas dos efeitos toxicológicos do Cl_2 , HClO e ClO^- tem sido relatadas pelas investigações de vários subprodutos da cloração, tais como, cloraminas e THMs. Dois

tipos de subprodutos da desinfecção podem ser claramente distinguidos, o primeiro resulta da reação de material orgânico presente na água (ácidos húmicos e fúlvicos) com o desinfectante, o segundo é resultante da reação do residual do desinfectante com nutrientes do tracto gastrointestinal. Muitos dos subprodutos identificados tem demonstrado possuírem propriedades mutagênicas e/ou carcinogênicas.

3.3 Processos de filtração /adsorção

O pesquisador Leme (1990), referenciou que a filtração é uma operação de separação de matéria em suspensão que existe na água a qual se processa quando esta é fluida em um meio poroso que pode ser areia, antracito, terra diatomácea ou uma malha finamente tecida. Na purificação da água a importância sanitária da filtração é muito grande, tendo em vista a sua influência na descontaminação. As unidades de tratamento onde se processa a filtração denominam-se filtros e podem ser classificados nos seguintes tipos:

- de acordo com o tipo de material do meio filtrante (areia, carvão ou antracito, carvão-areia, terra diatomácea);
- de acordo com a disposição do material do meio filtrante no leito (camadas superiores de areia com granulometrias diferentes, camadas superpostas de areia e carvão com granulometrias diferentes, camadas de areia-carvão e pedregulho com granulometrias diferentes).
- de acordo com o sentido do escoamento da água (escoamento descendente , escoamento ascendente e escoamento *bi-flow*);
- de acordo com a taxa ou velocidade de filtração (lentos, rápidos, de taxas elevadas);
- de acordo com a pressão existente (de pressão ou com a superfície sob pressão, de gravidade ou com a superfície livre).

Manfrini (1977), relatou que no tratamento de água emprega-se carvão granular disposto em leitos ou carvão em pó. No primeiro caso, sua granulometria pode ser idêntica a usada em filtros, ou seja, as partículas devem ter diâmetro entre 1,68mm e 2,38mm. No segundo caso, o produto deve ser tão fino quanto possível, ou seja, as partículas devem ter diâmetro menor ou igual a 0,074mm. O carvão ativado é produzido pela carbonização de madeira e de outros produtos vegetais, em condições controladas de oxigenação de modo que elimina o máximo de produtos orgânicos que tendem a se volatilizar na temperatura de carbonização com uma produção mínima de cinzas. Forma-se desse modo, um material com porosidade elevada e em consequência com grande poder de adsorção.

Noll (1992), descreveu que a adsorção é um fenômeno de superfície que pode ser definida como aumento na concentração das partículas que compõem a superfície ou interface entre duas fases. Num sólido ou líquido, átomos da superfície são sujeitos à forças desequilibradas de atração. Na discussão de fundamentos da adsorção é essencial abordar sobre adsorção física, que envolve somente forças intermoleculares fracas e adsorção química que envolve essencialmente a formação de um vínculo químico entre a molécula do adsorbato e a superfície do adsorvente. Adsorção física pode ser distinguida da adsorção química de acordo com um ou mais critérios que se seguem:

- A adsorção física não envolve compartilhamento ou transferência de elétrons e isto sempre mantém a individualidade das espécies. As interações são inteiramente irreversíveis. A desorção ocorre para determinada temperatura, embora o processo possa ser lento devido aos efeitos de difusão. Por outro lado a adsorção química envolve reação química e é irreversível.
- Adsorção física ocorre de forma localizada e as moléculas quando adsorvidas quimicamente são fixadas em locais específicos.
- Calor de adsorção física é pequeno comparado com o da adsorção química, entretanto, o calor de adsorção não é usualmente um parâmetro definido. Em adsorventes de poros estreitos o calor de adsorção física pode chegar a ser

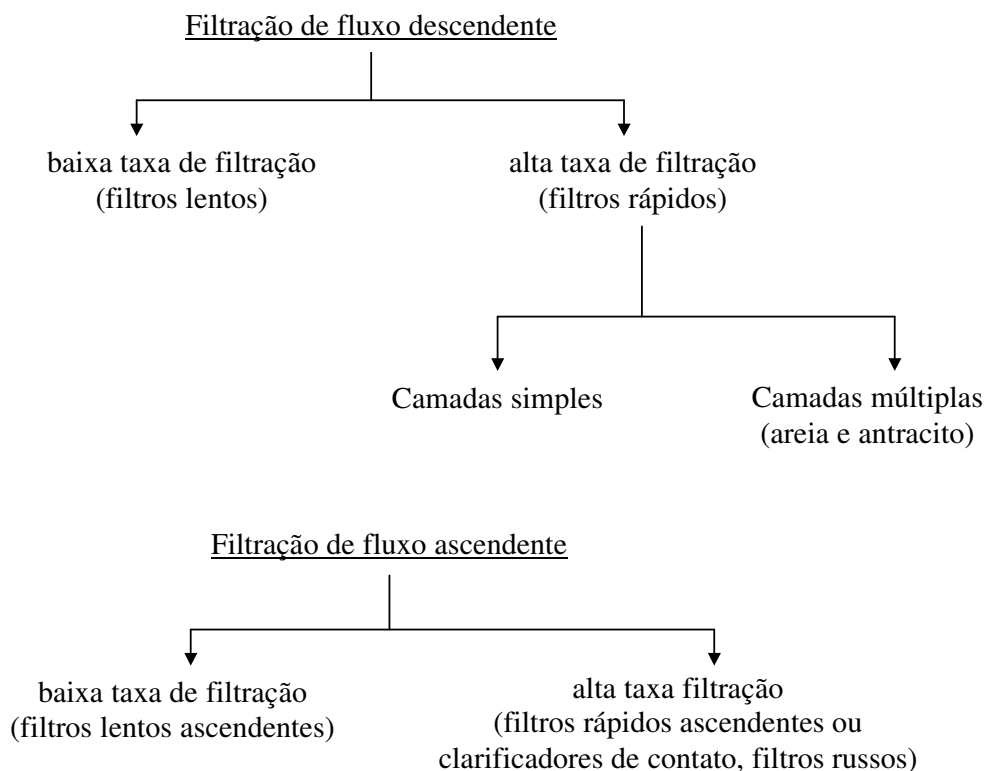
superior a 20 Kcal/mol, enquanto que o calor de adsorção química varia de 20 Kcal/mol a 100 Kcal/mol.

- A adsorção química envolve a transferência de elétrons, havendo reação química entre o adsorbato e a superfície sólida do adsorvente. Devido a reação química, esta freqüentemente ocorre, com alta temperatura e é usualmente associada a energia de ativação.

Vianna (1997), mencionou que dentre os processos de tratamento de água, nos filtros lentos há predominantemente ações biológicas, enquanto que em filtros rápidos há predominantemente ações físicas, químicas e físico-químicas.

A filtração numa estação clássica de tratamento de água, as partículas em suspensão que não foram retidas na decantação e os microrganismos que a elas estiverem associados.

Do ponto de vista da análise hidráulica o desempenho básico dos filtros, pode ser avaliada segundo uma das seguintes concepções (ou, em alguns casos, associando-se algumas delas):



Basicamente, os filtros são constituídos de um leito filtrante formado por uma ou mais camadas de material granular, instalada(s) sobre um sistema drenante denominado “fundo falso”. Entretanto, é no leito filtrante que de fato ocorrerá a filtração propriamente dita da água em tratamento. Os materiais utilizados nos filtros das estações de tratamento de água são granulares com especificações adequadas. Normalmente utiliza-se: areia nos filtros lentos e antracito e areia nos filtros rápidos.

Areia: pode ser obtida nos rios ou lagos ou mesmo em praias de água salgada, deverá ser limpa, sem barro ou matéria orgânica e não conter mais de 1% de partículas laminares ou micáceas. A massa específica da areia é da ordem de 2,6 gramas por centímetro cúbico.

Antracito: é um tipo de carvão mineral (portanto de origem fóssil), apresenta cor negra podendo ter aspecto brilhante. O carvão é pobre em substâncias voláteis e sua massa específica é da ordem de 1,4 a 1,6 gramas por centímetro cúbico, sendo inferior à da areia. Isto faz com que o antracito possa ser utilizado em filtros rápidos de camada dupla sobre a areia, sem se misturar. Nesse caso toda vez que o filtro for lavado, o antracito subirá mais que a areia; terminada a lavagem, ocorrerá a estratificação a areia ficará por baixo e o antracito por cima. A diferença de pesos específicos faz com que o antracito possa ser especificado com grãos maiores que a areia: mesmo assim a areia ficará por baixo e o antracito na parte superior.

Nunes (2001), estudou a adsorção em carvão ativado e outras substâncias adsorventes. O autor verificou que existem materiais que agem como adsorventes, fixando em sua superfície outras substâncias que produzem sabor, odor e matéria orgânica dissolvida. Entre as substâncias adsorventes cita a turfa, cinza, areia, carvão vegetal, casca de extração do tanino, flocos de hidróxido férrico, permutadores iônicos granulados (usado na remoção de detergentes não biodegradáveis), carvão ativado, etc.

O carvão ativado é um bom adsorvente, devida a sua elevada área superficial, com vantagem de ser regenerado, ou seja, é possível reativar seu poder de adsorção. Além de remover as substâncias citadas acima, remove também a cor (característica física, devido à existência de matéria dissolvida), fenóis (50 Kg de carbono para cada 5 a 12 Kg de fenóis), nutrientes (fosfatos, nitratos), sólidos em suspensão, matéria orgânica não biodegradável, etc. Os processos de remoção de sabor e odor são utilizados no tratamento de água potável.

Na remoção de matéria orgânica dissolvida, além da adsorção há também a fixação de microrganismos, em que o carvão serve de suporte para o desenvolvimento e adaptação. No caso de tratamento físico-químico por coagulação-floculação em que a eficiência de remoção de substrato não atinge valores satisfatórios como nos sistemas biológicos é possível obter um tratamento completo combinando-se um sistema de carvão ativado à jusante. O mesmo procedimento pode ser utilizado para efluente tratado de sistemas biológicos objetivando obter um clarificado de melhor qualidade. O tempo de contato no leito de carvão é de 15 a 40 minutos sendo anteriormente filtrado. O leito deve ser periodicamente lavado para desobstrução.

Cleasby (1999), comentou que nos Estados Unidos, doenças causadas por *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium parvum* com alta resistência a desinfecção, tem gerado numerosos estudos focados no processo de filtração envolvendo a coagulação, mas também em investigações da eficácia de filtração lenta em areia. Resumindo, estudam-se opções de remoção de microrganismos patogênicos incluindo filtração rápida, filtração lenta de areia e filtração com membrana. O processo mais utilizado entretanto, é a coagulação e filtração rápida, incluindo as etapas de floculação e sedimentação (tratamento convencional) ou filtração direta. Entretanto, para uma efetiva remoção de microrganismos é requerido cuidadoso controle de coagulação química e operação dos filtros para se obter água filtrada com baixa turbidez. Baseado em planta piloto e em estudos completos a remoção de microrganismos pode ser maximizada seguindo:

- turbidez da água filtrada deve ser menor ou igual a 0,10 Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU);
- a duração da turbidez alta no início do processo de filtração deve ser minimizada (menor do que 1 hora);
- se a turbidez da água filtrada exceder 0,2 NTU deve ser considerada turbidez limite, sinalizando que é necessário lavar o filtro.

Segundo Prosab (1999), a filtração é um processo imprescindível para a produção contínua e segura de água potável podendo ser rápida ou lenta dependendo da taxa de filtração. Usualmente, os filtros rápidos funcionam com taxas de filtração entre 150 a 600 metros/dia enquanto filtros lentos operam com taxas geralmente inferiores a 6 metros/dia

embora na literatura existam indicações de taxas superiores. Para o uso eficiente da filtração rápida é necessário o pré-tratamento da água bruta com coagulação química, podendo ou não haver a floculação e decantação ou flotação dependendo da qualidade da água a ser tratada. Como na filtração lenta não é utilizada a coagulação química, a água a ser filtrada deve possuir características apropriadas pois caso contrário o processo torna-se ineficaz. Por isso, na atualidade, a filtração lenta tem sido precedida por unidades de tratamento geralmente constituídas por pré-filtros de pedregulho. A água bruta proveniente de corpos d'água superficiais geralmente contém areia fina, silte, argila e algumas vezes matéria orgânica natural e algas. Organismos tais como protozoários, bactérias e vírus podem estar presentes e representar riscos à saúde pública, razão pela qual sua inativação deve ser prioridade em qualquer sistema de tratamento. Quando não se emprega a coagulação química, a filtração lenta e a cloração são os principais processos de tratamento capazes de assegurar a produção de água com qualidade para ser usada pelo ser humano.

Macedo (2000), descreveu que a filtração consiste em fazer a água atravessar uma camada de material poroso que em função do diâmetro dos poros haverá remoção das partículas em suspensão, diminuição da carga bacteriana e alguns componentes químicos são alterados. O processo de filtração baseia-se em quatro ações:

- filtração mecânica;
- sedimentação e adsorção;
- efeitos elétricos;
- alterações biológicas.

O filtro rápido por gravidade é formado de uma camada de areia e pode possuir uma outra camada de maior granulometria e menos denso como o antracito, que é colocado sobre a areia permitindo taxas de filtração ainda maiores. Os filtros rápidos são lavados contra corrente, ou seja, por inversão de fluxo com uma vazão capaz de assegurar a expansão adequada para o meio filtrante. Expansões acima 50% são indesejáveis porque reduzem o processo de atrito entre os grãos e permitem a perda do material filtrante, na prática consideram-se como ideal expansões de material filtrante que variam de 25 a 50% sendo o valor mais comum de 40% .

Noll (1992), referenciou que o carbono ativado tem estrutura do tipo que tem microcristais somente em poucas camadas espessas e com tamanho menor que 100 Å. Devido as imperfeições estruturais do carbono ativado, resultam em muitas possibilidades da área externa do carbono reagir com o adsorbato. Entretanto, o principal responsável pela propriedade característica de adsorção do carvão ativado, são seus poros. Mais de 99% dos “sítios” ativos de adsorção no carvão ativado, são localizados no interior das partículas. Os macroporos tem diâmetro entre 30 a 10.000 Å enquanto que os microporos apresentam diâmetros na faixa de 10 a 30 Å. O carvão ativado tem curva de isoterma de adsorção do tipo côncava (ou isoterma de Langmuir). Este tipo de isoterma é característico de microporos de sólidos com superfícies externas pequenas, sendo a adsorção em função mais do volume dos microporos do que da área superficial interna.

3.4 Processos de coagulação, floculação, decantação e desinfecção

Leme (1990), assegurou que a desinfecção é um processo de purificação cuja finalidade é destruir bactérias patogênicas e outros microrganismos que podem infectar o homem quando consumir água contaminada. Estes microrganismos também podem ser removidos ou destruídos pelos seguintes processos de tratamento de água:

- por mais de uma ação física (coagulação–floculação, sedimentação e filtração);
- por morte natural como ocorre em água armazenada por determinado período, antes ou após o tratamento;
- por ação da radiação ultravioleta, de origem solar ou artificial;
- por ação de produtos químicos introduzidos na água para fins diferentes da desinfecção;
- por meio de agentes químicos desinfectantes que podem ser oxidantes como cloro, cromo, iôdo, prata e ozônio.

A desinfecção que se ocupa quase que totalmente com a destruição de organismos celulares como bactérias, protozoários e vírus, trata principalmente da eliminação das bactérias normalmente por meio da ação do cloro. A eficiência da desinfecção está relacionada com:

- espécie, concentração, condição e capacidade de resistência dos microrganismos a serem destruídos;

- tipo e concentração do desinfectante existente na água de que resultam o tipo e concentração dos elementos provenientes da reação do desinfectante com a água .
- características químicas e temperatura da água.

Partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos em geral, conforme citou Di Bernardo (1993), apresentam carga negativa na água impedindo aproximação das mesmas. Para isso, faz-se necessário alterar a força iônica do meio e isto é feito pela adição de sais de alumínio ou de ferro ou polímeros sintéticos caracterizando o fenômeno de coagulação. A coagulação é resultado de quatro mecanismos distintos:

- compressão da camada difusa;
- adsorção e neutralização;
- varredura;
- adsorção e formação de ponte.

Dependendo da qualidade da água bruta, a coagulação pode ser realizada com um sal de alumínio ou de ferro e utilizando-se polímeros como auxiliares de coagulação, floculação ou de filtração. Às vezes, um polímero catiônico pode ser o coagulante primário e um sal de alumínio ou de ferro o auxiliar de coagulação, o que está estritamente relacionado com a qualidade da água bruta e em especial, o pH e a alcalinidade. Em função do número e da distribuição de tamanho das partículas presentes na água bruta pode ou não ser necessária a floculação, cujas características como gradiente de velocidade e tempo de agitação geralmente diferem daquelas comumente empregadas na floculação da água que é submetida à decantação. Por envolver diversas variáveis de projeto e de operação e depender demais da qualidade da água bruta, a viabilização e otimização de um sistema de filtração direta descendente requer quase sempre, a realização de pesquisas experimentais para a obtenção de parâmetros de projeto e operação para diferentes épocas do ano tendo em vista a variação acentuada de qualidade da água bruta em épocas chuvosas e de estiagem. Observa-se também que dependendo da qualidade da água, especialmente quando a cor verdadeira for muito elevada em relação à turbidez, ou quando houver possibilidade de ocorrência de florescimentos algais no manancial, a flotação pode ser empregada com sucesso em lugar da decantação. Em muitos casos, com a degradação da

qualidade da água dos recursos hídricos resultante de lançamento de águas residuárias industriais ou sanitárias tratadas ou não, torna-se necessária a adsorção em carvão ativado, oxidação com permanganato de potássio ou pré-desinfecção com ozônio, dióxido de cloro, radiação ultravioleta juntamente com peróxido de hidrogênio, como preconiza Di Bernardo (1995).

Haas (1999), descreveu que o processo de desinfecção tem como principal objetivo a diminuição significativa do número de microrganismos patogênicos. Outros processos tais como filtração, coagulação-floculação-sedimentação podem também diminuir os microrganismos na água, porém isto geralmente não é seu objetivo principal. O conceito da desinfecção está relacionado à bactérias que agem como agentes causadores de doenças. Aerill, em 1832, citado por Haas já propunha desinfecção com cloro em resíduos como meio profilático para evitar epidemias. O benefício profilático da desinfecção da água é evidenciado com a resposta a respectiva redução do tifo e da cólera.

Enquanto progressos significativos estão sendo feitos no controle de doenças pela desinfecção, novos agentes infectantes são reconhecidos tais como vírus, bactérias ou micobactérias e protozoários. Por exemplo, a hepatite doença causada por meio da água com a desinfecção inadequada ou ausência desta tem trazido sérias preocupações em relação a saúde humana. Novos agentes virais são continuamente encontrados na água sendo capazes de transmitir doenças.

O regime de desinfecção praticado nos Estados Unidos tem sido aplicado pela AWWA (American Water Works Association), desde 1980. Estudos do Comitê de Desinfecção relatam o uso do cloro ou hipoclorito com sua desinfecção química primária, além do complemento da desinfecção com amônia, ou dióxido de cloro ou ozônio. Outros estudos foram concebidos para a remoção e inativação de resistentes microrganismos patogênicos, tais como, *Giardia lamblia* e *Cryptosporidium parvum*. Para estes protozoários outros meios de desinfecção passam a ser boas opções em relação a tradicional desinfecção com cloro e estão ganhando popularidade.

O dióxido de cloro tem sido usado largamente como agente branqueador na manufatura de polpa e papel. Apesar de estudos de investigação do uso de dióxido de cloro como oxidante e desinfetante sua aplicação no tratamento de água e efluentes tem sido lenta. Desde 1977, oitenta e quatro estações de tratamento de água nos Estados

Unidos foram identificadas com o uso do dióxido de cloro embora somente uma utiliza-o como desinfectante primário. Na Europa, dióxido de cloro tem sido usado como oxidante ou desinfectante em quase 500 Estações de Tratamento de Água.

O ozônio teve sua primeira aplicação como desinfectante em 1893, em Oudshoorn, Países Baixos. Em 1906, na cidade de Nice na França, foi instalado o processo de ozonização para tratamento de água. Esta Estação representa a instalação de ozonização mais antiga em operação contínua. Nos Estados Unidos, ozônio foi primeiramente empregado para controle de odor e sabor em 1906, no Park de Reserva Jerone em New York. Em 1987, cinco Estações de Tratamentos de água passaram a usar a oxidação primária com ozônio para controle de odor e sabor ou remoção de precursor de trihalometanos.

O efeito biológico da radiação ultravioleta (UV) tem sido conhecido desde tempos antigos, onde esta radiação é responsabilizada pela diminuição microbiológica devido incidência da luz solar. Ultravioleta tem sido aceita para tratamento de água potável para o abastecimento humano porém historicamente com pouco entusiasmo, isto porque este não deixa residual de aplicação. Em tratamento de efluentes, ao contrário, mais de 600 Estações de tratamento nos Estados Unidos usam o UV como desinfectante.

Outros agentes podem ser usados para efeito de inativação de microrganismos, entre eles o calor, metais (prata, cobre), álcalis ou ácidos, surfactantes, permanganato e irradiação transmitida por elétrons. Calor é útil somente em “água fervida” e não é econômico. Em meio alcalino ou ácido pode-se obter alguma inativação microbiológica mas não é suficiente como um único desinfectante. Permanganato de potássio tem sido empregado para realizar alguns efeitos de desinfecção, entretanto a sua atuação não está bem caracterizada.

A desinfecção, segundo Daniel (2001), constitui a etapa do tratamento cuja função principal consiste na inativação dos microrganismos patogênicos realizada por intermédio de agentes físicos e/ou químicos. Ainda que nas demais etapas da potabilização haja diminuição no número de microrganismos agregados às partículas coloidais tal intento não consiste no objetivo principal dos demais processos e operações unitárias usuais no tratamento das águas de abastecimento.

Essa assertiva assume relevância na comparação entre as dimensões médias dos flocos, afluentes às unidades filtrantes e dos diversos tipos de microrganismos geralmente encontrados nas águas naturais. Enquanto os primeiros apresentam dimensões variando de 0,002 a 0,004 mm (2 a 4µm), para as bactérias dos gêneros *Salmonella* e Coliformes as variações são de 0,5 a 2,0µm e para vírus, de 0,025 a 0,1 µm. Neste contexto, o desempenho das unidades potabilizadoras, embora favoreça a remoção dos cistos de *Giardia lamblia* cujas dimensões variam de 10 a 14 µm, nas etapas procedentes à desinfecção tem interferência menor com os cistos de *Cryptosporidium parvum* (4 a 6µm de diâmetro). Desta forma, é facilmente compreensível a relação intrínseca do desenvolvimento do processo de desinfecção com a referida evolução da microbiologia e o fato de que esta etapa da potabilização deve ser considerada indispensável e prioritária sempre que a água estiver contaminada.

A ação dos desinfetantes sobre os microrganismos pode se dar sob três mecanismos:

- destruição ou danificação da organização estrutural da célula – atuando sobre os constituintes da parede celular, membrana citoplasmática ou ainda ao nível do citoplasma e núcleo;
- interferência no nível energético do metabolismo;
- interferência na biossíntese e crescimento devido à combinação de vários mecanismos como a síntese de proteínas, pelos ácidos nucleicos, inibição de enzimas e coenzimas.

No tratamento de água, os dois tipos de mecanismos preponderantes de desinfecção são a oxidação, com posterior ruptura da parede celular, e a difusão no interior das células, com conseqüentes interferências nas atividades celulares.

3.5 Controle de qualidade e doenças transmissíveis pela água

Di Bernardo (1993), afirmou que do ponto de vista epidemiológico a água desempenha papel importante na transmissão de doenças como cólera, febre tifóide, febres paratifoídes, disenteria bacilar, amebíase, giardíase e esquistossomose. Os coliformes tem sido utilizados como indicadores de poluição recente de fezes e, evidentemente, de

contaminação. Quando há ocorrência de coliformes totais ou fecais nas águas destinadas ao consumo humano, devem ser tomados cuidados especiais com a escolha da tecnologia de tratamento por haver relação íntima entre turbidez e o número de coliformes. Em geral quanto menor a turbidez da água filtrada menor o número de coliformes. No processo de filtração são removidas quase em sua totalidade as partículas coloidais, suspensas e microrganismos em geral, de forma que a desinfecção final seja efetiva.

Pelczar (1996), descreveu que o termo microrganismos indicadores refere-se a um tipo de microrganismo cuja presença na água é evidenciada de que ela está poluída com material fecal de origem humana ou de outros animais de sangue quente. Este tipo de poluição indica que qualquer microrganismo patogênico que ocorre no trato intestinal desses animais podem também estar presente. Algumas das características importantes de um organismo indicador são:

- estar presente em águas poluídas e ausentes em águas não poluídas;
- estar presente na água quando os microrganismos patogênicos estão presentes;
- o número de microrganismos indicadores está correlacionado com o índice de poluição;
- sobrevive melhor e por mais tempo na água de que os microrganismos patogênicos;
- apresenta propriedades uniformes e estáveis;
- geralmente é inofensivo a homem e a outros animais;
- está presente em maior número do que os patogênicos;
- é facilmente evidenciado por técnicas laboratoriais padronizadas.

Escherichia coli é o organismo utilizado nos Estados Unidos pois satisfaz as exigências de um indicador ideal de poluição. Outras bactérias tem sido sugeridas e algumas vezes utilizadas como indicadores de poluição, entre elas, *Streptococcus faecalis* e *Clostridium perfringens*, ambas são habitantes normais de intestino grosso do homem e de outros animais.

As bactérias do grupo coliforme são caracterizadas como bacilos Gram negativos não esporulados, facultativos, que fermentam a lactose com produção de ácido e gás em um período de 48 horas a 35°C. A *Escherichia coli* é um habitante normal do trato intestinal de humanos e outros animais de sangue quente e assim, é considerada um tipo fecal de

coliforme. Outros membros do grupo coliforme, por exemplo, *Enterobacter aerogenes*, são encontrados no solo, na água, nos cereais e também no trato intestinal humano e de outros animais e são considerados coliformes não fecais. Os coliformes tem várias características em comum com espécies do gênero *Salmonella* e *Shigella*, as quais são patogênicas. Entretanto, a principal diferença bioquímica é que os coliformes fermentam a lactose com produção de ácido e gás; *Salmonella sp* e *Shigella sp* não fermentam a lactose. Portanto, a fermentação da lactose é a reação-chave no procedimento laboratorial para determinar a potabilidade da água.

Na referência da CETESB (2000), a poluição das águas tem como origem diversas fontes, dentre as quais se destacam:

- efluentes domésticos;
- efluentes industriais;
- carga difusa urbana e agrícola.

A Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB), órgão responsável pelo controle de poluição no Estado de São Paulo, faz uso de 43 parâmetros para a determinação da qualidade de água (físicos, químicos, hidrobiológicos, microbiológicos e ecotoxicológicos) considerando os mais representativos.

Os parâmetros da qualidade da água são:

- parâmetros físicos: temperatura da água e do ar, série de resíduos (filtráveis e não filtráveis), absorbância no ultravioleta, turbidez e coloração da água;
- parâmetros químicos: pH, Oxigênio Dissolvido, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_{5,20}), Demanda Química de Oxigênio (DQO), carbono orgânico, potencial de formação de trihalometanos, série de nitrogênio (Kjeldahl, amoniacal, nitrato e nitrito) fosfato total, ortofosfato solúvel, condutividade específica, surfactantes, cloreto, fenois, ferro total, manganês, alumínio, bário, cádmio, chumbo, cobre, cromo total, níquel, mercúrio e zinco;
- parâmetros microbiológicos: coliforme fecal, *Giardia sp*, *Cryptosporidium sp*, *Clostridium perfringens* e estreptococos fecais;

- parâmetros hidrobiológicos: clorofila – a;
- parâmetros ecotoxicológicos: teste de toxicidade crônica à *Ceriodophnia dubia*, teste de Ames para avaliação de mutagenicidade e sistema Microtox®.

Conforme citou Di Bernardo (1995), segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) para que seja assegurada a qualidade microbiológica da água tratada é necessária a sua desinfecção, de modo que ocorra inativação superior a 99,9% de cistos de *Giardia lamblia* e de 99,9% de vírus e que seja detectado residual do desinfectante em pelo menos 95% das amostras coletadas no sistema de distribuição, embora na atualidade seja sabido que cistos de *Cryptosporidium parvum* sejam mais resistentes que aqueles microrganismos. Tem sido empregado o parâmetro CT em que C é a concentração (mg/L) do desinfectante que permanece em contato com água por um período de tempo T (min) para que sejam alcançados determinados graus de inativação de microrganismos. Por exemplo, o valor de CT para cloroaminas é da ordem de duas vezes o correspondente ao cloro livre. Na tabela 2 são apresentados diferentes valores de CT de diferentes desinfectantes requeridos para inativação de *E.coli*, poliovírus 1, rotavírus, cistos de *Giardia lamblia*, *Giardia muris* e *Cryptosporidium parvum*. Observa-se que o ozônio é mais eficiente que os demais desinfectantes, inativando 99% de todos os microrganismos listados para valores baixos de CT. As cloroaminas apresentam eficiência menor que os demais enquanto que o cloro livre e o dióxido de cloro tem eficiências semelhantes na inativação de poliovírus. O cloro livre é mais efetivo que o dióxido de cloro na inativação de rotavírus e *E.coli* enquanto o dióxido de cloro é mais eficiente que o cloro livre em inativar cistos de *Giardia lamblia* e *Giardia muris*.

Tabela 2 . Valores de concentração x tempo (CT) de diferentes desinfetantes para inativação de microrganismos (Fonte: Di Bernardo,1995)

Microrganismos	Cloro livre (pH = 6 a 7)	Cloroamina (pH = 8 a 9)	Dióxido de cloro (pH = 6 a 7)	Ozônio (pH = 6 a 7)
<i>E. coli</i>	0,034 a 0,050	95 a 180	0,4 a 0,75	0,02
Poliovírus 1	1,1 a 2,5	768 a 3740	0,2 a 6,7	0,1 a 0,2
Rotavírus	0,01 a 0,05	3806 a 6476	0,2 a 2,1	0,006 a 0,06
Cisto de <i>Giardia lamblia</i>	47 a 150	2200 ^a	26 ^a	0,5 a 0,6
Cisto de <i>Giardia muris</i>	30 a 630	1400	7,2 a 18,5	1,8 a 2,0
<i>Cryptosporidium parvum</i>	7200 ^b	7200 ^c	78 ^c	5 a 10 ^d

a = inativação de 99,9 % (pH de 6 a 9)

b = inativação de 99,0 % (pH = 7 e temperatura 25°C)

c = inativação de 90,0 % (pH = 7 e temperatura 25 °C)

d = inativação de 99,0 % (pH = 7 e temperatura 25°C)

Viana (1997), descreveu que a análise bacteriológica da água procura em última análise, determinar a presença de material fecal em condições de trazer consigo microrganismos patogênicos. Essa determinação tem sido feita através da análise dos organismos coliformes que são eliminados diariamente em grande número do trato intestinal dos animais de sangue quente (entre eles o homem). Daí o fato de se efetuar análises para a determinação de coliformes totais e fecais. A presença de coliformes fecais na água indica a possibilidade de contaminação por fezes humanas embora não se

comprove. Por esse motivo, diz-se que os coliformes são indicadores de contaminação. Evidentemente, constatar a presença desses organismos e a partir daí, supor que a amostra está contaminada por organismos patogênicos constitui tarefa mais fácil que a de realizar todos os ensaios, específicos para cada tipo de organismo capaz de infectar o ser humano. Ressalta-se que os coliformes, por si só, não são patogênicos quando presentes nas concentrações usuais no ser humano. Mas sua presença na água indica a possibilidade da presença de organismos patogênicos.

Os ensaios destinados a detecção dos coliformes tem evoluído. Da técnica dos tubos múltiplos, a partir da qual entra-se numa tabela probabilística o número mais provável (NMP) de coliformes, passou-se para a técnica das membranas filtrantes e substratos cromogênicos. Modernamente, técnicas do tipo presença/ausência vem sendo desenvolvidas e comercializadas. Recentemente, outros indicadores (também biológicos) vem sendo testados, tais como, os estreptococos fecais. Interessantes indicadores e a ocorrência real de organismos vem sendo apresentados, mas os coliformes (totais e fecais) ainda constituem a melhor fonte de informação para o profissional da área de saneamento.

Conforme citou a CETESB (1996), a água contém uma série de microrganismos, alguns naturais do ecossistema aquático e outros organismos de trânsito provenientes do solo, do ar e dos despejos industriais e domésticos. Os processos de tratamento não tem por finalidade produzir água estéril, mas torná-la livre de patógenos e segura para o consumo humano. Portanto, é possível detectar-se a presença de microrganismos em águas de abastecimento, a maioria dos quais faz parte da flora normal desses sistemas. O controle dessa população bacteriana é de fundamental importância, visto que densidades elevadas de microrganismos na água podem determinar a deterioração de sua qualidade com desenvolvimento de odores e sabores desagradáveis e produção de biofilmes. Além desse problema, densidade bacteriana elevada pode apresentar risco à saúde dos consumidores pois embora a maioria das bactérias da flora normal da água não seja considerada patogênica algumas delas podem atuar como patógenos oportunistas. Outro aspecto importante é a influência inibidora de alguns microrganismos, os quais, quando presentes em números elevados podem impedir a detecção de coliformes seja devido à produção de fatores de inibição, seja por um desenvolvimento mais intenso, sobrepujando uma menor população de coliformes. Neste sentido, estudos comparativos demonstram que embora haja

uma relação direta entre a frequência de detecção de coliformes e a densidade bacteriana até níveis de 500 bactérias/mL, quando a população bacteriana excede a 1000/mL a frequência de detecção de coliformes decresce. Em relação a este aspecto tem sido evidenciado a ação inibidora de *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Flavobacterium*, *Proteus*, *Bacillus*, *Actinomyces* e leveduras.

A CETESB(2000), a partir de um estudo realizado em 1970 pela “National Sanitation Foudation” dos Estados Unidos, adaptou e desenvolveu o Índice de Qualidade das Águas – IQA. O índice IQA, incorpora 9 parâmetros, que são considerados relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a utilização das mesmas para abastecimento público. Os parâmetros são: coliformes fecais, pH, DBO_{5,20}, nitrogênio total, fósforo total, temperatura, turbidez, resíduo total e oxigênio dissolvido. Pode-se então determinar a qualidade das águas brutas que indicada pelo IQA numa escala de 0 a 100 é classificada para abastecimento público, segundo a gradação a seguir:

Qualidade Ótima	79 < IQA < 100
Qualidade Boa	51 < IQA < 79
Qualidade Regular	36 < IQA < 51
Qualidade Ruim	19 < IQA < 36
Qualidade Péssima	IQA < 19

Peçanha (1993), verificou que a água bruta na Estação de captação de água do Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Rio Claro (DAAE) localizada na Floresta Estadual Navarro de Andrade , no município de Rio Claro (SP) pode ser considerada muito boa quanto a média de contagem de coliformes fecais *E. coli* sendo desta forma classe 2 (Resolução n.º 20, de 1986, do Conama), ou seja, destinada ao abastecimento após tratamento convencional, destinada à irrigação de espécies vegetais que se desenvolvem rente ao solo, à recreação de contato primário, à proteção das comunidades aquáticas. Os valores da variação e da média das contagens de bactérias heterotróficas em unidades formadoras de colônias/100 mL de água e número provável (NMP) dos coliformes totais e coliformes fecais *E. coli*, estão descritos na tabela 3.

Tabela 3. Quantificação de bactéria da água bruta no lago da Floresta Estadual Navarro de Andrade (Fonte: Peçanha,1993)

Microrganismo	Variação	Média
Bactéria Heterotróficas		$1,4 \times 10^5$
	$4,7 \times 10^3$ a $4,9 \times 10^6$ UFC/100mL	UFC/100mL
Coliformes Totais		$6,9 \times 10^3$
	$4,9 \times 10^2$ a $9,2 \times 10^4$ UFC/100mL	UFC/100mL
Coliformes Fecais E.coli		$3,7 \times 10^2$
UFC/100mL	$8,0 \times 10^1$ a $2,3 \times 10^3$ UFC/100mL	UFC/100mL

Ritcher (1998), descreveu que entre as impurezas nas águas incluem-se os organismos presentes que conforme a sua natureza, tem grande significado para os sistemas de abastecimento de água. Alguns desses organismos como certas bactérias, vírus e protozoários, são patogênicos, podendo provocar doenças e ser a causa de epidemias. Outros organismos como algumas algas, são responsáveis pela ocorrência de sabor, odor desagradáveis, ou por distúrbios em filtros e em outras partes do sistema de abastecimento. As características biológicas das águas são determinadas através de exames bacteriológicos e hidrobiológicos, entre os primeiros se destaca a pesquisa do número de coliformes, contagem do número total de bactérias heterotróficas. Segundo a Organização Mundial da Saúde, cerca de 80% de todas as doenças se alastram nos países em desenvolvimento são provenientes da água de má qualidade.

Além desses males, existem ainda os casos que podem ocorrer em consequência da presença na água de substâncias tóxicas ou nociva. Mais de 40 enfermidades podem ser transmitidas direta ou indiretamente, seja por contato com águas poluídas ou por falta de higiene ou ainda devido a vetores que vivem no meio aquático, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 . As doenças mais comuns, de transmissão hídrica (Fonte: Ritcher,1998)

AGENTE CAUSADOR	DOENÇA
<i>Salmonela tifoíde</i>	Febre tifoíde
<i>Salmonelas paratifoídes</i>	Febres paratifoídes
Bacilo disentérico	Disenteria bacilar
<i>Entamoeba histolítica</i>	Disenteria amebiana
<i>Vibrião colérico</i>	Cólera
<i>Enterovírus</i> , <i>E.coli</i>	Diarréia
Vírus tipo A	Hepatite infecciosa
<i>Giardia lamblia</i>	Giardíase

Cohn (1999), verificou que os principais microrganismos indicadores e indicadores físicos da qualidade da água são coliformes totais, coliformes fecais *E.coli*, bactérias heterotróficas, *Clostridium perfringens*, contagem de partículas e turbidez. A concentração de partículas especialmente na seleção de faixas de tamanho, tem sido discutido como um possível indicador da qualidade da água e da eficiência do tratamento. A contagem de partículas pode ser utilizada para estimativa da eficiência de remoção de *Giardia sp* e *Cryptosporidium sp* na água filtrada.

Também a turbidez, é uma medida não específica da quantidade de partículas na água (por exemplo, argila, sedimentos finos de matéria orgânica e inorgânica e microrganismos). Turbidez tem sido usada por muitas décadas como um indicador da qualidade da água potável assim como um indicador da eficiência do processo de coagulação e filtração. Com a adequada remoção da turbidez remove-se os microrganismos da água que agregam-se em partículas conhecidas como flocos. Alta turbidez pode diminuir a eficiência da desinfecção, conseqüentemente, maior demanda de desinfetante. As partículas/flocos podem também adsorver substâncias tóxicas presentes na água além de proteger os microrganismos da desinfecção pela adsorção ou revestimento dele.

4. MATERIAL E MÉTODO

4.1 - Material

4.1.1 - Água bruta

- Água bruta do Rio Ribeirão Claro, Estação de Captação de Água, ETA I - Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Rio Claro (DAAE), localizada na Floresta Estadual Navarro de Andrade, município de Rio Claro (SP).

4.1.2 Equipamentos

- Mini estação compacta de tratamento de água (ETA-CB), segundo projeto da CB Consultoria e Treinamento S/C Ltda. (Figura 1)



Figura 1 – Mini Estação Compacta de Tratamento de Água(ETA-CB), o aparelho de ultrassom utilizado nos ensaios e o pH-metro utilizado para controle contínuo do pH de coagulação.

- Aparelho de ultra-som Sonic of Materials Vibra Cell – Model VCX 600 transdutor de cerâmica piezoelétrica sintética. Guia de onda com diâmetro 20 mm e comprimento útil de 50 mm. Frequência: 20 KHz, 600 W, voltagem 230V, Amperagem:10 A;
- Bomba submersa RIO –180 Aqua Pump;
- Termômetro de mercúrio Incoterm;
- Bomba de vácuo Tecnal, modelo TE-058;
- Medidor de condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos Hach – modelo CO150;
- Balança analítica Mettler Toledo AB204;
- Espectrofotômetro Hach DR2000;
- Spectroline Model CM-10, cabine de análise fluorescente Espectronics Corporation;
- Incubadora de Demanda Bioquímica de Oxigênio (BOD) MA 415, marca Marconi;
- Estufa marca Fanem, modelo 315 SE;
- pHmetro Tecnal, modelo TC2;
- Selador de cartela Quanti-Tray Sealer;
- Agitador magnético Fanem modelo 257;
- Contador de colônias CP600, marca Phoenix Equipamentos;
- Autoclave marca Fanem;
- Cronômetro;
- Vibrador e peneiras granulométricas marcas Bertel e Granutest;

4.1.3 Reagentes e meios de cultura

Os reagentes e meios de cultura empregados apresentavam qualidade analítica.

- Solução de cloreto férrico 1% m/v
- Solução de hidróxido de sódio 1% m/v
- Solução de hipoclorito de sódio 1% de cloro ativo v/v
- Reagentes recomendados pelas Normas Técnicas de análise de água, descritos por Clesceri(1998)
- Reagentes da Hach para análise de ferro e cloro livre residual

- Reativos Colilert para determinação de coliformes totais e coliformes fecais *E.coli*
- Água tamponada de diluição
 - Solução estoque A: 34,0g de fosfato monopotássico (KH_2PO_4);
1000 mL água destilada.
 - Solução estoque B: 81,1g de cloreto de magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$);
1000mL água destilada.
 - Preparo : 1,25 mL solução estoque A; 5,0 mL solução estoque B e
1000 mL água destilada.
- Meio de cultura Ágar triptona glicose extrato de levedura Plate Count Ágar®, segundo Difco (1984).

4.1.4 Vidraria e outros materiais de uso geral de laboratório

- Vidraria de laboratório
- Reservatório plástico para água bruta (40 litros).
- Cartela para contagem de bactérias Quanti-Tray 2000 Idexx.
- Sacos de coleta de 100 mL, contendo pastilha de tiosulfato de sódio.
- Papel de filtro Filter Papers Ø125 mm, n.º5 filtração lenta, marca Whatman
- Frascos de coleta esterilizados para análise microbiológica.

4.1.5 Material de filtração

- Carvão ativado granulado

Massa total = 260 gramas, sendo:

2,3g , Ø = 5,66mm

151,5g , Ø = 3,36mm

85,0g , Ø = 2,38mm

21,2g , Ø = 0,50mm

- Areia grossa, média e fina

Massa total = 1940 gramas, sendo:

180,6g , Ø = 3,36mm

208,9g , Ø = 2,38mm

837,9g , Ø = 0,50mm

252,4g , $\varnothing = 0,297\text{mm}$

180,2g , $\varnothing = 0,210\text{mm}$

260,7g , $\varnothing = 0,105\text{mm}$

15,1g , $\varnothing = 0,074\text{mm}$

4,1g , $\varnothing = 0,053\text{mm}$

- Pedregulho → Massa total = 580 gramas, com granulometria $5,66\text{mm} < \varnothing < 30\text{mm}$

4.2 Método

4.2.1 Coleta de Água Bruta

A água bruta foi coletada e transferida para bombonas de PVC com capacidade para 20 litros, sendo a água coletada na margem da represa da Floresta Estadual Navarro de Andrade – Rio Claro (SP) ou diretamente da bomba de água da Estação de Captação de água. (Figura 2) Para cada ensaio foram coletados 80 litros de água bruta.



Figura 2 - Ponto de captação de água de abastecimento da ETA I-DAAE, no lago da Floresta Estadual Navarro de Andrade, município de Rio Claro - SP.

4.2.2 – Operação da Estação Compacta de Tratamento de Água

A água bruta é bombeada do reservatório mediante a uma bomba submersa, para a caixa de entrada e com auxílio de funis de separação são adicionados solução de coagulante (FeCl_3 31% e solução alcalinizante (NaOH 1%). O sistema de floculação empregado na ETA Compacta foi de chicana e meio granular. Para controle contínuo do pH de coagulação colocou-se o eletrodo do pHmetro na chicana do sistema de floculação. A água floculada entra no decantador saindo o sobrenadante por três canaletas receptoras que deságuam no filtro rápido formado por camada de carvão ativado, areia fina, areia média, areia grossa e pedregulhos (Figura 3). O meio filtrante periodicamente foi lavado com água de torneira com fluxo ascendente, ou seja, em contra-corrente a operação normal.



Figura 3 - Estação compacta CB (ETA-CB) mostrando a aplicação de produtos químicos na caixa de entrada de água bruta e pHmetro para controle do pH de coagulação.

4.2.3 Determinação da vazão da ETA

Para a determinação da vazão da ETA (mini estação compacta para tratamento de água - CB), utilizou-se uma proveta de 500mL e um cronômetro. Após ligar a bomba de água submersa do reservatório de água bruta, transferiu-se a água de saída para a proveta, sendo acionado o cronômetro simultaneamente, após 1 minuto foi feita a leitura em mL na proveta. A vazão de água bruta na ETA-CB ficou entre 200 a 230 mL/min.

4.2.4 Parâmetros químicos, físico-químicos e bacteriológicos analisados

Para cada ensaio foram feitas três repetições sendo calculados a média aritmética ($\bar{x}$) e estimativa do desvio padrão (s). Os parâmetros de Controle de Qualidade foram os seguintes:

- vazão da ETA (mL/min);
- pH;
- cor aparente(Pt Co);
- turbidez (NTU);
- condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$);
- salinidade (o/oo);
- temperatura (°C);
- sólidos totais dissolvidos (mg/L);
- ferro (mg/L Fe);
- cloro livre residual (mg/L Cl_2);
- sólidos suspensos (mg/L);
- coliformes totais (NMP/100 mL);
- coliformes fecais *E. coli* (NMP/100 mL);
- bactérias heterotróficas (UFC/ mL) .

4.2.5 Desinfecção com solução de hipoclorito de sódio

A água bruta passando em fluxo contínuo na ETA compacta recebeu na entrada o coagulante cloreto férrico 1%, juntamente com a solução de hipoclorito de sódio 1%. Após

o processo de coagulação/floculação a água entra no decantador onde a lama é depositada no fundo e a água sobrenadante é recolhida por canaletas indo despejar-se no terceiro compartimento (filtro) composto com camadas filtrantes de carvão / areia / pedregulho (Figura 4).

Para avaliação somente do efeito do hipoclorito de sódio bombeou-se em fluxo contínuo água bruta na ETA compacta com injeção do desinfetante, nesse caso não utilizou-se coagulante, alcalinizante e processo de filtração.

As águas tratadas foram analisadas nos parâmetros citados no item 4.2.3.

4.2.6 Desinfecção com ultra-som

A água bruta passando em fluxo contínuo na ETA compacta recebeu na entrada o coagulante cloreto férrico 1% e alcalinizante hidróxido de sódio 1%.

Após o processo de coagulação / floculação a água passou no decantador onde a lama foi depositada no fundo, a água sobrenadante foi recolhida em canaletas passando pelo filtro e posteriormente pelo processo de desinfecção com ultra-som. (Figura 4). Analisou-se a água de saída.

Para avaliação somente do efeito do US, ou seja, sem os processos de coagulação, decantação e filtração, bombeou-se em fluxo contínuo água bruta na ETA compacta, que após ser recolhida sofreu a radiação.

Para a radiação foi utilizado o aparelho ultra-som (US) Sonic of Materials Vibracell, irradiação ultra-sônica com módulo contínuo, com amplitude de 80%, módulo contínuo e o guia de onda com diâmetro de 20mm. Ajustado o tempo para 2 minutos para volume de amostra igual a 2 vezes vazão da ETA. A irradiação com US foi feita nas amostras em copo de bequer sob agitação magnética.

As águas irradiadas foram analisadas nos parâmetros citados no item 4.2.3.

4.2.7 Retenção de microrganismos pela filtração/adsorção

A água bruta passando em fluxo contínuo na ETA compacta recebeu na entrada o coagulante cloreto férrico (FeCl_3 1%) e alcalinizante soda cáustica (NaOH 1%). Após o processo de coagulação / floculação a água entrou no decantador, sedimentando a lama no fundo e a água sobrenadante foi recolhida por canaletas indo despejar-se no

terceiro compartimento (filtro) composto de três camadas filtrantes, ou seja, carvão ativado, areia e pedregulho (Figura 4). A água de saída do filtro foi analisada para avaliação do processo.

Para avaliação da retenção de microrganismos somente pelo efeito da filtração/adsorção, ou seja, sem o processo de coagulação/floculação a água bruta foi bombeada na ETA-CB e filtrada.

As águas resultantes foram analisadas nos parâmetros citados no item 4.2.3

4.2.8 Definição dos processos empregados

As condições dos experimentos foram estabelecidas segundo a Tabela 5.

Tabela 5 . Diagrama das condições experimentais A,B,C,D,E,F,G,H, utilizando a ETA-CB para tratamento da água do Ribeirão Rio Claro

Condições experimentais	Condições						
	Água						
	Ribeirão Rio Claro	alcalinizada	coagulada	clorada	decantada	filtrada	Ultra-som US
A	+	+	+	-	+	+	-
B	+	+	+	-	+	+	+
C	+	+	+	+	+	+	-
D	+	+	+	-	+	-	+
E	+	+	+	+	+	-	-
F	+	-	-	-	+	+	-
G	+	-	-	-	+	-	+
H	+	-	-	+	+	-	-

Legenda : **(+)** condição aplicada

(-) condição não aplicada

4.2.9 Métodos analíticos aplicados

Todas as análises químicas, físico-químicas e bacteriológicas obedeceram as normas do Standart Methods for the Examination of Wastewater, Clesceri et al. (1998).

Como referência de potabilidade de água foi utilizada a Portaria nº 1469 – Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade, do Ministério da Saúde.

Para a contagem de coliformes totais e coliformes fecais *E.coli* utilizou-se a técnica cromogênica Colilert® e cartela de contagem de bactérias Quanti-Tray 2000 Idexx, selador Quanti-Tray Sealer. Os resultados foram estabelecidos de acordo com a tabela Idexx Quanti-Tray 2000 MPN.

Para determinação de bactérias heterotróficas utilizamos a técnica de formação de colônias (UFC/mL) de “pour plate”. Na amostra original foi adicionado tiosulfato de sódio e solução de EDTA, com pipeta estéril transferido 1 mL para placa de Petri, colocado na placa 12 mL de meio de cultura, incubado a $-35^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ durante 48 ± 3 horas, após incubação feito contagem no contator de colônias.

4.2.10 Preparo de soluções e meios de cultura

- Preparou-se o meio de cultura “Plate Count Agar” (PCA)®, segundo as instruções Difco (1984).
- Preparo da água de diluição :

Para preparar a água de diluição, transferiu-se 1,25 mL da solução A para um balão volumétrico de 1000 mL, adicionou-se 5 mL da solução B. A seguir completou-se o volume com água destilada e homogeneizou-se, distribuiu-se em porções de 100 mL e tamponou-se. A seguir autoclavou-se à 121°C , durante 15 minutos.

- Preparo da solução A :

Pesou-se 34,0g de fosfato monopotássico ($\text{K}_2\text{H}_2\text{PO}_4$) e transferiu-se para um frasco de Erlenmeyer contendo 500 mL de água destilada, agitando até dissolver todo o material, ajustou-se o pH para $7,2 \pm 0,1$ com solução de hidróxido de sódio 1M,

completou-se o volume para um litro com água destilada, esterilizou-se em autoclave a 121°C, durante 15 minutos. A seguir armazenou-se a 5 ± 2 °C.

- Preparo da solução B :

Pesou-se 81,1g de cloreto de magnésio ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e após dissolução com água destilada transferiu-se para um balão volumétrico de 500 mL até completar o volume, armazenou-se a 5 ± 2 °C .

- Preparo da solução de hidróxido de sódio 1M :

A solução de hidróxido de sódio 1M foi preparada conforme as técnicas normais de preparo de soluções em laboratório.

- Preparo da solução de EDTA 15% m/v:

Pesou-se 150g de EDTA (ácido etilenodiaminotetracético sal dissódico) e transferiu-se para um balão volumétrico de 1000 mL contendo 400 a 600 mL de água destilada, completou-se o volume do balão com água destilada e homogeneizou-se. O pH foi ajustado para 6,5 e armazenado em frasco vedado.

- Preparo da solução de cloreto férrico 1% m/v (coagulante):

5,00 g de cloreto férrico foram pesadas e após dissolução a solução foi transferida para um balão volumétrico de 500 mL contendo 250 a 300 mL de água destilada .A seguir agitou-se até total dissolução do material, completou-se o volume do balão com água destilada e homogeneizou-se.

- Preparo da solução de hipoclorito de sódio 1% v/v de cloro livre (desinfetante):

Transferiu-se 100 mL da solução de hipoclorito de sódio com 5% de cloro livre para um balão volumétrico de 500 mL, completou-se o volume com água destilada e homogeneizou-se.

- Preparo da solução de hidróxido de sódio 1,0% m/v (alcalinizante):

Pesou-se 5,00 g de hidróxido de sódio em lentilhas e após a dissolução foi transferida para um balão volumétrico de 500 mL contendo 250 a 300 mL de água destilada, homogeneizou-se e completou-se o volume do balão com água destilada .

5 . RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análises Químicas, Físico-químicas e Bacteriológicas

A seguir são apresentados os resultados obtidos nas análises químicas, físico-químicas e bacteriológicas da água bruta e dos diferentes processos de tratamento, no período de dezembro/2001 a maio/2002, nos dias 10/12/01, 07/01/02, 05/03/02, 19/03/02 e 07/05/02.

Neste período de estudo obteve-se diferentes qualidades da água bruta, sendo possível avaliar melhor os processos empregados.

Nas Tabelas de 6 a 15 estão inseridas os valores médios dos parâmetros de qualidade da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H, assim como a diminuição percentual dos seguintes parâmetros: cor aparente; turbidez; ferro; sólidos suspensos; coliformes totais; coliformes fecais (*Escherichia coli*) e bactérias heterotróficas.

5.2 Avaliação da Água Bruta da Represa da Floresta Estadual Navarro de Andrade - Rio Claro (SP)

A água bruta da represa da Floresta Estadual Navarro de Andrade, ponto de captação da água para abastecer a ETA n.º 1 de Rio Claro (SP), no período de dezembro/01 a maio/02 apresentou variação em seus parâmetros, provavelmente em função da ocorrência de chuvas fortes principalmente em dezembro/01 e janeiro/02. As variações ocorreram tanto nos parâmetros físicos e químicos como microbiológicos. Nos meses de dezembro/01 e janeiro/02 a água apresentou-se barrenta, com grande quantidade de sólidos e partículas em suspensão, enquanto que no período de março a maio/02 a água no mesmo ponto apresentava-se menos turva, com menos sólidos suspensos, possuindo a cor âmbar claro. De modo geral, os parâmetros na água bruta variaram nesse período de estudo da seguinte forma:

pH = 6,30 a 7,10

cor aparente = 137 a 1771 PtCo

turbidez = 23 a 453 NTU

sólidos totais dissolvidos = 28 a 31 mg/L

condutividade elétrica = 53,7 a 64,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$

salinidade = 0,0 ‰ (sem variação)

temperatura = 21,9 a 27,5 °C

ferro = 1,48 a 2,19 mg/L Fe

sólidos suspensos = 8 a 93 mg/L

cloro livre residual = 0,00 a 0,01 mg/L Cl_2

coliformes totais = 3197 a 22.900 NMP/100 mL

coliformes fecais (*E.coli*) = 270 a 3100 NMP/100 mL

bactérias heterotróficas = 1133 a 250.000 UFC/mL

5.3 Avaliação dos Processos A, B e C - 1ª coleta

Devido as chuvas que antecederam o dia da coleta, com o arraste pelas enxurradas de material proveniente do solo, a água apresentava-se barrenta com alta turbidez e cor intensa porém com baixa salinidade e condutividade, evidenciando baixo teor de material inorgânico solubilizado como registra a Tabela 6.

Tabela 6 . Quantificação de alguns parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água bruta do Ribeirão Rio Claro após tratamento mediante aplicação do processos A, B e C na ETA -CB

1ª Coleta – 10/12/2001				
PARÂMETROS	ÁGUA BRUTA	PROCESSO		
		A	B	C
pH	6,30	6,82	6,81	6,97
Cor aparente (PtCo)	1771	36	38	35
Turbidez NTU	453	6	6	7
STD mg/L	31	95	96	242
Condutividade elétrica μS/cm	64,8	201	202	507,0
Salinidade (‰)	0,0	0,1	0,1	0,2
Temperatura °C	24,8	26,4	27,5	25,8
Ferro mg/L	2,19	0,11	0,12	0,10
SS mg/L	93	2	2	2
Cloro livre residual mg/L	0,00	0,00	0,00	0,05
Coliformes totais NMP/100mL	22.900	< 1,0	< 1,0	< 1,0
C. fecais (<i>E.coli</i>) NMP/100mL	3.100	<1,0	<1,0	<1,0
Bactérias heterotróficas UFC/mL	48.000	220	18	25

Processo A = alcalinização, coagulação com FeCl₃, floculação, decantação, filtração/adsorção

Processo B = alcalinização, coagulação com FeCl₃, floculação, decantação, filtração/adsorção e US

Processo C = alcalinização, coagulação com FeCl₃, pré-cloração, floculação, decantação, filtração/adsorção

5.3.1 - Avaliação do Processo A – 1ª coleta

Ao se aplicar o processo A, foram reunidas as etapas de coagulação com cloreto férrico 1%, alcalinização com hidróxido de sódio 1%, floculação, decantação e filtração na ETA-CB. A qualidade da água resultante pode ser verificada através dos parâmetros registrados na Tabela 06. No processo empregado a coagulação e floculação formaram flocos finos e médios que foram retidos na decantação e filtração, com isto diminuiu-se a cor aparente, turbidez, sólidos suspensos e bactérias presentes na água bruta. A filtração/adsorção também contribuiu para a diminuição do ferro, turbidez, cor aparente, sólidos suspensos e bactérias. A turbidez, cor aparente, ferro e sólidos suspensos diminuíram respectivamente de 453 NTU para 6 NTU; 1771 PtCo para 36 PtCo; 2,19 mg/L Fe para 0,11 mg/L Fe e 93mg/L para 2 mg/L.

Em relação ao pH houve pequeno acréscimo em função do ajuste do fluxo contínuo da solução de hidróxido de sódio e solução de cloreto férrico. O aumento da condutividade elétrica, sólidos totais sólidos totais dissolvidos e salinidade foi em função da introdução de íons na água com a adição de cloreto férrico e hidróxido de sódio. Quanto ao aumento da temperatura foi decorrente do aumento da temperatura ambiente.

O processo A em relação à água bruta gerou diminuição percentual nos valores dos parâmetros de qualidade conforme indica a Tabela 7. A cor aparente, turbidez e sólidos suspensos diminuíram mais de 97%, enquanto que o ferro aproximadamente 95% e as bactérias tiveram uma diminuição superior a 99,5%, significando com isso que o processo A apresentou resultados satisfatórios para obtenção de água com qualidade.

Tabela 7 . Diminuição percentual de alguns parâmetros da qualidade da água bruta coletada em 10/12/01 – 1ª coleta, após tratamento com aplicação dos processos A, B e C na ETA-CB

Parâmetros	Diminuição percentual nos parâmetros		
	A	B	C
Cor aparente (PtCo)	97,97	97,85	98,02
Turbidez NTU	98,68	98,68	98,45
Ferro mg/L	94,98	94,52	95,43
SS mg/L	97,85	97,85	97,85
Coliformes Totais NMP/100mL	99,99	99,99	99,99
C. Fecais (<i>E.coli</i>) NMP/100mL	99,99	99,99	99,99
Bactérias heterotróficas UFC/mL	99,54	99,96	99,95

Processo A = alcalinização, coagulação com FeCl_3 , floculação, decantação, filtração/adsorção

Processo B = alcalinização, coagulação com FeCl_3 , floculação, decantação, filtração/adsorção e US

Processo C = alcalinização, coagulação com FeCl_3 , pré-cloração, floculação, decantação, filtração/adsorção

5.3.2 - Avaliação do Processo B – 1ª coleta

Aplicou-se no processo B os tratamentos coagulação com cloreto férrico, alcalinização, floculação, decantação, filtração/adsorção e US. Os parâmetros de qualidade da água tratada estão inseridos na Tabela 6. Houve formação de flocos finos e médios que arrastaram sólidos suspensos, partículas colóidais e bactérias sendo retidos no decantador e no filtro da ETA-CB.

O processo somatório de coagulação, filtração e US fez com que houvesse uma destruição significativa de bactérias, ou seja, a água bruta que possuía 22.900 NMP/100mL de coliformes totais e 48.000 UFC/mL de bactérias heterotróficas, após a filtração apresentou < 1,0 NMP/100mL de coliformes totais, 220 UFC/mL de bactérias heterotróficas ; e após a radiação US, a água resultante ficou com 18 UFC/mL de bactérias heterotróficas. Com relação ao pH da água final, houve um acréscimo em função do ajuste do fluxo contínuo de FeCl_3 e NaOH , ficando a água com pH médio de 6,81. O aumento dos sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e salinidade, foi em função da introdução de íons na água, com a adição do cloreto férrico e hidróxido de sódio. Quanto ao aumento da temperatura em relação a água bruta foi em função da temperatura ambiente e/ou ondas ultra-sônicas.

Nesse processo em que associou-se coagulação/filtração/adsorção juntamente com aplicação de ondas ultra-sônicas na água filtrada, houve diminuição percentual acentuada nos valores dos parâmetros de qualidade da água conforme mostra a Tabela 7. A aplicação do US após a filtração ficou caracterizada mais pela diminuição das bactérias heterotróficas, alterando muito pouco os parâmetros químicos e físico-químicos da água. A diminuição de bactérias foi superior a 99,9%.

5.3.3 - Avaliação do Processo C – 1ª coleta

Ao empregar o processo C na ETA-CB, ou seja, coagulação com cloreto férrico, pré cloração com solução de hipoclorito de sódio, floculação, decantação e filtração, a água tratada resultante apresentou os parâmetros da qualidade expressas na Tabela 6. Com a pré-cloração notou-se acentuada destruição das bactérias presentes na água. Com a coagulação/floculação houve formação de flocos finos/médios arrastando para o fundo do decantador da ETA sólidos, partículas coloidais e bactérias. Na filtração/adsorção também houve retenção de bactérias e de alguns flocos que passaram no decantador, além da adsorção de metais e compostos químicos. A diminuição dos valores relativos à alguns parâmetros que melhoraram a qualidade da água, podem ser verificados na Tabela 7.

Em relação ao pH constatou-se aumento em função do ajuste de fluxo contínuo da solução de hipoclorito de sódio e cloreto férrico, ficando a água com pH médio de 6,97.

O aumento dos sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, salinidade ocorreu devido à introdução de íons na água decorrente das soluções de NaClO e FeCl₃. A variação da temperatura pode ser explicada principalmente em função da variação da temperatura ambiente e/ou reações químicas. O cloro foi aplicado com o objetivo de eliminar microrganismos e oxidar a matéria orgânica, resultando 0,05 mg/L de cloro livre residual.

No processo C onde houve cloração nota-se destruição > 99,9% das bactérias presentes na água, o que resultou numa equivalência ao processo B.

5.4 Avaliação dos Processos A, B e C - 2ª coleta

A água bruta da represa da Floresta Estadual Navarro de Andrade apresentava-se com relativa quantidade de sólidos suspensos, cor âmbar, turbidez alta, e índices de quantidade de bactérias para água de manancial superficial, conforme valores apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 . Quantificação de alguns parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água bruta do Ribeirão Claro após tratamento mediante aplicação dos processos A, B, C aplicados na ETA-CB

2ª Coleta – 07/01/2002				
PARÂMETROS	ÁGUA BRUTA	PROCESSO		
		A	B	C
pH	6,89	6,64	6,53	9,30
Cor aparente (PtCo)	495	38	34	19
Turbidez NTU	87	5	6	4
STD mg/L	28	54	54	863
Condutividade elétrica				
μS /cm	59,7	113,5	113,1	1753
Salinidade ‰	0,0	0,1	0,1	0,9
Temperatura °C	24,7	24,7	26,9	24,9
Ferro mg/L	1,95	0,12	0,08	0,07
SS mg/L	40	2	2	1
Cloro livre residual				
mg/L	0,00	0,01	0,00	3,47
Coliformes totais				
NMP/100mL	21.113	6,4	5,9	<1
C. fecais (<i>E.coli</i>)				
NMP/100mL	557	< 1	< 1	< 1
Bactérias heterotróficas				
UFC/mL	4.833	600	250	0
Processo A = alcalinização, coagulação com FeCl ₃ , floculação, decantação, filtração/adsorção				
Processo B = alcalinização, coagulação com FeCl ₃ , floculação, decantação, filtração/adsorção e US				
Processo C = alcalinização, coagulação com FeCl ₃ , pré-cloração, floculação, decantação, filtração/adsorção				

5.4.1 - Avaliação do Processo A – 2ª coleta

Após a aplicação do processo A, obteve-se na água resultante os seguintes resultados apresentados na Tabela 8. Nesse ensaio da 2ª coleta também houve aplicação do coagulante solução de FeCl₃, alcalinizante solução de NaOH, formando flocos finos e médios que sedimentaram no decantador arrastando partículas em suspensão, partículas

coloidais, microrganismos, produtos químicos, ferro, manganês e outros. Com a filtração/adsorção acentuou-se a diminuição do ferro, turbidez, cor aparente, partículas em suspensão e microrganismos. Em relação ao pH houve pequena diminuição, em função do fluxo contínuo da solução de NaOH e da solução de FeCl₃, ressalta-se que a solução de FeCl₃ tem caráter ácido e a solução de NaOH alcalina. O aumento da condutividade elétrica, da salinidade, sólidos totais dissolvidos foi em função da introdução de íons das soluções de FeCl₃ e NaOH. Em relação a temperatura não houve alteração significativa. A Tabela 9 insere os dados indicando a qualidade da água em termos de diminuição percentual após o tratamento. Nesse ensaio a diminuição de bactérias também foi significativa, ou seja, para coliformes totais > 99,9%, *E.coli* > 99,9% e bactérias heterotróficas aproximadamente 88%.

Tabela 9 . Diminuição percentual de alguns parâmetros da qualidade da água bruta coletada 07/01/02 - 2ª coleta, após aplicação dos processos A, B, C na ETA-CB

Parâmetros	Diminuição percentual dos parâmetros		
	A	B	C
Cor aparente (PtCo)	92,32	93,13	96,16
Turbidez NTU	94,25	93,10	95,40
Ferro mg/L	93,85	95,90	96,41
SS mg/L	95,00	95,00	97,50
Coliformes totais NMP/100mL	99,97	99,97	99,99
C. fecais (<i>E.coli</i>) NMP/100mL	99,99	99,99	99,99
Bactérias heterotróficas UFC/mL	87,58	94,83	100

Processo A = alcalinização, coagulação com FeCl₃, floculação, decantação, filtração/adsorção

Processo B = alcalinização, coagulação com FeCl₃, floculação, decantação, filtração/adsorção e US

Processo C = alcalinização, coagulação com FeCl_3 , pré-cloração, floculação, decantação, filtração/adsorção

5.4.2 - Avaliação do Processo B – 2ª coleta

Ao se empregar o processo B cujas etapas foram alcalinização, coagulação com cloreto férrico, floculação hidráulica, decantação, filtração/adsorção e ultra-som, a água resultante apresentou os parâmetros de qualidade de acordo com a Tabela 8. O processo ultra-sônico mostrou-se um complemento do processo A. Nota-se que inicialmente a água possuía bactéria heterotróficas na ordem de 4.833 UFC/mL, com a coagulação e filtração chegou a 600 UFC/mL e somando o US obteve-se água com 250 UFC/mL. Com relação ao pH da água final houve um pequeno decréscimo em função do fluxo de FeCl_3 e da solução de NaOH ajustados em função do pH de coagulação e formação visual de flocos na ETA-CB, ficando a água com o pH médio de 6,53. O aumento dos sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, salinidade, foi em função da introdução de íons na água, com a adição do cloreto férrico e hidróxido de sódio. O aumento da temperatura pode ter sido principalmente em função do aumento da temperatura ambiente e/ou devido as ondas ultra-sônicas.

O percentual de diminuição de alguns parâmetros da qualidade da água bruta, após o processo B estão relacionados na Tabela 9. Em relação a microbiologia ficou evidenciado 87,6% de diminuição das bactérias heterotróficas após a aplicação do processo A e de 94,83% de eficiência após o processo complementar de irradiação do ultra-som.

5.4.3 - Avaliação do Processo C – 2ª coleta

No processo C 2ª coleta, também foi empregado a coagulação com FeCl_3 , pré-cloração com solução de hipoclorito de sódio, floculação em chicanas e meio granular, decantação e filtração/adsorção. A água resultante apresentou os parâmetros de qualidade

registrados na Tabela 8. Durante o experimento de pré-cloração utilizou-se uma maior quantidade da solução de hipoclorito de sódio em fluxo contínuo, justamente para verificação do efeito nos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água bruta, assim como para verificar o pH de coagulação e formação de agregados no floculador e decantador .

Com a maior quantidade da solução de hipoclorito de sódio, que tem caráter básico, houve aumento no pH de coagulação e consequentemente na água final, chegando ao valor médio de 9,30. Neste pH de coagulação houve formação de flocos grandes melhorando a sedimentação e filtração/adsorção, o que levou decaimento da turbidez, cor aparente, sólidos suspensos, ferro e bactérias.

A água bruta possuía 4.833 UFC/mL de bactérias heterotróficas e 21.113 NMP/100mL de coliformes totais. Com o aumento do cloro, houve acentuada eliminação das bactérias, bem como aumento na quantidade de cloro livre residual o qual atingiu a média de 3,47 mg/L Cl_2 .

Quanto ao aumento significativo dos sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, salinidade justificou-se pela introdução de íons na água quando da adição da solução de FeCl_3 e principalmente pela adição de NaClO em maior quantidade.

A temperatura neste ensaio praticamente manteve-se constante.

A diminuição percentual nos parâmetros da qualidade da água bruta após aplicação do processo C está inserida na Tabela 9. Nota-se diminuição percentual de praticamente 100% nas bactérias. Em relação ao mesmo processo da 1ª coleta a eficiência foi maior em função da maior quantidade de cloro aplicada.

5.5 Avaliação dos Processos A, D e E - 3ª coleta

Na Tabela 10 são apresentados os resultados para os parâmetros da qualidade da água bruta coletada em 05/03/2002. Nessa coleta a água apresentava-se com a cor amarelada, pouco barrenta, com índices de sólidos suspensos, turbidez, ferro e bactérias considerados normais para água de manancial superficial.

Tabela 10 . Quantificação de alguns parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água bruta do Ribeirão Claro após tratamento mediante aplicação dos processos A, D e E viabilizados na ETA-CB

3ª Coleta – 05/03/2002				
PARÂMETROS	ÁGUA BRUTA	PROCESSO		
		A	D	E
pH	7,10	9,30	9,50	9,19
Cor aparente (PtCo)	243	15	104	105
Turbidez NTU	42	2	20	17
STD mg/L	30	205	423	586
Condutividade elétrica				
μS/cm	62,9	430	881	1209
Salinidade ‰	0,0	0,2	0,4	0,6
Temperatura °C	24,4	26,5	28,1	26,4
Ferro mg/L	1,82	0,06	3,03	4,32
SS mg/L	23	1	6	6
Cloro livre residual				
mg/L	0,01	0,00	0,00	3,37
Coliformes totais				
NMP/100mL	6.990	< 1	3,1	< 1
C. fecais (<i>E.coli</i>)				
NMP/100mL	270	< 1	< 1	< 1
Bactérias heterotróficas				
UFC/mL	2867	6	5	5

Processo A = alcalinização, coagulação com FeCl₃, floculação, decantação, filtração/adsorção

Processo D = alcalinização, coagulação com FeCl₃, floculação, decantação e US

Processo E = alcalinização, coagulação com FeCl₃, pré-cloração, floculação e decantação

5.5.1 - Avaliação do Processo A – 3ª coleta

Ao empregar o processo A, ou seja, coagulação, alcalinização, floculação, decantação e filtração/adsorção, a água resultante apresentou os parâmetros de qualidade conforme indicado na Tabela 10. Neste ensaio houve aplicação de coagulante solução de FeCl₃ e alcalinizante solução de NaOH, sendo este último adicionado em maior quantidade objetivando elevar o pH de coagulação e induzir a formação de flocos maiores com melhor

sedimentação, filtração /adsorção. Isto resultou numa eficiente atenuação da turbidez, cor aparente, ferro e bactérias.

Com o pH de coagulação na faixa de 9,0 a 9,5 houve formação de flocos grandes e densos o que levou a água resultante a atingir índices de turbidez de 2 NTU, cor aparente de 15 PtCo, 6 UFC/mL de bactérias heterotróficas e < 1 NMP/100mL de coliformes totais e coliformes fecais *E.coli*.

O aumento dos sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e salinidade da água final, é justificado pela introdução de íons com as adições das soluções de cloreto férrico e de hidróxido de sódio.

O aumento da temperatura foi decorrente da elevação da temperatura ambiente.

O processo A apresentou significativa melhora na qualidade da água pela diminuição percentual nos parâmetros, conforme mostra a Tabela 11. Tanto para os coliformes totais, coliformes fecais *E.coli*, como bactérias heterotróficas, o processo A com pH de coagulação de 9,30 conseguiu eliminar > 99% das bactérias presentes na água bruta.

Tabela 11 . Diminuição percentual de alguns parâmetros da qualidade da água bruta coletada 05/03/02 - 3ª coleta após aplicação dos processos A, D e E na ETA-CB

Parâmetros	Diminuição percentual dos parâmetros		
	A	D	E
Cor aparente (PtCo)	93,83	57,20	56,79
Turbidez NTU	95,24	52,38	59,52
Ferro mg/L	96,70	-66,48	-137,36
SS mg/L	97,62	73,91	73,91
Coliformes totais NMP/100mL	99,99	99,96	99,99
C. fecais (<i>E.coli</i>) NMP/100mL	99,99	99,99	99,99
Bactérias heterotróficas UFC/mL	99,79	99,83	99,83

Processo A = alcalinização, coagulação com FeCl_3 , floculação, decantação, filtração/adsorção

Processo D = alcalinização, coagulação com FeCl_3 , floculação, decantação, e US

Processo E = alcalinização, coagulação com FeCl_3 , pré-cloração, floculação e decantação

5.5.2 - Avaliação do Processo D – 3ª coleta

O processo D consistiu na coagulação na água bruta com cloreto férrico 1%, alcalinização com solução de hidróxido de sódio 1%, floculação, decantação e aplicação de ondas ultra-sônicas na água clarificada proveniente do decantador. Nesse ensaio os parâmetros de qualidade da água resultante estão registrados na Tabela 10.

A água coagulada/floculada e decantada na ETA-CB, e posteriormente sob a ação de ondas ultra-sônicas não teve o processo de filtração/adsorção. Por esse motivo a água resultante apresentou uma turbidez de 20 NTU e cor aparente de 104 PtCo. A diminuição percentual nesses parâmetros foi, respectivamente, 52,4% e 57,2%.

No processo D houve passagem parcial de flocos do decantador para o filtro que não possuía o meio filtrante, e estes sob a ação das ondas ultra-sônicas provavelmente desintegraram-se, justificando também os valores encontrados da turbidez e cor aparente na água final.

O decaimento de 73,91 % dos sólidos suspensos é justificado pelo processo de coagulação/floculação e sedimentação na ETA, não chegando a índice maior devido a falta do meio filtrante. Quanto as bactérias (coliformes totais, coliformes fecais *E. coli* e bactérias heterotróficas) foram removidas em mais de 99,8%, conforme mostra a tabela 11. Justifica-se esta remoção pelo processo de formação de flocos que aglomeraram partículas em suspensão, partículas colóidais e microrganismos. Parte desses flocos sedimentaram no fundo do decantador e o restante contendo bactérias foram destruídas pela radiação das ondas ultra-sônicas.

O aumento do teor de ferro, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, salinidade é justificado pela introdução de íons na água com a adição do coagulante solução de FeCl_3 e do alcalinizante solução de NaOH . No processo D não ocorreu a etapa da filtração/adsorção com carvão ativado/areia que auxilia na remoção também do ferro. O

aumento da temperatura pode ser justificado pelo aumento da temperatura ambiente, e/ou ação das ondas ultra-sônicas. O aumento do pH ocorreu em função da adição em maior quantidade do alcalizante. Para pH de coagulação entre 9,0 a 9,5 houve formação de flocos grandes que facilmente sedimentaram.

5.5.3 - Avaliação do Processo E – 3ª coleta

O processo E consistiu na coagulação da água bruta com solução de cloreto férrico, pré-cloração com solução de hipoclorito de sódio, floculação e decantação. Nesse processo também não se utilizou da filtração/adsorção. Os resultados dos parâmetros de qualidade da água resultante estão descritos na Tabela 10.

A água coagulada, pré desinfetada com solução de NaClO 1%, floculada e decantada, não teve o processo de filtração/adsorção e portanto a diminuição da cor aparente e turbidez foi parcial, respectivamente, 56,79% e 59,52 %. O valor final da turbidez foi 17 NTU e da cor aparente 105 PtCo.

A diminuição de sólidos suspensos foi de 73,91%, havendo passagem parcial de flocos para o filtro que não possuía o meio filtrante (carvão ativado, areia fina/média/ areia grossa e pedregulho).

Quanto as bactérias (coliformes totais, coliformes fecais *E. coli* e bactérias heterotróficas) a diminuição atingiu o valor de > 99,8% justificado pela adição do hipoclorito de sódio, apresentando no final 3,37% mg/L Cl₂. O objetivo da aplicação do cloro foi eliminar as bactérias e outros microrganismos bem como oxidar matéria orgânica.

Em relação a eficiência de eliminação de bactérias conforme mostra a tabela 11, nota-se semelhança entre os processos D (ultra-som) e E(cloração) quando a água bruta é coagulada e floculada.

O aumento do pH de 7,10 para 9,19 foi devido a introdução em maior quantidade da solução de hipoclorito de sódio, a qual apresenta caráter básico. Na faixa de pH entre 9,0 a 9,5 houve melhora na performance do processo de coagulação/floculação, formando flocos de melhor sedimentação.

O aumento dos sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica, salinidade e ferro no decantador, foi devido a introdução de íons na água, pelas aplicações das soluções de NaClO e de FeCl₃.

O aumento da temperatura pode ser justificado pelo aumento da temperatura ambiente.

5.6 Avaliação dos Processos F , G e H - 4ª Coleta

A água bruta da represa da Floresta Estadual Navarro de Andrade - Estação de captação de água do DAAE, apresentava-se com coloração amarelo âmbar, com sólidos suspensos, turbidez, ferro dentro da normalidade de água do manancial superficial. As bactérias apresentaram índice acima do normal, provavelmente em função de algum desequilíbrio ocasionado por descarga de efluente no Ribeirão Claro e/ou chuvas fortes que arrastaram resíduos do solo atingindo a represa da Floresta Estadual Navarro de Andrade. Os dados de qualidade da água bruta e da água tratada nos processos F, G e H na ETA-CB estão registrados na Tabela 12.

Tabela12 . Quantificação de alguns parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água bruta do Ribeirão Claro após tratamento mediante processos F, G e H aplicados na ETA-CB

4ª Coleta – 19/03/2002				
PARÂMETROS	ÁGUA BRUTA	PROCESSO		
		F	G	H
pH	6,99	7,76	7,24	8,64
Cor aparente (PtCo)	247	172	221	234
Turbidez NTU	45	29	38	38
STD mg/L	28	35	33	136
Condutividade elétrica				
μS/cm	60,2	73,5	69,6	287
Salinidade ‰	0,0	0,0	0,0	0,1
Temperatura °C	27,5	27,6	27,9	27,7
Ferro mg/L	1,91	1,53	1,85	1,83
SS mg/L	33	4	28	29
Cloro livre residual				
mg/L	0,01	0,00	0,01	0,09
Coliformes totais				
NMP/100mL	13.227	> 2419,2	> 2419,2	< 1
C. fecais (<i>E. coli</i>)				
NMP/100mL	1340	419,7	689,0	< 1
Bactérias heterotróficas				
UFC/mL	250.000	933	917	28

Processo F = decantação e filtração

Processo G = decantação e US

Processo H = pré-cloração e decantação.

5.6.1 - Avaliação do Processo F – 4ª coleta

O processo F consistiu em fluir água bruta na ETA-CB sem adição do alcalinizante e coagulante, ou seja, a água bruta sofreu ação somente do filtro contendo carvão ativado, areia em camadas com diferentes granulometrias e pedregulho.

Nesse processo como não houve a coagulação/floculação com a formação de flocos que arrastam partículas coloidais, partículas em suspensão e microrganismos, esperava-se uma eficiência menor quanto a diminuição da turbidez, cor aparente, ferro e microrganismos. Quanto a diminuição significativa das bactérias heterotróficas pode estar

associada principalmente em função da retirada dos sólidos em suspensão pelo filtro. Os sólidos suspensos decaíram de 33 mg/L para 4 mg/L.

O pequeno aumento do pH, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica pode ser explicado em função da passagem da água pela camada de carvão ativado do filtro da ETA-CB.

Os parâmetros temperatura, salinidade e cloro livre residual se mantiveram praticamente constantes, ou seja, a temperatura ficou na ordem de 27,5°C e o cloro livre residual com 0,00 mg/L Cl₂ e a salinidade com 0,0 ‰.

O processo F em relação a água bruta apresentou diminuição percentual nos parâmetros de qualidade conforme estão registrados na Tabela 13. Com a diminuição de aproximadamente 88% de sólidos suspensos houve decaimento de 35,6% na turbidez, 30,4% na cor aparente, e aproximadamente 20% de ferro. A diminuição de 99,6% de bactérias heterotróficas que nessa água bruta estava com 250.000 UFC/mL, pode ser entendida pelo fato dessas bactérias estarem agrupadas nos sólidos em suspensão, os quais foram retirados pelo meio filtrante.

Tabela 13 . Diminuição percentual de alguns parâmetros da qualidade da água bruta coletada em 19/03/02 – 4ª coleta, após aplicação dos processos F, G e H na ETA-CB

Parâmetros	Diminuição percentual dos parâmetros		
	F	G	H
Cor aparente (PtCo)	30,36	10,53	5,26
Turbidez NTU	35,56	15,56	15,56
Ferro mg/L	19,90	3,14	4,19
SS mg/L	87,88	15,15	12,12
Coliformes totais NMP/100mL	< 81,71	< 81,71	99,99
C. fecais (<i>E. coli</i>) NMP/100mL	68,68	48,58	99,99
Bactérias heterotróficas UFC/mL	99,63	99,63	99,99

Processo F = decantação e filtração

Processo G = decantação e US

Processo H = pré-cloração e decantação

5.6.2 - Avaliação do Processo G – 4ª coleta

O processo G consistiu em trabalhar a água bruta na ETA-CB sem adição de alcalinizante e coagulante e sem filtração, ou seja, a água bruta de saída sofreu apenas ações das ondas ultra-sônicas. Os parâmetros de qualidade da água resultante estão registrados na Tabela 12.

Nesse processo como não houve coagulação/floculação com formação de flocos que arrastam partículas coloidais, partículas em suspensão, ferro, microrganismos, e ainda não houve filtração, teve-se como consequência diminuições não eficientes quanto a turbidez, ferro e sólidos suspensos. A água bruta com turbidez de 247 NTU, teor de ferro de 1,91mg/L e sólidos suspensos de 33 mg/L após aplicação do processo G apresentou com 221 NTU de turbidez, 1,85 mg Fe/L e 28 mg/L de sólidos suspensos. A diminuição de bactérias foi de 250.000 UFC/mL para 917 UFC/mL.

O pequeno aumento do pH, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica, pode estar relacionado com a destruição de sólidos suspensos pela ação das ondas ultra-sônicas, ou seja, o US pode ter realizado uma espécie de dissolução do material em água.

Os parâmetros temperatura, salinidade, cloro livre residual, se mantiveram praticamente constante, ou seja, a temperatura manteve-se na faixa de 27,5 °C a 27,9°C, o cloro livre residual com 0,01 mg/L Cl₂, e a salinidade com 0,0 ‰.

A diminuição percentual nos parâmetros da qualidade da água bruta após aplicação do processo G está inserida na Tabela 13.

Somente com a aplicação de ondas ultra-sônicas na água, a cor aparente e turbidez diminuíram, respectivamente, 10,5% e 15,6%. Para as bactérias a diminuição foi de 99,6% apesar da água resultante ainda ter 917 UFC/mL.

O fenômeno da ação do US na destruição das bactérias provavelmente está relacionado com a irradiação nos sólidos suspensos que contém bactérias.

5.6.3 - Avaliação do Processo H – 4ª coleta

O processo H consistiu em fluir água bruta na ETA-CB com adição em fluxo contínuo da solução de hipoclorito de sódio 1% sem introduzir alcalinizante e coagulante. Nesse processo, o filtro ficou sem o meio filtrante e dessa forma pode-se avaliar a ação na água somente do hipoclorito de sódio (cloração). Os resultados da qualidade da água resultante estão registrados na Tabela 12.

O aumento do pH, sólidos totais dissolvidos, condutividade elétrica e salinidade foi em função da própria adição da solução de hipoclorito de sódio. Esta solução tem caráter básico aumentando dessa forma o pH da água resultante que ficou com valor médio de 8,64. A solução de NaClO aumentou a quantidade de íons na água, o que justifica o aumento dos demais parâmetros citados.

Quanto ao cloro livre residual o aumento de 0,01 para 0,09 mg/L Cl_2 foi em função de aplicarmos a solução de NaClO de forma a não se ter o residual de cloro em nível elevado, e avaliarmos a cloração também para níveis baixos de mg/L Cl_2 .

A água bruta possuía 13.227 NMP/mL de coliformes totais e 250.000 UFC/mL de bactérias heterotróficas. Com a cloração a água resultante apresentou os valores de < 1 NMP/100mL e 28 UFC/mL, confirmando a eficiência de desinfecção do cloro.

Em relação a temperatura, a mesma praticamente manteve-se constante se compararmos com a água bruta.

O processo H em relação à água bruta apresentou diminuição percentual nos parâmetros da qualidade que estão registrados na Tabela 13. Nota-se com a cloração a diminuição nas bactérias de 99,9%, no entanto, nos parâmetros físico-químicos cor aparente, turbidez e sólidos suspensos a diminuição foi baixa, respectivamente, 5,3%; 15,6% e 12,1%.

5.7 Avaliação dos Processos F , G e H - 5ª Coleta

Comparativamente com as coletas anteriores a água bruta caracterizou-se pela cor amarelada, com pouca presença de sólidos em suspensão e bactérias, além de baixa turbidez. A qualidade da água bruta na 5ª coleta está registrada na Tabela 14.

Tabela 14 . Quantificação de alguns parâmetros físicos, químicos e bacteriológicos da água bruta do Rio Ribeirão Claro e após tratamento mediante aplicação dos processos F,G e H na ETA-CB

5ª Coleta – 07/05/2002				
PARÂMETROS	ÁGUA BRUTA	PROCESSO		
		F	G	H
pH	7,03	7,79	7,11	8,36
Cor aparente (PtCo)	137	102	122	111
Turbidez NTU	23	19	22	21
STD mg/L	25	48	28	130
Condutividade elétrica				
μS/cm	53,7	100,6	59,5	274
Salinidade ‰	0,0	0,0	0,0	0,1
Temperatura °C	21,9	23,2	23,5	22,9
Ferro mg/L	1,48	1,25	1,36	1,40
SS mg/L	8	3	7	7
Cloro livre residual				
mg/L	0,00	0,00	0,00	0,07
Coliformes totais				
NMP/100mL	3197	48	2580	< 1
C. fecais (<i>E. coli</i>)				
NMP/100mL	300	<1	233	< 1
Bactérias heterotróficas				
UFC/mL	1133	27	333	1

Processo F = decantação e filtração

Processo G = decantação e US

Processo H = pré-cloração e decantação

5.7.1 - Avaliação do Processo F – 5ª coleta

No processo F – 5ª coleta a água bruta após decantação ficou sob a ação somente do meio filtrante do filtro da ETA-CB, ou seja, não houve alcalinização, coagulação e floculação. Os resultados da qualidade da água resultante estão registrados na Tabela 14.

O aumento do pH, sólidos totais dissolvidos e condutividade elétrica pode ser justificado em função da passagem da água pela camada de carvão ativado do filtro, que alterou o pH, STD e condutividade, respectivamente, de 7,03; 25 mg/L e 53,7 μS/cm para 7,79; 48 mg/L e 100,6 μS/cm.

O aumento da temperatura basicamente foi em função da elevação da temperatura ambiente. Em relação aos parâmetros salinidade e cloro livre residual não houve alteração no processo F, ficando com valores de 0,0 ‰ e 0,00 mg/L Cl_2 , respectivamente.

A água bruta da 5ª coleta apresentou baixo teor de sólidos suspensos (8 mg/L), o qual após a filtração decaiu para 3 mg/L. As bactérias heterotróficas e coliformes totais, iniciaram-se, respectivamente, com valores de 1133 UFC/mL e 3197 NMP/100 mL; após a filtração os números finais foram 27 UFC/mL e < 1 NMP/100 mL. Essa diminuição de bactérias foi em função da retirada dos sólidos suspensos da água bruta.

Para o processo F - 5ª coleta, a diminuição percentual em alguns parâmetros da qualidade da água estão inseridos na Tabela 15. Nota-se diminuição percentual na carga bacteriana > 97%, isto em função da retenção dos sólidos suspensos pelo meio filtrante. Como não houve coagulação/floculação a diminuição percentual da cor aparente, turbidez e ferro não foi acentuada, ficando os valores, respectivamente, de 10,9%; 4,4% e 8,1%.

Tabela 15 . Diminuição percentual de alguns parâmetros da qualidade da água bruta coletada em 07/05/02 - 5ª coleta, após aplicação dos processos F, G e H na ETA-CB

Parâmetros	Diminuição percentual dos parâmetros		
	F	G	H
Cor aparente (PtCo)	25,55	10,95	18,98
Turbidez NTU	17,38	4,35	8,70
Ferro mg/L	15,54	8,11	5,41
SS mg/L	62,50	12,50	12,50
Coliformes totais NMP/100mL	98,50	19,30	99,99
C. fecais (<i>E. coli</i>) NMP/100mL	99,99	22,33	99,99
Bactérias heterotróficas UFC/mL	97,62	70,61	99,91

Processo F = decantação e filtração

Processo G = decantação e US

Processo H = pré-cloração e decantação

5.7.2 - Avaliação do Processo G – 5ª coleta

No processo G a água de saída do filtro sem meio filtrante sofreu ações somente do ultra-som. Nesse processo a água bruta não teve adição de produtos químicos na caixa de entrada da ETA-CB.

Ao empregar o ultra-som nessa água foi possível avaliar o efeito das ondas ultra-sônicas, em água de cor amarelada com baixo teor de sólidos suspensos, turbidez e bactérias.

Nesse processo a salinidade e cloro livre residual mantiveram-se constantes, sem alteração em relação a água bruta, ou seja, ficaram com os valores de 0,0% ‰ e 0,00 mg/L Cl_2 . Os sólidos totais dissolvidos, pH e condutividade elétrica tiveram um pequeno aumento talvez em função da ação do ultra-som na dissolução das partículas e sólidos suspensos, resultando em pH 7,11; STD 28 mg/L e condutividade 59,5 μS . O aumento da temperatura de 21,9°C para 23,5°C pode ser em função da elevação da temperatura ambiente e/ou ondas ultra-sônicas. A qualidade da água resultante pode ser verificada através dos parâmetros registrados na Tabela 14.

A aplicação de apenas US no processo G - 5ª coleta, apresentou diminuição percentual nos parâmetros cor aparente, turbidez, ferro, sólidos suspensos, conforme registrado na Tabela 15. A diminuição da cor aparente de 137 para 122 PtCo, ferro de 1,48 para 1,36 mg/L, turbidez de 23 para 22 NTU e sólidos suspensos de 8 para 7 mg/L pode ser explicado em função da própria ação do US e/ou da decantação natural sem aplicação do coagulante..

A diminuição de bactérias nesse processo foi de 1133 UFC/mL para 333 UFC/mL, ou seja, 70,61%. Em relação a 4ª coleta nota-se uma eficiência menor do US na 5ª coleta, devido ao menor teor de sólidos suspensos na água bruta.

5.7.3 - Avaliação do Processo H – 5ª coleta

A água bruta fluiu pela ETA-CB recebendo somente em fluxo contínuo a solução de hipoclorito. O filtro também ficou sem o meio filtrante (carvão ativado, areia, pedregulho).

Ao empregar o processo H para esse tipo de água bruta, a qualidade da água resultante ficou conforme registrado na Tabela 14.

O aumento do pH de 7,03 para 8,36, dos sólidos totais dissolvidos de 25 para 130 mg/ e da condutividade elétrica de 53,7 para 274 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ocorreu em função da adição da solução de NaClO, a qual com sua característica de basicidade introduziu íons na água. O residual de cloro livre manteve-se a média de 0,07 mg/l Cl_2 , o que foi suficiente na desinfecção da água bruta empregada.

Em relação a temperatura houve elevação de 1°C, que pode ser justificado em função do aumento da temperatura ambiente e/ou reações químicas na água com a adição do NaClO.

Para o processo H – 5ª coleta houve diminuição percentual de alguns parâmetros qualidade que estão registrados na Tabela 15. A diminuição percentual da cor aparente de 19%, turbidez de 8,7%, ferro de 5,4% e sólidos suspensos de 12,50% foi em função da decantação natural. A diminuição de bactéria de 1133 UFC/mL para 1 UFC/mL, 99,9% mostrou a eficácia de desinfecção do cloro.

5.8 Comparação dos processos empregados na ETA-CB para eliminação de microrganismos

Para a comparação das diferentes técnicas de destruição ou eliminação de bactérias empregadas nesse estudo, utilizamos os processos A, D e E da 3ª coleta, pelo fato de ser empregado a coagulação/floculação que são necessárias para obtenção de água com qualidade.

A água bruta possuía 6990 NMP/100 mL de coliformes totais e 2867 UFC/mL de bactérias heterotróficas. No processo A, em que houve a filtração, a água resultante apresentou < 1 NMP/100mL (coliformes totais) e 6 UFC/mL (bactérias heterotróficas)

correspondendo a diminuição percentual de $> 99,8\%$. Já no processo D, onde foram irradiadas ondas de ultra-som, os coliformes totais diminuíram para 3,1 NMP/100mL e as bactérias heterotróficas para 5 UFC/mL, ou seja, diminuição de $> 99,8\%$. No processo E, com pré-cloração os resultados finais foram de coliformes totais < 1 NMP/100mL e bactérias heterotróficas 5 UFC/mL, com $>99,8\%$ de diminuição.

Isto faz com que possamos optar por qualquer uma das técnicas, em relação a diminuição ou eliminação da carga bacteriana, desde que a água bruta seja coagulada e floculada. Logicamente se aplicarmos os processos B ou C, estaremos garantindo ainda mais a desinfecção, além de obter água com melhor qualidade em relação aos parâmetros químicos e físico-químicos.

5.9 Avaliação dos processos empregados na ETA-CB em relação à Portaria MS n.º 1469/00.

A Portaria MS n.º 1469 de 29 de dezembro de 2000 do Ministério da Saúde, Capítulo IV- Do padrão de potabilidade, cita que após a desinfecção com cloro o teor mínimo de cloro livre residual deve ser 0,5mg Cl_2/L , sendo obrigatório a manutenção de no mínimo 0,2mg Cl_2/L em qualquer ponto da rede de distribuição. O valor máximo permitido é de 2,0mg Cl_2/L em qualquer ponto da rede de distribuição. A Portaria também cita entre outros parâmetros que o valor máximo permitido (VMP) para:

Fe = 0,3 mg/L;
 turbidez = 5 NTU;
 cor aparente = 15 mg PtCo/L;
 sólidos totais dissolvidos = 1000 mg/L;
 pH= 6,0 a 9,5.

Para o padrão microbiológico de potabilidade da água para consumo humano, tem-se:

- *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes (água para consumo humano).....ausência em 100 mL
- Coliformes totais (água na saída do tratamento) ausência em 100 mL
- Bactérias heterotróficas (sistema de distribuição)< 500 UFC/mL

A água resultante em todos os processos empregados (A, B, C, D, E, F, G e H) ficou com pH dentro da faixa de aceitação da Portaria MS n.º 1469.

Em relação ao ferro e turbidez somente nos processos A, B, C em que se empregou a coagulação, decantação e filtração/adsorção em conjunto ou não com US ou cloração, estes parâmetros ficaram abaixo do valor máxima permitido (VMP).

A cor aparente atingiu o valor aceitável no processo A da terceira coleta onde o pH de coagulação esteve entre 9,0 e 9,5 formando flocos grandes com ótima sedimentação e filtração/adsorção. Na primeira e segunda coletas a cor aparente da água bruta apresentou-se com valor elevado e mesmo com a diminuição entre 92 a 98%, os processos A, B e C não conseguiram atingir o VMP de 15 mg PtCo/L.

Em relação ao cloro livre residual com exceção dos processos C segunda coleta e E terceira coleta, os demais estiveram com o valor abaixo do requerido pela Portaria, que nesse caso visa segurança para a rede de distribuição.

Quanto aos sólidos totais dissolvidos (STD) em todos os processos empregados na ETA-CB os valores estiveram abaixo do VMP.

Em referência aos resultados microbiológicos, os processos C, E e H em que se utilizou cloração com solução de hipoclorito de sódio, todos os parâmetros ficaram dentro dos valores aceitáveis pela Portaria. Nos processos A, B e D em que houve coagulação, decantação, filtração/adsorção e/ou US, também foram atingidos os valores de potabilidade. Para os processos F e G dependendo da qualidade da água bruta não se conseguiu atingir os valores aceitáveis microbiológicos descritos na Portaria MS n.º 1469/00.

6. CONCLUSÕES

O processo de coagulação – floculação, decantação e filtração mostrou-se fundamental para obtenção de água com qualidade e isto pode ser verificado com a diminuição da turbidez, cor aparente, ferro, sólidos suspensos e bactérias, parâmetros estes controlados pela Portaria MS n.º 1469 do Ministério da Saúde.

O processo de desinfecção com ultra-som pode ser empregado junto com coagulação, floculação, decantação e filtração, propiciando a eliminação de bactérias presentes na água bruta.

O processo de cloração com solução de hipoclorito de sódio mostrou-se eficiente na inativação de bactérias independente de se empregar coagulação/floculação.

O processo combinado de coagulação, floculação, decantação e filtração junto com ultra-som pode ser uma alternativa para substituir o processo tradicional de coagulação, pré-desinfecção com cloro, floculação, decantação e filtração. Com o ultra-som não há formação dos indesejáveis compostos organoclorados.

O processo físico-químico de ultra-som parece ser mais eficiente na eliminação de bactérias quando a água possui maior quantidade de sólidos suspensos ou flocos formados.

No processo em que foi induzida a coagulação/floculação e sob a água clarificada aplicado ondas ultra-sônicas, o US mostrou-se eficiente na destruição de bactérias, porém, devido a ausência da filtração a água resultante não atingiu o nível de potabilidade exigido em relação a cor aparente, turbidez, ferro e partículas em suspensão.

Para o processo de filtração ou de ultra-som sem aplicação de coagulante e alcalinizante houve menor eficiência na eliminação de bactérias bem como no decaimento da turbidez, cor aparente, ferro, sólidos suspensos da água bruta.

O processo de ultra-som pode ser também empregado na pré-desinfecção e neste caso será aplicado solução de hipoclorito de sódio somente na pós-desinfecção para manter um residual de cloro na água de abastecimento.

O coagulante cloreto férrico segundo a literatura apresenta faixa de pH de coagulação entre 5 a 10 . Nos ensaios realizados na ETA-CB com água bruta do Ribeirão Rio Claro o pH de 8,5 a 9,5 mostrou-se mais apropriado para formação de flocos de maior sedimentabilidade.

No processo de pré-desinfecção com solução de hipoclorito de sódio sem coagulação-floculação, houve inativação de bactérias, porém a água resultante ficou com valores de cor aparente, turbidez, ferro, acima de valores de potabilidade permitidos pela legislação.

O tempo de 2 minutos de aplicação de ondas ultra-sônicas em 400 mL de água, ou seja, 200 mL/min no processo G (decantação e ultra-som) foi insuficiente para eliminação total das bactérias necessitando das etapas de alcalinização, coagulação e decantação na ETA-CB e/ou diminuição na vazão de água bruta.

No processo de coagulação/floculação e filtração há correlação entre a quantidade de bactérias e a turbidez, cor aparente e sólidos suspensos. Conforme há diminuição desses parâmetros há diminuição de bactérias. Este fato pode auxiliar no controle de qualidade microbiológico da água.

A concentração de ferro diminui com a filtração em função da adsorção pelo carvão ativado. A formação de flocos no processo de coagulação/floculação conjuntamente com a filtração é o que mais remove o ferro da água. As ondas ultra-sônicas e cloração individualmente pouco alteram a concentração de ferro.

Água bruta com as características físico-químicas estudadas permitem a aplicação de ondas de US, de cloração e de filtração/adsorção para inativação ou eliminação das bactérias. Para se obter maior eficiência na inativação ou eliminação de bactérias e ainda se ter qualidade de água potável é necessário como tratamento inicial a coagulação/floculação e em seqüência a decantação.

7. RESUMO

Este estudo realizado em mini Estação de Tratamento de Água (ETA-CB) relata a comparação entre diferentes processos como ondas ultra-sônicas, cloração e filtração-adsorção na eliminação de microrganismos e adequação de outros parâmetros exigidos para água de abastecimento público. Para avaliar a influência de cada processo de desinfecção e também dos processos de coagulação - floculação, decantação e filtração foi projetada e construída uma ETA em escala piloto, constituída de caixa de entrada de água bruta e produtos químicos, uma câmara de coagulação - floculação com chicanas e meio granular, um decantador e um filtro rápido de fluxo descendente com meio filtrante de carvão ativado, areia e pedregulho. Na água além de coliformes totais, coliformes fecais *E. coli* e bactérias heterotróficas, foram avaliados o pH, temperatura, cor aparente, turbidez, sólidos suspensos, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, salinidade, ferro e cloro livre residual. Foram realizados ensaios de coagulação - floculação, decantação e filtração, com e sem pré-cloração ou aplicação de ondas ultra-sônicas. Também foram elaborados ensaios individuais de filtração, cloração e aplicação de ultra-som após os processos de coagulação - floculação e decantação. Por último foi avaliado individualmente a eficiência dos processos de filtração, cloração e ultra-som aplicados na água bruta em fluxo contínuo na ETA-CB, sem coagular e flocular. Foi constatado a importância do processo de coagulação - floculação e decantação na eliminação de bactérias. Ondas ultra-sônicas, cloração e filtração - adsorção mostraram-se eficientes na inativação ou eliminação de bactérias. O processo de desinfecção com ultra-som juntamente com a coagulação - floculação, decantação e filtração, pode ser visto como um tratamento alternativo do processo tradicional de tratamento de água no qual se utiliza do

pré-desinfecção com cloro, coagulação - floculação, decantação e filtração. A cloração mostrou-se eficiente na inativação de bactérias independente de aplicação ou não o processo de coagulação - floculação, porém na ausência desses processos a água resultante não atingiu a especificação de potabilidade. A filtração - adsorção mostrou-se importante na eliminação de bactérias, evidenciando que o filtro tem além das ações físicas de reter partículas e sólidos suspensos também realiza ações biológicas e químicas.

8. SUMMARY

This study tells the comparison among different processes as ultra-sonic waves, chlorination and filtration-adsorption in the elimination of bacterias in Station of Treatment of Water (ETA-CB). To evaluate the influence of each disinfection process and also of the coagulation-flocculation processes, sedimentation and filtration was projected and built an ETA in pilot scale, constituted of box of entrance of rude water and chemical products, a coagulation - flocculation box with chicanes and middle to granulate, a decantor and a filter of descending flow with half filtrante of activated coal, sands and gravel. Besides total coliforms, fecal coliforms *E.coli* and heterotrophics bacterias, were appraised of the water the pH, temperature, apparent color, turbidity, suspended solids, electric conductivity, dissolved total solids, salinity, iron and residual free chlorine. Coagulation rehearsals were accomplished flocculation, sedimentation and filtration, with and without chlorination or application of ultra-sonic waves. They were also made individual rehearsals of filtration, chlorination and ultrasound waves application after the coagulation - flocculation processes sedimentation. Last it was evaluated the efficiency of the filtration processes, chlorination and ultrasound waves individually applied in the raw water in continuous flow in ETA, without coagulating and flocculating. The importance of the coagulation process was verified - flocculation and sedimentation in the elimination of bacterias. Ultrasound waves, chlorination and filtration - adsorption showed efficient in the destruction or elimination of bacterias. The disinfection process with ultrasound

waves together with the coagulation - flocculation, sedimentation and filtration, it can be seen as an alternative treatment of the traditional process of treatment of water in which is used of the disinfection with chlorine, coagulation-flocculation, sedimentation and filtration. The chlorination was shown efficient in the inactivity of bacterias independent of applying coagulation - flocculation, however in the absence of those processes the resulting water didn't reach the drinking water specification. The filtration - adsorption was shown important in the elimination of bacterias, evidencing that the filter has besides the physical actions of filtering, also biological and chemical actions.

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, J.C.S.; SERRA, A.A.- Ultra-som (I): Influência do ultra-som na química., Química Nova, São Paulo, p.302 a 316, 1992.

BIER, O.- Bacteriologia e Imunologia, Edições Melhoramentos, 22ª edição, São Paulo, p.507 a 514, 1982.

CAMPANA, K.T.G. - Aplicação de Ultra-som como controle do crescimento de *Aspergillus flavus* em cosméticos, Dissertação de Mestrado, área de Ciências Biológicas – Microbiologia Aplicada – UNESP - Rio Claro (SP), p.1 a 47, 2001.

CASTELLAN, G.W. - Físico-Química, Livros Técnicos e Científicos Editora, volume 1, Rio de Janeiro, p. 452 a 455, 1982.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Bactérias Heterotróficas Contagem em placas, São Paulo, L5, p. 201, 1996.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - Qualidade das Águas Interiores do Estado de São Paulo – 1999, p. 2 a 8, p. 233 a 239, p. 289 a 290, 2000.

CHEMAT, F.; TEUNISSEN, P.G.M.; CHEMAT, S.; BARTELS, P.V. - Sono-oxidation treatment of humic substances in drinking water – Ultrasonics Sonochemistry - Elsevier Science B.V., vol.8, p. 247 a 250, 2001.

CLARK,R.M.; ADAMS,J.Q.; LYKINS.Jr. - Control Drinking Water Constand Performance, JEE-ASCE, USA, Aug, 1994.

CLEASBY, J. L.; LOGSOON,G.S. - American Water Works Association Water Quality and Treatment, fifth edition, New York, Mc GRAW-HILL,INC, USA, p.8.1 a 8.91, 1999.

CLESCERI,L.S.; GREENBERG,A.E.; EATON,A.D. - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, - Publication office:American Public Health Association, American Water Works Association Water Environment Ferderation Publication, Washington DC, 20th Edition, 1998.

COHN,P.D.; COX,M.; BERGER,P.S.- American Water Works Association – Water Quality and Treatment, A Handbook of Community Water Supplies 5th Edition, USA, p.2.1 a 2.71, 1999.

CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução n.º 20 de 18 de junho 1986, Diário Oficial da União, Brasília (DF).

CONDIE,L.W.- Water chlorination chemistry environmental impact and health effects-toxicological effects associated with drinking water disinfectants and their by-products; volume G, Lewis Publishers, USA , p.281 a 291, 1990.

DANIEL,L.A.; BRANDÃO,C.C.S.; GUIMARÃES,J.R.; LIBÂNIO,M.; DELUCA; S.J.- Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável. Prosab - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico - São Carlos(SP), p.1 a 65, 2001.

DEZHKUNOV,N.V.- Multibubble sonoluminescence intensity dependence on liquid temperature at different ultrasound intensities – Ultrasonics Sonochemistry – Elsevier Science B.V., vol.9, p.103 a 106, 2002 .

DI BERNARDO, L.- Métodos e Técnicas de Tratamento de Água - ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária Ambiental volumes 1 e 2, Rio de Janeiro, p.402 a 459, 1993.

DI BERNARDO,L. - Alga e suas Influências na Qualidade das Águas e nas Tecnologias de Tratamento, ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, p. 8 a 125, 1995.

DIFCO - Manual Dehydrated Culture, Media and Reagents for Microbiology, tenth edition, DIFCO Laboratories, Detroit Michigan – USA, p.679, 1984.

DOMINGOS, R.N. - Contribuições e usos do ultra-som de média intensidade no preparo de catalizadores e produção ativada de etanol, Tese de Livre Docente em Termodinâmica, Instituto de Geociências e Ciências Exatas - UNESP - Rio Claro (SP), p. 34 a 47, 1998.

FONTANA,R. - Efeitos do Ultra-som de alta intensidade na ativação e inativação de esporos bacterianos, Dissertação de Mestrado, área de Ciências Biológicas - Microbiologia Aplicada - UNESP - Rio Claro (SP), p. 1 a 63, 1996.

GALVIS,G.; LATORRE,J.; VISSCHER,J.T. - Filtracion en Multiples Etapas Tecnologia innovativa para el tratamiento de água, IRC- International water and sanitation centre, CINARA, Colombia, 1997.

GUIRRO,E.C.O. - Bioefeitos induzidos por ultra-som em *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* estudo in vitro, Tese de Doutorado, área de Ciências Biológicas Microbiologia Aplicada - UNESP - Rio Claro(SP), p. 1 a 91, 1999.

HAAS, N.C.; SNOEYINK,L.V.; SUMMERS ,R.S. - Water Quality & Treatment. A handbook of Community Water Supplies. American water works Association. MAC GRAW-HILL, New York, 1999.

HIRANO,P.C.N.- Sorção de íons cobre em resinas comerciais de troca iônica: Estudos Cinéticos e Termodinâmicos, Tese de Mestrado, área de Engenharia Química UFSCar - São Carlos (SP), p. 1 a 69, 1998.

LEME,F.P. – Teoria e Técnicas de Tratamento de Água, ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2ª edição, Rio de Janeiro, p. 540 a 564, 1990.

LIN,S.; ZHANG, F. - Measurement of ultrasonic power and electroacoustic efficiency of high power transducers, Applied Acoustic Institute, Ultrasonics Sonochemistry - Elsevier Science B.V.; vol. 37, p.549 a 554, 2000.

LYKINS,B.W.Jr.; KOFFSKEY,W.E.; PATTERSON,K.S.; Jee-ASCE - Alternative Desinfectants for Drinking Water and Water Treatment, USA, August 1994.

MACEDO,J.A.B.- Águas & Águas, Varela Editora e Livraria Ltda., São Paulo(SP), p. 69 a 131, 2000.

MANFRINI,C.; NETTO,J.M.A.; CAMPOS, J.R.; POVINELLI,J; PALLATORE,A.C.; Técnica de abastecimento e tratamento de água, CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental), 2ª edição, São Paulo, 1977.

MARGULIS,M.A.; MARGULIS,I.M. - Contemporary review on nature of sonoluminescence and sonochemical reactions, Ultrasonics Sonochemistry - Elsevier Science B.V., vol. 9, p. 1 a 10, 2002.

MASON,T.J. - Large scale sonochemical processing: aspiration na actuality, Ultrasonics Sonochemistry - Elsevier Science B.V., vol. 7, p. 145 a 149, 2000.

MINISTÉRIO DA SAÚDE - Normas e Padrão de Potabilidade de Águas destinadas ao consumo humano, Portaria n.º 1469, de 29 de dezembro de 2000, Brasil.

MONTGOMERY, J.M.CONSULTING ENGINEERS, INC - Water Treatment Principles and Design, John Wiley & Sons, USA, 1985.

MOORE,A.C., et al.- Waterborne disease in the United States, 1991 and 1992, Journal AWWA, v. 86 , p.87 a 89, jan. 1994.

NOLL,K.E.; GOUNARIS,V.; HOU,W. - Adsorption Technology for Air and Water Pollution Control, Lewis Publishers Inc., Michigan - USA, 1992 .

NUNES,J.A.- Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais, 3ª edição, Cap. 5 - Gráfica e Editora Triunfo Ltda., Sergipe – Brasil, 2001.

OKUNO,E; CALDAS, LI; CHOW, C. - Física para Ciências Biológicas e Biomédicas, Editora Harper & Row do Brasil Ltda., São Paulo, 1986.

PEÇANHA,M.P. - Parâmetros Microbiológicos da Água do Ribeirão Claro (Rio Claro - São Paulo); Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas - UNESP - Rio Claro (SP), p. 1 a 23, 30 a 105, 1993.

PELCZAR, M, J. Jr.; CHAN, E.C.S.; KRIEG, N. R.; EDWARDS, D. D.; PELCZAR.M.F. Microbiologia: Conceitos e aplicações - Makron Books do Brasil Editora Ltda., São Paulo, 1996.

PERRY, R.H.- Chemical Engineer's Handbook - 81th edition Mc GRAW HILL, USA, 2000.

PHULL,S.S.; NEWMAN,J.P.; LORIMER,J.P.; POLLET,B.; MASON,T.J. - The development and evaluation of ultrasound in the biocidal treatment of water - Ultrasonics sonochemistry - Elsevier Science B.V., vol.4, p. 157 a 164, 1997.

PINTO,W.D.; ALMEIDA,M.- Resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA(1984-1999), Ed. Ambiental, Brasília(DF), Brasil, p.125 a 145, 1999.

PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico; Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas , Rio de Janeiro (RJ), p. 14 a 37, 1999.

RAGAINI, V.; SELLI,E.;BIANCHI,C.L.; PIROLA,C. - Sono-photocatalytic degradation of 2-chlorophenol in water: Kinetic and energetic comparation with other techniques - Ultrasonics Sonochemistry - Elsevier Science B.V., vol. 8, p. 251 a 258, 2001.

RESNICK,R; HALLIDAY,D. - Física 1, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., vol. 2 3ª edição, Rio de Janeiro, 1983.

RITCHER,A.C.; NETTO,J.M.A. - Tratamento de água - Tecnologia atualizada, Editora Edgard Blucher Ltda., São Paulo, p. 280 a 313, 1998.

ROBERTO,S.; ABREU,R.M. - Utilidades dos Indicadores de Qualidade das Águas. Ambiente Revista Cetesb de Tecnologia, vol. 5, São Paulo - 1991.

ROSSIN,A.C. – Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água, CETESB, 2ª edição, São Paulo, p. 886 a 917, 1977.

SCHERBA,G.; WEIGEL,R.M.; O'BRIEN,JR.W.D. - "Quantitative assessment of the germicidal efficacy of ultrasonic energy", Applied and Enviromental Microbiology, v. 57, n.º 7, p. 2079 a 2084, 1991.

TOMASIN, A.C. - Biorresistência e Efeitos Causados pela Ação Acoplada da Irradiação Ultra Sônica e Processo Eletrolítico no Aproveitamento da Levedura - Dissertação de Mestrado em Ciências Biológicas - Área de Microbiologia Aplicada - UNESP - Rio Claro(SP), 2001.

VIANNA,M.R. - Hidráulica Aplicada às Estações de Tratamento de Água, 3ª edição, Imprimatur Artes Ltda., Minas Gerais, 1997.

VIANNA, M.R. - Casas de Química para Estações de Tratamento de Água, Imprimatur Artes Ltda., Belo Horizonte, p.13 a 29, p. 44 a 48, p. 67 a 68, p. 82 a 85, 2001.

WILLIAMS, A.R.- Ultrasound: Biological effects and Potential Hazards, Academic Press Inc. London, 1983.

WILLIAMS, A.R. - Phonophoresis: evaluation using three topical anaesthetic, ultrasonics, vol.28, p.137 a 141, 1990.

WITT,V.M.; REIFF,F.M. - La Desinfeccion del Água a Nivel Casero en Zonas Urbanas Marginales y Rurales ; Organizacion Panamericana de la Salud - Organizacion Mundial de la Salud - Divison de Salud y Ambiente, Washington - USA, 1993.

10 . APÊNDICE

Tabela 01 . Quantificação dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) do pH da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

Data Coleta	Análises	pH							
		Água Bruta	Processo					G	H
			A	B	C	D	E		
10/12/01	1. ^a	6,30	6,82	6,83	6,93				
	2. ^a	6,29	6,83	6,80	7,00				
	3. ^a	6,30	6,83	6,80	6,98				
	x	6,30	6,82	6,81	6,97				
	s	0,01	0,02	0,02	0,04				
07/01/02	1. ^a	6,90	6,67	6,50	9,27				
	2. ^a	6,89	6,60	6,55	9,31				
	3. ^a	6,89	6,66	6,55	9,32				
	x	6,89	6,64	6,53	9,30				
	s	0,01	0,04	0,03	0,03				
05/03/02	1. ^a	7,09	9,32		9,52	9,16			
	2. ^a	7,12	9,30		9,49	9,23			
	3. ^a	7,08	9,28		9,48	9,18			
	x	7,10	9,30		9,50	9,19			
	s	0,02	0,02		0,02	0,04			
19/03/02	1. ^a	6,98			7,76	7,28	8,62		
	2. ^a	6,96			7,73	7,20	8,65		
	3. ^a	7,02			7,78	7,25	8,64		
	x	6,99			7,76	7,24	8,64		
	s	0,03			0,03	0,04	0,02		
07/05/02	1. ^a	7,02			7,80	7,09	8,36		
	2. ^a	7,04			7,78	7,13	8,35		
	3. ^a	7,03			7,80	7,11	8,37		
	x	7,03			7,79	7,11	8,36		
	s	0,01			0,01	0,02	0,01		

Tabela 02 . Quantificação em (PtCo) dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) da cor aparente da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

COR APARENTE (PtCo)									
Data Coleta	Análises	Água Bruta	Processo						
			A	B	C	D	E	F	G H
10/12/01	1. ^a	1772	36	37	35				
	2. ^a	1800	38	39	34				
	3. ^a	1740	34	38	36				
	x	1771	36	38	35				
	s	30	2	1	1				
07/01/02	1. ^a	494	37	34	20				
	2. ^a	496	39	37	17				
	3. ^a	494	38	31	19				
	x	495	38	34	19				
	s	1	1	3	2				
05/03/02	1. ^a	240	16			101	102		
	2. ^a	249	14			107	108		
	3. ^a	240	15			103	105		
	x	243	15			104	105		
	s	5	1			3	3		
19/03/02	1. ^a	252				179	220	230	
	2. ^a	243				170	224	235	
	3. ^a	245				167	219	236	
	x	247				172	221	234	
	s	5				6	3	3	
07/05/02	1. ^a	136				100	123	114	
	2. ^a	139				102	120	108	
	3. ^a	135				103	123	110	
	x	137				102	122	111	
	s	2				2	2	3	

Tabela 03 . Quantificação em Unidades Nefelométricas (NTU) dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) da turbidez da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

TURBIDEZ (NTU)										
Data Coleta	Análises	Água Bruta	Processo							
			A	B	C	D	E	F	G	H
10/12/01	1. ^a	460	6	5	6					
	2. ^a	450	5	6	7					
	3. ^a	450	6	6	7					
	x	453	6	6	7					
	s	6	1	1	1					
07/01/02	1. ^a	89	5	6	4					
	2. ^a	86	5	7	4					
	3. ^a	87	6	6	4					
	x	87	5	6	4					
	s	2	1	1	0					
05/03/02	1. ^a	42	3			19	16			
	2. ^a	41	2			20	17			
	3. ^a	43	2			20	17			
	x	42	2			20	17			
	s	1	1			1	1			
19/03/02	1. ^a	43						29	39	37
	2. ^a	45						29	38	38
	3. ^a	46						28	37	38
	x	45						29	38	38
	s	2						1	1	1
07/05/02	1. ^a	23						18	21	20
	2. ^a	22						19	22	21
	3. ^a	23						19	22	21
	x	23						19	22	21
	s	1						1	1	1

Tabela 04 . Quantificação em mg/L dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) dos sólidos totais dissolvidos da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (mg/L)									
Data Coleta	Análises	Água		Processo					
		Bruta	A	B	C	D	E	F	G H
10/12/01	1. ^a	31	94	97	242				
	2. ^a	31	95	95	242				
	3. ^a	31	95	95	242				
	x	31	95	96	242				
	s	0	1	1	0				
07/01/02	1. ^a	28	54	54	860				
	2. ^a	28	54	54	864				
	3. ^a	28	54	54	864				
	x	28	54	54	863				
	s	0	0	0	2				
05/03/02	1. ^a	29	207			423	588		
	2. ^a	30	201			421	584		
	3. ^a	30	207			425	586		
	x	30	205			423	586		
	s	1	3			2	2		
19/03/02	1. ^a	28						35	32 136
	2. ^a	28						35	33 136
	3. ^a	28						34	33 136
	x	28						35	33 136
	s	0						1	1 0
07/05/02	1. ^a	25						48	28 130
	2. ^a	25						48	28 130
	3. ^a	25						48	28 131
	x	25						48	28 130
	s	0						0	0 1

Tabela 05 . Quantificação $\mu\text{S}/\text{cm}$ dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) da condutividade elétrica da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

Data Coleta	Análises	Água Bruta	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA ($\mu\text{S}/\text{cm}$)							
			Processo							
			A	B	C	D	E	F	G	H
10/12/01	1. ^a	64,3	200	203	507					
	2. ^a	64,8	201	202	507					
	3. ^a	65,2	201	202	507					
	x	64,8	201	202	507					
	s	0,5	1	1	0					
07/01/02	1. ^a	59,5	113,0	113,8	1746					
	2. ^a	59,7	113,7	113,7	1758					
	3. ^a	59,8	113,8	11,8	1756					
	x	59,7	113,5	113,1	1753					
	s	0,2	0,4	1,1	6					
05/03/02	1. ^a	62,1	435			879	1211			
	2. ^a	63,3	420			877	1207			
	3. ^a	63,3	436			886	1209			
	x	62,9	430			881	1209			
	s	0,7	9			5	2			
19/03/02	1. ^a	60,0						73,6	69,5	287
	2. ^a	60,3						73,5	69,7	288
	3. ^a	60,2						73,4	69,6	287
	x	60,2						73,5	69,6	287
	s	0,2						0,1	0,1	1
07/05/02	1. ^a	53,9						100,5	59,4	274
	2. ^a	53,5						100,7	59,5	273
	3. ^a	53,6						100,7	59,7	275
	x	53,7						100,6	59,5	274
	s	0,2						0,1	0,2	1

Tabela 06 . Quantificação em parte por mil (‰) dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) da salinidade da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

SALINIDADE (o/oo)										
Data Coleta	Análises	Água Bruta	Processo							
			A	B	C	D	E	F	G	H
10/12/01	1. ^a	0,0	0,1	0,1	0,2					
	2. ^a	0,0	0,1	0,1	0,2					
	3. ^a	0,0	0,1	0,1	0,2					
	x	0,0	0,1	0,1	0,2					
	s	0,0	0,0	0,0	0,0					
07/01/02	1. ^a	0,0	0,1	0,1	0,9					
	2. ^a	0,0	0,1	0,1	0,9					
	3. ^a	0,0	0,1	0,1	0,9					
	x	0,0	0,1	0,1	0,9					
	s	0,0	0,0	0,0	0,0					
05/03/02	1. ^a	0,0	0,2			0,4	0,6			
	2. ^a	0,0	0,2			0,4	0,6			
	3. ^a	0,0	0,2			0,4	0,6			
	x	0,0	0,2			0,4	0,6			
	s	0,0	0,0			0,0	0,0			
19/03/02	1. ^a	0,0						0,0	0,0	0,1
	2. ^a	0,0						0,0	0,0	0,1
	3. ^a	0,0						0,0	0,0	0,1
	x	0,0						0,0	0,0	0,1
	s	0,0						0,0	0,0	0,0
07/05/02	1. ^a	0,0						0,0	0,0	0,1
	2. ^a	0,0						0,0	0,0	0,1
	3. ^a	0,0						0,0	0,0	0,1
	x	0,0						0,0	0,0	0,1
	s	0,0						0,0	0,0	0,0

Tabela 07 . Quantificação em graus Celsius (°C) dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) da temperatura da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

TEMPERATURA (°C)									
Data Coleta	Análises	Água Bruta	Processo						
			A	B	C	D	E	F	G H
10/12/01	1. ^a	24,9	26,5	27,5	25,8				
	2. ^a	24,8	26,3	28,0	25,8				
	3. ^a	24,8	26,3	27,0	25,8				
	x	24,8	26,4	27,5	25,8				
	s	0,1	0,1	0,5	0,0				
07/01/02	1. ^a	24,8	24,8	26,8	25,1				
	2. ^a	24,7	24,7	27,0	24,8				
	3. ^a	24,7	24,7	26,8	24,8				
	x	24,7	24,7	26,9	24,9				
	s	0,1	0,1	0,1	0,2				
05/03/02	1. ^a	24,4	26,6		28,2	26,7			
	2. ^a	24,5	26,5		28,0	26,4			
	3. ^a	24,4	26,4		28,0	26,2			
	x	24,4	26,5		28,1	26,4			
	s	0,1	0,1		0,1	0,3			
19/03/02	1. ^a	27,4				27,5	27,9	27,7	27,7
	2. ^a	27,3				27,6	28,0	27,6	27,6
	3. ^a	27,9				27,8	27,8	27,7	27,7
	x	27,5				27,6	27,9	27,7	27,7
	s	0,3				0,2	0,1	0,1	0,1
07/05/02	1. ^a	21,9				23,2	23,5	22,9	22,9
	2. ^a	21,9				23,2	23,5	22,9	22,9
	3. ^a	22,0				23,1	23,4	23,0	23,0
	x	21,9				23,2	23,5	22,9	22,9
	s	0,1				0,1	0,1	0,1	0,1

Tabela 08 . Quantificação em mg/L dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) do ferro da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

FERRO (mg/L)										
Data Coleta	Análises	Água Bruta	Processo							
			A	B	C	D	E	F	G	H
10/12/01	1. ^a	2,15	0,10	0,11	0,10					
	2. ^a	2,20	0,11	0,12	0,10					
	3. ^a	2,22	0,12	0,12	0,11					
	x	2,19	0,11	0,12	0,10					
	s	0,04	0,01	0,01	0,01					
07/01/02	1. ^a	1,94	0,12	0,07	0,08					
	2. ^a	1,98	0,11	0,08	0,07					
	3. ^a	1,92	0,13	0,08	0,07					
	x	1,95	0,12	0,08	0,07					
	s	0,03	0,01	0,01	0,01					
05/03/02	1. ^a	1,81	0,06			3,03	4,34			
	2. ^a	1,84	0,06			3,09	4,32			
	3. ^a	1,80	0,07			2,96	4,30			
	x	1,82	0,06			3,03	4,32			
	s	0,02	0,01			0,07	0,02			
19/03/02	1. ^a	1,89						1,53	1,88	1,80
	2. ^a	1,95						1,55	1,85	1,82
	3. ^a	1,90						1,50	1,82	1,88
	x	1,91						1,53	1,85	1,83
	s	0,03						0,03	0,03	0,04
07/05/02	1. ^a	1,47						1,24	1,37	1,40
	2. ^a	1,48						1,25	1,35	1,41
	3. ^a	1,48						1,25	1,36	1,40
	x	1,48						1,25	1,36	1,40
	s	0,01						0,01	0,01	0,01

Tabela 09 . Quantificação em mg/L dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) dos sólidos suspensos da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

Data Coleta	Análises	Água Bruta	SÓLIDOS SUSPENSOS (mg/L)							
						Processo				
			A	B	C	D	E	F	G	H
10/12/01	1. ^a	98	2	2	1					
	2. ^a	90	2	3	2					
	3. ^a	92	1	2	2					
	x	93	2	2	2					
	s	4	1	1	1					
07/01/02	1. ^a	38	2	2	2					
	2. ^a	41	2	1	1					
	3. ^a	40	1	2	1					
	x	40	2	2	1					
	s	2	1	1	1					
05/03/02	1. ^a	20	1			6	7			
	2. ^a	26	2			5	6			
	3. ^a	23	1			6	6			
	x	23	1			6	6			
	s	3	1			1	1			
19/03/02	1. ^a	32						3	30	32
	2. ^a	32						5	26	27
	3. ^a	35						4	28	28
	x	33						4	28	29
	s	2						1	2	3
07/05/02	1. ^a	10						4	7	7
	2. ^a	8						3	7	7
	3. ^a	7						3	8	6
	x	8						3	7	7
	s	2						1	1	1

Tabela 10 . Quantificação em mg/L dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) do cloro livre residual da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

CLORO LIVRE RESIDUAL (mg/L)									
Data Coleta	Análises	Água Bruta	Processo						
			A	B	C	D	E	F	G H
10/12/01	1. ^a	0,00	0,00	0,00	0,04				
	2. ^a	0,00	0,00	0,00	0,05				
	3. ^a	0,00	0,00	0,00	0,05				
	x	0,00	0,00	0,00	0,05				
	s	0,00	0,00	0,00	0,01				
07/01/02	1. ^a	0,00	0,01	0,01	3,54				
	2. ^a	0,00	0,01	0,00	3,46				
	3. ^a	0,00	0,01	0,00	3,40				
	x	0,00	0,01	0,00	3,47				
	s	0,00	0,00	0,01	0,07				
05/03/02	1. ^a	0,01	0,00		0,00	3,36			
	2. ^a	0,01	0,00		0,00	3,52			
	3. ^a	0,01	0,01		0,01	3,24			
	x	0,01	0,00		0,00	3,37			
	s	0,00	0,01		0,01	0,14			
19/03/02	1. ^a	0,01				0,01	0,01	0,01	0,09
	2. ^a	0,01				0,00	0,01	0,01	0,10
	3. ^a	0,02				0,00	0,02	0,02	0,08
	x	0,01				0,00	0,01	0,01	0,09
	s	0,01				0,01	0,01	0,01	0,01
07/05/02	1. ^a	0,01				0,01	0,01	0,01	0,07
	2. ^a	0,00				0,00	0,00	0,00	0,06
	3. ^a	0,00				0,00	0,00	0,00	0,08
	x	0,00				0,00	0,00	0,00	0,07
	s	0,01				0,01	0,01	0,01	0,01

Tabela 11 . Quantificação em número mais provável (NMP)/100mL dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) dos coliformes totais da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

COLIFORMES TOTAIS (NMP/100mL)									
Data Coleta	Análises	Água Bruta	Processo						
			A	B	C	D	E	F	G H
10/12/01	1. ^a	25.900	<1	<1	<1				
	2. ^a	22.900	<1	<1	<1				
	3. ^a	19.900	<1	<1	<1				
	x	22.900	<1	<1	<1				
	s	3.000	0	0	0				
07/01/02	1. ^a	13.540	6,3	4,1	<1				
	2. ^a	32.550	3,1	6,3	<1				
	3. ^a	17.250	9,8	7,4	<1				
	x	21.113	6,4	5,9	<1				
	s	10.077	3,3	1,7	0				
05/03/02	1. ^a	7.170	<1			7,4	<1		
	2. ^a	6.970	<1			<1	<1		
	3. ^a	6.830	<1			<1	<1		
	x	6.990	<1			3,1	<1		
	s	171	0			3,7	0		
19/03/02	1. ^a	14.970						>2419,2	>2419,2 <1
	2. ^a	9.060						>2419,2	>2419,2 <1
	3. ^a	15.650						>2419,2	>2419,2 <1
	x	13.227						>2419,2	>2419,2 <1
	s	3.624						0	0
07/05/02	1. ^a	3.050						41	2650 <1
	2. ^a	3.360						52	2530 <1
	3. ^a	3.180						51	2560 <1
	x	3.197						48	2580 <1
	s	156						6	62

Tabela 12 . Quantificação em número mais provável (NMP)/100mL dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) dos coliformes fecais *E. coli* da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

COLIFORMES FECAIS <i>E. coli</i> (NMP/100mL)									
Data Coleta	Análises	Água Bruta	Processo						
			A	B	C	D	E	F	G H
10/12/01	1. ^a	3100	<1	<1	<1				
	2. ^a	3100	<1	<1	<1				
	3. ^a	--	<1	<1	<1				
	x	3100	<1	<1	<1				
	s	0	0	0	0				
07/01/02	1. ^a	520	<1	<1	<1				
	2. ^a	740	<1	<1	<1				
	3. ^a	410	<1	<1	<1				
	x	557	<1	<1	<1				
	s	168	0	0	0				
05/03/02	1. ^a	200	<1		<1	<1	<1		
	2. ^a	300	<1		<1	<1	<1		
	3. ^a	310	<1		<1	<1	<1		
	x	270	<1		<1	<1	<1		
	s	61	0		0	0	0		
19/03/02	1. ^a	1340						461,1	613,1
	2. ^a	1340						384,3	727,0
	3. ^a	--						410,3	727,0
	x	1340						419,7	689,0
	s	0						37,8	65,8
07/05/02	1. ^a	300						<1	200
	2. ^a	300						<1	300
	3. ^a	300						<1	200
	x	300						<1	233
	s	0						0	58

Tabela 13 . Quantificação em unidades formadoras de colônias (UFC)/mL dos valores médios (x) e respectivos desvios padrão (s) de bactérias heterotróficas da água bruta e da água dos processos definidos como A, B, C, D, E, F, G e H realizados na ETA-CB

BACTÉRIAS HETEROTRÓFICAS (UFC/mL)									
Data Coleta	Análises	Água Bruta	Processo						
			A	B	C	D	E	F	G H
10/12/01	1. ^a	51.000	230	24	29				
	2. ^a	45.000	210	12	21				
	3. ^a	48.000	220	18	25				
	x	48.000	220	18	25				
	s	3.000	10	6	4				
07/01/02	1. ^a	5.000	650	200	0				
	2. ^a	5.000	550	300	0				
	3. ^a	4.500	600	250	0				
	x	4.833	600	250	0				
	s	289	50	50	0				
05/03/02	1. ^a	2.500	8			9	3		
	2. ^a	3.000	5			3	7		
	3. ^a	3.100	4			2	5		
	x	2.867	6			5	5		
	s	321	2			4	2		
19/03/02	1. ^a	300.000						950	950 30
	2. ^a	200.000						950	900 25
	3. ^a	250.000						900	900 30
	x	250.000						933	917 28
	s	50.000						29	29 3
07/05/02	1. ^a	1.000						20	400 2
	2. ^a	1.500						30	300 1
	3. ^a	900						30	300 0
	x	1.133						27	333 1
	s	321						6	58 1

Tabela 14. Diminuição percentual de bactérias Coliformes totais, Coliformes fecais (*Escherichia coli*) e heterotróficas para os diferentes processos empregados no tratamento da água bruta da represa da Floresta Estadual Navarro de Andrade – Estação de Captação DAAE Rio Claro (SP) realizados na ETA-CB

DIMINUIÇÃO DE BACTÉRIAS DA ÁGUA BRUTA				
PROCESSO	DATA	Coliformes Totais	Diminuição de bactérias Coliformes Fecais (<i>E.coli</i>)	Heterotróficas
A	10/12/2001	99,99 %	99,99 %	99,54 %
B		99,99 %	99,99 %	99,96 %
C		99,99 %	99,99 %	99,95 %
A	07/01/2002	99,97 %	99,99 %	87,59 %
B		99,97 %	99,99 %	94,83 %
C		99,99 %	99,99 %	100,0 %
A	05/03/2001	99,99 %	99,99 %	99,79 %
D		99,96 %	99,99 %	99,82 %
E		99,99 %	99,99 %	99,82 %
F	19/03/2002	< 81,71 %	68,68 %	99,63 %
G		< 81,71 %	48,58 %	99,63 %
H		99,99 %	99,99 %	99,99 %
F	07/05/2002	98,50 %	99,99 %	97,62 %
G		19,30 %	22,22 %	70,61 %
H		99,99 %	99,99 %	99,90 %

Tabela 15 . Valores médios das análises nos diferentes processos de tratamento da água bruta do Ribeirão Claro (Rio Claro-SP), realizados na ETA-CB

COMPARAÇÃO DA DESINFECÇÃO COM ULTRA-SOM, CLORAÇÃO E FILTRAÇÃO NA ETA-CB																
PROCESSO	DATA	Horário coleta	Chuvas (últimas 24 horas)	pH	Cor aparente (PtCo)	Turbidez (NTU)	STD (mg/L)	Cod. elétrica $\mu\text{S/cm}$	Salinidade (g/100g)	Temp. (°C)	Fe (mg/L)	S.S (mg/L)	Cloro livre residual (mg/L)	Coliformes totais NMP/100mL	Coliformes fecais <i>E.coli</i> NMP/100mL	Bactérias heterotróficas (UFC/mL)
ÁGUA BRUTA				6,30	1771	453	31	64,8	0,0	24,8	2,19	93	0,00	22.900	3100	48.000
A	10/12/01	8:30 h	SIM	6,82	36	6	95	201	0,1	26,4	0,11	2	0,00	<1	<1	220
B				6,81	38	6	96	202	0,1	27,5	0,12	2	0,00	<1	<1	18
C				6,97	35	7	242	507	0,2	25,8	0,10	2	0,05	<1	<1	25
ÁGUA BRUTA				6,89	495	87	28	59,7	0,0	24,7	1,95	40	0,00	21.113	557	4833
A	07/01/02	8:40 h	SIM	6,64	38	5	54	113,5	0,1	24,7	0,12	2	0,01	6,4	<1	600
B				6,53	34	6	54	113,1	0,1	26,9	0,08	2	0,00	5,9	<1	250
C				9,30	19	4	863	1753	0,9	24,9	0,07	1	3,47	<1	<1	0
ÁGUA BRUTA				7,10	243	42	30	62,9	0,0	24,4	1,82	23	0,01	6990	270	2867
A	05/03/02	9:00 h	NÃO	9,30	15	2	205	430	0,2	26,5	0,06	1	0,00	<1	<1	6
D				9,50	104	20	423	881	0,4	28,1	3,03	6	0,00	3,1	<1	5
E				9,19	105	17	586	1209	0,6	26,4	4,32	6	3,37	<1	<1	5
ÁGUA BRUTA				6,99	247	45	28	60,2	0,0	27,5	1,91	33	0,01	13.227	1340	250.000
F	19/03/02	8:20 h	SIM	7,76	172	29	35	73,5	0,0	27,6	1,53	4	0,00	>2419,2	419,7	933
G				7,24	221	38	33	69,6	0,0	27,9	1,85	28	0,01	>2419,2	689,0	917
H				8,64	234	38	136	287	0,1	27,7	1,83	29	0,09	<1	<1	28
ÁGUA BRUTA				7,03	137	23	25	53,7	0,0	21,9	1,48	8	0,00	3197	300	1133
F	07/05/02	8:00 h	NÃO	7,79	102	19	48	100,6	0,0	23,2	1,25	3	0,00	48	<1	27
G				7,11	122	22	28	59,5	0,0	23,5	1,36	7	0,00	2580	233	333
H				8,36	111	21	130	274	0,1	22,9	1,40	7	0,07	<1	<1	1

Tabela 16. Alguns parâmetros e indicadores de qualidade e quantidade das Águas-1999; local: Rio Corumbataí, ponte próxima a usina Tamandupá, na localidade de Recreio; código do local: 00SP05535 CRUM 02500; classe 2; UGRHI: Piracicaba/ Capivari/ Jundiá. (CETESB, 2000)

<i>DADOS DE QUALIDADE</i>	<i>PADRÃO DE QUALIDADE CONAMA 20/86</i>	<i>JANEIRO</i>	<i>MARÇO</i>	<i>MAIO</i>	<i>JULHO</i>	<i>SET.</i>	<i>NOV.</i>
<u>Informações de campo</u>							
Dia da coleta	--	26	9	18	20	21	23
Chuvvas (últimas 24h)	--	não	sim	não	não	não	Sim
coloração	--	marrom	marrom	--	amarela	amarela	Marrom
<u>Parâmetros Físico-químicos</u>							
Temperatura água (°C)	--	27	25	19	19	22	23
pH	6,0 a 9,0	7,1	7,2	6,9	7,2	7,1	7,0
Oxigênio dissolvido(mg/L)	5,0	5,5	6,3	7,6	6,7	5,6	4,2
DBO5,20(mg/L)	5	2	2	2	4	4	4
DQO (mg/L)	--	17	18	13	< 15	12	17
Nitrogênio total (mg/L)	--	1,10	1,28	1,14	1,21	1,02	1,41
Resíduo filtrável (mg/L)	500	105	97	71	116	80	96
Resíduo não filtrável (mg/L)	--	68	75	11	10	17	25
Resíduo total (mg/L)	--	173	172	82	126	97	121
Turbidez (NTU)	100	48	45	15	15	15	20
Cloreto (mg/L)	250,0	4,4	4,1	4,5	4,8	6,6	7,5
Surfactantes (mg/L)	0,50	0,05	< 0,04	< 0,04	< 0,04	0,09	0,16
Condutividade específica(μS/cm)	---	109	105	93	98	105	110
Cromo total (mg/L)	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Alumínio (mg/L)	0,10	3,48	2,22	1,31	0,16	0,43	0,94
Ferro (mg/L)	--	5,14	1,87	1,30	0,85	1,64	1,84
Manganês (mg/L)	0,10	0,21	0,15	0,12	0,08	0,12	0,20
Fenóis	0,001	0,001	0,017	<0,001	0,003	0,015	0,005
<u>Parâmetros microbiológicos</u>							
Coliformes fecais (NMP/100mL)	1,0 E + 03	1,1 E + 05	8,0 E + 04	8,0 E + 03	5,0 E + 03	1,7 E + 02	6,0 E + 03
<u>Parâmetros ecotoxicológicos</u>							
Teste de toxicidade crônica	--	Não tóxico	Não tóxico	Não tóxico	Não tóxico	Não tóxico	Não tóxico
<u>IQA – Índice de Qualidade das Águas</u>							
IQA	--	46	51	61	60	69	52
classificação	--	aceitável	aceitável	boa	boa	boa	boa