

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

VONIVALDO GONÇALVES LEÃO

**ÁGUA TRATADA: FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS PELO USO  
DO CLORO E OS RISCOS POTENCIAIS À SAÚDE PÚBLICA EM  
CIDADES DA MESORREGIÃO DO LESTE RONDONIENSE.**

BRASÍLIA

2008

VONIVALDO GONÇALVES LEÃO

**ÁGUA TRATADA: FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS PELO USO  
DO CLORO E OS RISCOS POTENCIAIS À SAÚDE PÚBLICA EM  
CIDADES DA MESORREGIÃO DO LESTE RONDONIENSE.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde-Convênio Centro-Oeste (UnB - UFG - UFMS -UNIR) como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Saúde.

Orientador – Prof. Dr. Luíz Alberto Simeoni

BRASÍLIA

2008

Leão, Vonivaldo Gonçalves

Água tratada: Formação de trialometanos pelo uso do cloro e os riscos potenciais à saúde pública em cidades da mesorregião do leste rondoniense.

**ixvii, 131 p. : il**

Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) – Universidade de Brasília, 2008.

Orientador – Prof. Dr. Luíz Alberto Simeoni

Bibliografia: **p.73- 80**

1. Trialometanos
2. Clorofórmio
3. Substância carcinogênica e mutagênica
4. Estação de tratamento de água
5. Desinfecção

**TERMO DE APROVAÇÃO****VONIVALDO GONÇALVES LEÃO****ÁGUA TRATADA: FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS PELO USO  
DO CLORO E OS RISCOS POTENCIAIS À SAÚDE PÚBLICA EM  
CIDADES DA MESORREGIÃO DO LESTE RONDONIENSE.**

Dissertação aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências da Saúde pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde-Convênio Centro-Oeste (UnB - UFG - UFMS - UNIR), pela comissão formada pelos professores:

Presidente:

Prof. Dr. Luiz Alberto Simeoni  
Faculdade de Ciências da Saúde, UnB

Prof. Dr. Carlos Alberto Bezerra Tomaz  
Faculdade de Ciências da Saúde, UnB

Prof. Dr. Pedro Sadi Monteiro  
Faculdade de Ciências da Saúde, UnB

Prof. Dr. Valdir Filgueiras Pessoa  
Instituto de Ciências Biológicas  
Departamento de Ciências Fisiológicas, UnB

Brasília, março de 2008.

## DEDICATÓRIA

A Deus em primeiro lugar por me fornecer meios e dons, principalmente conhecimento e por merecer todo meu amor e respeito.

À minha esposa Ana Maria e aos meus filhos Douglas e Tallita pelo apoio e por serem o motivo pela qual dedico meu crescimento profissional e amor a tudo que faço em cada etapa de minha vida.

Aos meus pais pela dedicação e paciência em toda minha vida, sempre me apoiando nos estudos e me conduzir nas conquistas corretas sempre pensando no meu melhor.

## AGRADECIMENTOS

A Deus que com certeza cuida de todos os meus passos e que tem me guiado também durante toda esta jornada.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Bezerra Tomaz, Carlos Alberto Paraguassu Chaves, Pedro Sadi Monteiro, aos Mestres e amigos Airton Leite Costa e Helena Meika, pela dedicação e incentivo na realização deste trabalho, o meu carinho, amizade e admiração.

À FACIMED – Faculdade de Ciências Biomédicas de Cacoal-RO por disponibilizar suas instalações para as análises físico-químicas realizadas em todas as etapas para a concretização desta conquista.

Ao Prof. Dr. Luiz Alberto Simeoni na orientação e aconselhamentos durante todo o processo de elaboração desta dissertação de mestrado e também pela sua excelência em transmitir seus conhecimentos para melhoria do meu aprendizado.

À Prof<sup>a</sup>. Dra. Dâmaris Silveira por fazer parte da minha evolução no aprendizado, pelas sugestões e dedicado um pouco de tempo pra me ouvir.

E a todos aqueles que direta ou indiretamente participaram e colaboraram para a realização deste trabalho.

**EPÍGRAFE**

*"[...] nada é fixo para aquele que alternadamente pensa e sonha [...]"*

Gaston Bachelard

## RESUMO

Nos sistemas de abastecimento de água potável é comum o uso do cloro e de seus derivados. O poder de oxidação do cloro livre sobre bactérias reduz e protege a água contra as proliferações de microorganismos. A mesorregião leste do estado de Rondônia, composta pelos municípios Cacoal, Ji-Paraná, Espigão d'Oeste, Pimenta Bueno, Rolim de Moura, Alta Floresta d'Oeste, Ministro Andreazza e Presidente Médici que fizeram parte do estudo desta dissertação, é caracterizada pela presença de rios que servem como captação de água a ser tratada e fornecida à população. Devido a vários estudos realizados com relação à presença de contaminantes químicos formados após a cloração da água, principalmente a formação de trialometanos, estudos estes que procuram correlacionar a possibilidade destes compostos serem carcinogênicos e mutagênicos, neste trabalho foram analisados os níveis de trialometanos formados nas estações de tratamento de água. As amostras foram coletadas em épocas sazonais e os resultados demonstraram a existência de pontos críticos quanto à formação de trialometanos, dentre eles alguns possíveis motivos são: em Ji-Paraná a água bruta contendo contaminação de trialometanos, principalmente diclorometano, e também a disposição dos equipamentos, provocando um maior contato do cloro livre com substâncias orgânicas. Em Alta Floresta d'Oeste a precariedade nos decantadores e filtros que não condiz com a vazão de tratamento. De acordo com este estudo em épocas chuvosas há diminuição dos níveis de trialometanos, diferentes dos apresentados em estudos em outras localidades. Há a possibilidade das características do solo na região de estudo influenciar e fazer com que haja diluição do leito conforme dados físico-químicos apresentados. Também não é descartado o alto índice de partículas sólidas, produtos de combustão de matas na região durante o período de estiagem. A absorção de substâncias particuladas pode influenciar nos níveis de formação de subprodutos de cloração, além do alto índice de CO<sub>2</sub> presente na atmosfera. Nas demais estações de tratamento de água, há formação de trialometanos, mas nos níveis abaixo dos especificados pela Portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. Não há relato de estudos realizados quanto aos níveis de trialometanos nas águas de abastecimento público no Estado de Rondônia. É importante um acompanhamento periódico quanto à formação dos produtos e um estudo mais aprofundado de adequação de tempo de exposição com cloro livre para minimizar ainda mais os níveis formados de trialometanos. Importante também um monitoramento nas águas dos rios que já possuem formação ou apresentam uma certa quantidade de trialometanos, que podem ser resíduos industriais. A saúde pública é uma prioridade e a água contendo trialometanos pode estar correlacionada com doenças carcinogênicas e mutagênicas.

**Palavras-chave:** trialometanos, clorofórmio, substância carcinogênica e mutagênica, Estação de Tratamento de Água, desinfecção.



## ABSTRACT

In the water supplies of drinking water is the common use of chlorine and its derivatives. The powers of oxidation of free chlorine on reducing bacteria and protect the water against the proliferations of microorganisms. The mesoregion eastern state of Rondonia, made by municipalities Cacoal, Ji-Parana, Espigão d'Oeste, Pimenta Bueno, Rolim de Moura, Alta Floresta d'Oeste, Ministro Andreazza and Presidente Medici that were part of the study of this dissertation, is characterized by the presence of rivers that serve as abstraction of water to be treated and supplied to the population. Due to various studies with respect to the presence of chemical contaminants formed after the chlorination of water, mainly the formation of trihalomethanes, these studies seeking to correlate the possibility of these compounds are carcinogenic and mutagenic, in this study were analyzed the levels of trihalomethanes formed at stations water treatment plants. The samples were collected in times seasonal and the results demonstrated the existence of hot spots on the formation of trihalomethanes, including some possible reasons are: Ji-Parana in the contamination of raw water containing trihalomethanes, especially dichloromethane, and also the provision of equipment, causing a greater contact of free chlorine with organic substances. In Alta Floresta d'Oeste in the precarious decanters and filters that is not compliant with the flow of treatment. According to this study in rainy seasons are decreased levels of trihalomethanes, different from those presented in studies in other locations. There is the possibility of soil characteristics in the region of study and influence to make dilution of the bed as physical-chemical data submitted. It is not discarded the high rate of solid particles, products of burning of forests in the region during the drought. The absorption of particulate substances can influence the levels of training for byproducts of chlorination, in addition to this high rate of CO<sub>2</sub> in the atmosphere. In other water treatment plants, there is formation of trihalomethanes, but at levels below those specified by the Ordinance 518/2004 of the Ministério da Saúde. There is no report of studies about the levels of trihalomethanes in public water supply in the state of Rondônia. It is important periodic monitoring on the training of products and further study of adequacy of time of exposure with free chlorine to minimize further the levels of trihalomethanes formed. Important also a tracking in the waters of rivers that already have training or have a certain amount of trihalomethanes, which can be industrial waste. Public health is a priority and water containing trihalomethanes can be correlated with disease carcinogenic and mutagenic.

**Keywords:** Trihalomethanes, Chloroform, Carcinogenic and Mutagenic, Station of Water Treatment, Disinfection.

### LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Taxa de mortalidade por febre tifóide nos Estados Unidos no período de 1900 a 2000.....	08
<b>Figura 2:</b>	Análises de trihalometanos totais (TAM) ao longo dos pontos de amostragem na estação de tratamento de água.....	22
<b>Figura 3:</b>	Estrutura de alguns compostos orgânicos presentes nas águas .....	26
<b>Figura 4:</b>	Estação de tratamento de água convencional. Fonte: Copasa.....	29
<b>Figura 5:</b>	Mesorregião Leste Rondoniense. ....	42
<b>Figura 6:</b>	Microrregião de Cacoal - Leste Rondoniense .....	44
<b>Figura 7:</b>	Microrregião de J-Paraná – Leste Rondoniense .....	44
<b>Figura 8:</b>	Microrregião de Vilhena – Leste Rondoniense .....	44

### LISTA DE FOTOS

<b>Foto 1:</b>	Recipientes de 20 mL contendo tiosulfato de sódio para coleta de amostras de água para análise de THMs.....	104
<b>Foto 2:</b>	Garrafa de Van Dorn de 2 litros de capacidade para coleta de água nas estações de tratamento.....	104
<b>Foto 3:</b>	Preparação de equipamento (garrafa de Van Dorn) para coleta de água.....	105
<b>Foto 4:</b>	Água bruta e adição de coagulante.....	105
<b>Foto 5:</b>	Sistema de floculação e cloração.....	106
<b>Foto 6:</b>	Recepção de água bruta .....	106
<b>Foto 7:</b>	Sistema de coagulação .....	107
<b>Foto 8:</b>	Adição de agentes de coagulação.....	107
<b>Foto 9:</b>	Recepção de água bruta.....	108
<b>Foto 10:</b>	Adição de agentes coagulantes .....	108
<b>Foto 11:</b>	Sistema de Filtração.....	109
<b>Foto 12:</b>	Coleta de água bruta .....	109
<b>Foto 13:</b>	Adição de coagulante.....	110
<b>Foto 14:</b>	Sistema de Filtração .....	110
<b>Foto 15:</b>	Reservatório de água tratada-.....	111
<b>Foto 16:</b>	Coleta de água clorada.....	111

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b>	Fórmulas químicas e denominações dos trialometanos.....	3
<b>Tabela 2:</b>	Principais subprodutos decorrentes da cloração da água.....	13
<b>Tabela 3:</b>	Limites máximos permitidos de trialometanos em águas de abastecimento público.....	20
<b>Tabela 4:</b>	Trialometanos presentes nas águas de consumo público em $\mu$ g/L em Barcelona, 1998.....	21
<b>Tabela 5:</b>	Concentrações médias de trialometanos totais ( $\mu$ g/L) durante os períodos de chuva e seca para as redes de distribuição do Estado de Carabobo, Venezuela. ....	22
<b>Tabela 6:</b>	Parâmetros físico-químicos de água tratada com cloro e não tratada. ....	23
<b>Tabela 7:</b>	Produtos de desinfecção detectados nas águas de abastecimento público. Resultados obtidos de National Toxicology Program (NTP). ....	36
<b>Tabela 8:</b>	Informações sobre a rede de distribuição de água tratada.....	43
<b>Tabela 9:</b>	Resultados de medidas de temperatura e Potencial Hidrogeniônico (pH).....	85
<b>Tabela 10:</b>	Análise medidas de temperatura e pH, separados por ponto de amostragem.....	86
<b>Tabela 11:</b>	Resultados de medidas de condutividade e turbidez.....	87
<b>Tabela 12:</b>	Resultados de medidas de condutividade e turbidez, separados por ponto de amostragem.....	88
<b>Tabela 13:</b>	Resultados de medidas de cor (transmitância) e alcalinidade sódica.....	89
<b>Tabela 14:</b>	Resultados de medidas de cor e alcalinidade total, separado por ponto de amostragem.....	90
<b>Tabela 15:</b>	Resultados de medidas de alcalinidade sódica e bicarbonatos, separados por ponto de amostragem.....	91
<b>Tabela 16:</b>	Resultados de medidas de alcalinidade sódica e bicarbonato, separados por ponto de amostragem.....	92

<b>Tabela 17:</b>	Resultados de medidas de dureza total e dureza cálcica, separados por ponto de amostragem.....	93
<b>Tabela 18:</b>	Resultados de medidas de dureza total e dureza cálcica, separados por ponto de amostragem.....	94
<b>Tabela 19:</b>	Resultados de medidas de cálcio e magnésio, separados por ponto de amostragem.....	95
<b>Tabela 20:</b>	Resultados de medidas de cálcio e magnésio separados por ponto de amostragem.....	96
<b>Tabela 21:</b>	Resultados de medidas de cálcio e magnésio separados por ponto de amostragem.....	97
<b>Tabela 22:</b>	Resultados de medidas de cloretos e CO <sub>2</sub> , separados por ponto de amostragem.....	98
<b>Tabela 23:</b>	Resultados de medidas de CO <sub>2</sub> total e cloro livre, separado por ponto de amostragem.....	99
<b>Tabela 24:</b>	Resultados de medidas de CO <sub>2</sub> total e cloro livre, separado por ponto de amostragem.....	100
<b>Tabela 25:</b>	Resultados de medidas de trialometanos total e absorbância, separados por ponto de amostragem.....	101
<b>Tabela 26:</b>	Resultados de medidas de Trialometanos total e absorbância, separados por ponto de amostragem.....	102

### LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1:</b>	Estruturas químicas dos principais compostos clorados.....	24
<b>Quadro 2:</b>	Avaliação da estabilidade dos derivados clorados de origem inorgânica (cloro gás, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio) e de origem orgânica (dicloroisocianurato de sódio)...	25
<b>Quadro 3:</b>	Eficiência de cada agente de desinfecção quando há presença de matéria orgânica na água.....	26

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b>	Variação de pH durante o período de estiagem em todas as estações e tratamento de água (ETA).....	53
<b>Gráfico 2:</b>	Variação de pH durante o período chuvoso em todas as ETA.....	53
<b>Gráfico 3:</b>	Variação de pH comparativo entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA na água bruta.....	54
<b>Gráfico 4:</b>	Variação de pH comparativo entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água clorada.....	54
<b>Gráfico 5:</b>	Variação de pH comparativo entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água tratada.....	55
<b>Gráfico 6:</b>	Variação de pH comparativo entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água de distribuição.	55
<b>Gráfico 7:</b>	Variação de condutividades comparativa entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água bruta	56
<b>Gráfico 8:</b>	Variação de condutividades comparativa entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água clorada.....	57
<b>Gráfico 9:</b>	Variação de condutividades comparativa entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água clorada.....	57
<b>Gráfico 10:</b>	Variação de condutividades comparativa entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água de distribuição.....	58
<b>Gráfico 11:</b>	Variação de cloretos comparativa entre período de estiagem em todas as ETA.....	59
<b>Gráfico 12:</b>	Variação de cloretos comparativa entre período chuvoso em todas as ETA.....	59
<b>Gráfico 13:</b>	Variação de cloretos comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas brutas.....	60
<b>Gráfico 14:</b>	Variação de cloretos comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas cloradas.....	60

<b>Gráfico 15:</b>	Variação de cloretos comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas tratadas.....	61
<b>Gráfico 16:</b>	Variação de cloretos comparativa entre período de estiagem e chuvoso nas ETA1 e ETA2 nas águas de distribuição.....	61
<b>Gráfico 17:</b>	Variação de TAM comparativo entre período de estiagem em todas ETA nas águas.....	62
<b>Gráfico 18:</b>	Variação de TAM comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas brutas.....	63
<b>Gráfico 19:</b>	Variação de TAM comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas brutas.....	64
<b>Gráfico 20:</b>	Variação de absorbância comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas brutas.....	64
<b>Gráfico 21:</b>	Variação de turbidez comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas brutas.....	65
<b>Gráfico 22:</b>	Variação de TAM comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas cloradas.....	65
<b>Gráfico 23:</b>	Variação de absorbância comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas cloradas.....	66
<b>Gráfico 24:</b>	Variação de turbidez comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas cloradas.....	67
<b>Gráfico 25:</b>	Variação de TAM comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas tratadas.....	67
<b>Gráfico 26:</b>	Variação de absorbância comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas tratadas.....	68
<b>Gráfico 27:</b>	Variação de turbidez comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas tratadas.....	68
<b>Gráfico 28:</b>	Variação de TAM comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas distribuição.....	69
<b>Gráfico 29:</b>	Variação de absorbância comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas distribuição..	70
<b>Gráfico 30:</b>	Variação de turbidez comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas distribuição.....	70

**LISTA DE ABREVIATURAS E ACRÔNIMOS**

<b>BDM</b>	-	Bromodiclorometano
<b>CG-EM-</b>		Cromatógrafo gasoso
<b>COT</b>	-	Carbono orgânico total
<b>EPA</b>	-	<i>Agency Protection Environmental</i>
<b>ETA</b>	-	Estação de tratamento de água
<b>ETA1</b>	-	Estação de tratamento de água de Cacoal
<b>ETA2</b>	-	Estação de tratamento de água de Ji-Paraná
<b>ETA3</b>	-	Estação de tratamento de água de Rolim de Moura
<b>ETA4</b>	-	Estação de tratamento de água de Ministro Andreazza
<b>ETA5</b>	-	Estação de tratamento de água de Pimenta Bueno
<b>ETA6</b>	-	Estação de tratamento de água de Alta Floresta d'Oeste
<b>ETA7</b>	-	Estação de tratamento de água de Espigão d'Oeste
<b>ETA8</b>	-	Estação de tratamento de água de Presidente Médici
<b>IARC</b>	-	Instituto americano de pesquisa sobre o câncer
<b>IARC</b>	-	<i>International Agency for Research on Câncer</i>
<b>OMS</b>	-	Organização Mundial da Saúde
<b>PEC</b>	-	Produtos extracelulares
<b>SGA</b>	-	Idade do gestacional
<b>TAM</b>	-	Trihalometanos
<b>TAMT</b>	-	Trihalometanos totais
<b>TBM</b>	-	Tribromometano
<b>TCE</b>	-	Tricloroetileno
<b>TCM</b>	-	Triclorometano
<b>US</b>	-	ultra-som
<b>USEPA</b>	-	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
<b>UV</b>	-	Ultravioleta

**FÓRMULAS QUÍMICAS**

<b>CHBr<sub>2</sub>Cl</b>	-	Dibromoclorometano
<b>CHBr<sub>3</sub></b>	-	Tribromometano (Bromofórmio)
<b>CHBrCl<sub>2</sub></b>	-	Bromodiclorometano
<b>CHCl<sub>3</sub></b>	-	Triclorometano (clorofórmio)
<b>CHI<sub>2</sub>Cl</b>	-	Diiododiclorometano
<b>CHI<sub>3</sub></b>	-	Triiodometano (Iodofórmio)
<b>CHCl<sub>2</sub>I</b>	-	Iododiclorometano



## SUMÁRIO

Introdução.....	01
Justificativa.....	05
Objetivo geral.....	06
Objetivos específicos .....	07
Capítulo 1 - Revisão de literatura.....	08
1.1 - Doenças infecciosas relacionadas à água.....	10
1.2 - Contaminação por metais.....	11
1.3 – Contaminação por halogênio.....	11
1.4 - Cloro.....	12
1.5 - Processos de purificação e desinfecção da água.....	28
1.5.1 - Desinfecção.....	29
1.5.2 - Princípios de cloração de água.....	31
1.5.3 - Controle dos trihalometanos.....	32
1.5.4 – Redução da concentração de precursores.....	33
1.6 - Processos alternativos de desinfecção.....	34
1.6.1 - Remoção e análise dos trihalometanos.....	39
Capítulo 2 - Materiais e Métodos.....	41
2.1 - Caracterização do universo de estudo .....	41
2.2 – Delimitação da região de estudo .....	43
2.2.1 – Municípios.....	43
2.3 – Coleta e processamento de dados.....	46
2.3.1 – Coleta de águas.....	46
2.3.2 – Processamento de exames laboratoriais de água..	47
2.3.3 – Análise dos dados .....	48
2.4 – Caracterização das estações de tratamento de água (ETA).....	48
Capítulo 3 - Resultados e discussões.....	51
Capítulo 4 - Conclusão, considerações finais e sugestões.....	71
4.1 – Conclusão .....	71
4.2 – Considerações finais e sugestões .....	71
4.3 – Perspectivas de estudos posteriores .....	72
Referências Bibliográficas.....	73
Anexo A - Tabelas de resultados das análises .....	81
Anexo B - Fotos coleta de amostras e ETA .....	100
Anexo C - Comitê de ética .....	109

## INTRODUÇÃO

A prática de cloração da água é um dos avanços mais significativos da saúde pública. As doenças transmitidas por meio hídrico continuam sendo um desafio aos órgãos de saúde pública. Diversos são os estudos de processos que atuam na descontaminação de água, desde compostos quimicamente ativos até processos físicos capazes de reduzir o avanço de contaminantes microbiológicos patogênicos e químicos presentes nas águas.

Substância imprescindível para o ser humano, a água potável é uma prioridade em todas as comunidades. Os processos de tratamentos de depuração química e purificação garantem a qualidade da água, diretamente ligada à saúde humana, pois pode carrear contaminante microbiológicos e químicos presentes quer antes do tratamento, quer depois, caso específico dos contaminantes químicos<sup>1</sup>. Dessa forma deve ser monitorada constante e rigorosamente.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) e seus países membros, enfatizam que “todas as pessoas, em quaisquer estágios de desenvolvimento e condições sócio-econômicos têm o direito de ter acesso a um suprimento adequado de água potável e segura”<sup>1</sup>.

Neste contexto, a expressão “segura” refere-se a uma oferta de água que não representa um risco significativo à saúde, em quantidade suficiente para atender às necessidades domésticas, que está disponível continuamente com total cobertura e que tenha um custo acessível. Estas condições podem ser resumidas em cinco palavras-chave: qualidade, quantidade, continuidade, cobertura e custo.<sup>2</sup>

O principal objetivo é melhorar a saúde pública, sendo assim, é de vital importância considerar tais condições como um todo no momento de se definir e manter programas de qualidade e abastecimento de água. Mesmo assim, é prioridade providenciar e garantir o acesso de toda a população a alguma forma de suprimento de água.<sup>2</sup>

A contaminação da água é classificada em dois tipos: a microbiológica e a química. As causas de doenças caracterizadas pela presença de contaminantes microbiológicos são adversas, com efeitos agudos. Como exemplos podem ser citados: malária, tifo, cólera, infecções intestinais e muitas outras doenças diretamente relacionadas com a qualidade da água.

Há muito tempo o ser humano vem sofrendo o ataque de epidemias causadas pelos agentes patogênicos contidos nas águas. Atualmente a adoção de técnicas de depuração química e física da água para abastecimento às populações, neutralizou os focos reduzindo a mortalidade, principalmente infantil.

A contaminação química pode ser oriunda de efluentes industriais, compostos químicos de uso agrícola, efluentes domésticos e outros que atinjam o solo a cada ano e, conseqüentemente a água. Uma vez em contato com o solo sofrem transformações físicas e químicas podendo aumentar ou não a toxicidade ao ser humano e a outros organismos vivos. Diferente da contaminação biológica, a contaminação química usualmente produz efeitos crônicos tais como câncer, efeitos neurológicos e alterações ligadas à reprodução.<sup>2</sup>

O monitoramento e controle de todos os fatores de risco são imprescindíveis, uma vez que a saúde humana exige água potável, ou seja, água tratada a fim de evitar contaminações que podem causar mortalidade e outras doenças epidemiológicas.

Como um dos processos eficazes, muito utilizado em quase todos os sistemas de tratamento de água para abastecimento público, bem como nas indústrias alimentícias, a utilização do cloro vem sendo muito estudada pelo fato deste composto formar, por reações secundárias, compostos carcinogênicos<sup>3</sup>, dos quais os mais importantes são os trialometanos (TAM).<sup>4</sup>

Trialometanos são formados principalmente na água potável, como produtos resultantes da reação entre substâncias químicas que são utilizadas no tratamento oxidativo (cloro livre) e matérias orgânicas (ácidos húmicos e fúlvicos) naturalmente presentes na água<sup>5-8</sup>. Sua formação está, portanto, relacionada ao uso do cloro. Os ácidos húmicos e fúlvicos, também denominados de precursores dos TAM, são resultantes da decomposição do material vegetal. A maioria destes ácidos contém grupos carbonila que podem produzir halofórmios após a reação com o cloro.<sup>6,9</sup>

Os TAM são compostos de carbono simples, ligados a halogênios e que possuem a fórmula geral  $CHX_3$ , onde X pode ser cloro, bromo, possivelmente iodo, ou combinações a partir dos mesmos, como mostra a **Tabela 1**.

Assim, os TAM resultam de uma reação que pode ser esquematizada da seguinte forma:<sup>5</sup>

Espécies halogenadas + Cloro livre. Precursores  $\Rightarrow$  Trialometanos + Subprodutos

**Tabela 1:** Fórmulas químicas e denominações dos trialometanos

Fórmula química	Denominações
$\text{CHCl}_3$	Triclorometano (clorofórmio)
$\text{CHBrCl}_2$	Bromodiclorometano
$\text{CBr}_2\text{Cl}$	Dibromoclorometano
$\text{CHBr}_3$	Tribromometano (Bromofórmio)
$\text{CHCl}_2\text{I}$	Dicloriodometano
$\text{CHClBrI}$	Bromocloriodometano
$\text{CClI}_2$	Clorodiodometano
$\text{CHBr}_2\text{I}$	Dibromiodometano
$\text{CHBrI}_2$	Bromodiodometano
$\text{CHI}_3$	Triiodometano (iodofórmio)

Fonte: Tominaga Y.M. et al.<sup>5</sup>

Vários fatores como a temperatura ambiente, pH do meio, concentração e tipo de substância capaz de liberar cloro livre em meio aquoso, características dos precursores e outros podem influenciar esta reação.<sup>5</sup>

Usualmente os TAM encontrados na água de abastecimento cloradas são as espécies cloradas e bromadas (**Tabela 1**). São predominantes os compostos triclorometano (TCM) de fórmula química  $\text{CHCl}_3$ , e bromodiclorometano (BDM) de fórmula química  $\text{CHBrCl}_2$ ; os compostos dibromoclorometano (DCM) de fórmula química  $\text{CBr}_2\text{Cl}$  e tribromometano (TBM) de fórmula química  $\text{CHBr}_3$  são freqüentemente encontrados; os compostos dicloriodometano (DIM) de fórmula química  $\text{CHCl}_2\text{I}$  e bromocloriodometano (BCIM) de fórmula química  $\text{CHClBrI}$  já foram detectados mas são menos comuns. Os demais raramente são encontrados. Portanto, quando se faz referência aos TAM, na realidade estão sendo mencionados apenas os quatro primeiros compostos.<sup>5</sup> Dentre todos os trialometanos o mais facilmente detectável é o  $\text{CHCl}_3$ .<sup>10-12</sup>

As variáveis que influenciam a reação de formação dos TAM são:<sup>5</sup>

**Tempo de contato** - Em relação ao tempo, a formação de TAM em condições naturais não é instantânea. Em princípio, quanto maior o tempo de contato entre o cloro e os precursores, maior será a probabilidade de formação dos TAM.<sup>5</sup>

**Temperatura** - O aumento na temperatura significa um aumento na probabilidade de formação dos TAM<sup>5</sup>.

**pH** - A formação dos TAM aumenta com a elevação do pH, pela sua ação catalítica sobre o halofórmio<sup>5</sup>.

**Concentração de brometo e iodeto-** Os brometos e iodetos, na presença de cloro livre em meio aquoso, são oxidados a espécies capazes de participar da reação de substituição orgânica, resultando na formação de TAM puro ou misturado (um ou mais de um dos compostos)<sup>13</sup>.

**Características e concentrações dos precursores** - Quanto maior a concentração de ácidos húmicos e fúlvicos, maior será a formação de TAM<sup>5</sup>.

**Concentração de cloro** - Quanto maior a concentração de cloro, maior será a probabilidade de formação de TAM. A forma sob a qual o cloro se apresenta também é importante; o cloro livre tem maior poder de formação de TAM do que o cloro combinado<sup>5</sup>.

## JUSTIFICATIVA

Antes do desenvolvimento da teoria dos microorganismos como causadores de doenças, acreditava-se que estas eram transmitidas por meio de odores. A desinfecção, tanto da água de abastecimento como o de esgotos, surgiu como uma tentativa de eliminação desses odores. Existem muitos agentes desinfetantes, mas, em geral, o cloro é o principal produto utilizado na desinfecção de águas de abastecimento. A presença de compostos orgânicos em águas que sofrem o processo de cloração resulta na formação de TAM.

Este trabalho visou principalmente à realização de análises em vários sistemas de abastecimento público de água na mesorregião leste do Estado de Rondônia, como forma de avaliar o nível de concentração de TAM formados através do uso do cloro no tratamento da água. Os benefícios esperados deste trabalho são apresentar dados para uma possível melhoria no sistema de tratamento com intuito de reduzir a formação de TAM e beneficiar também um estudo mais apurado sobre a possível correlação das substâncias formadas na cloração e câncer.

A importância deste trabalho reside em alertar sobre os índices de TAM na água de abastecimento nos municípios do Estado de Rondônia, caso estes ultrapassem os níveis exigidos pela legislação, e estimular a responsabilidade na melhoria dos métodos de remoção ou prevenção de formação.

**OBJETIVO GERAL**

Conhecer os níveis de concentração de TAM formados nos sistemas de tratamentos das águas de abastecimento público na mesorregião leste do estado de Rondônia.

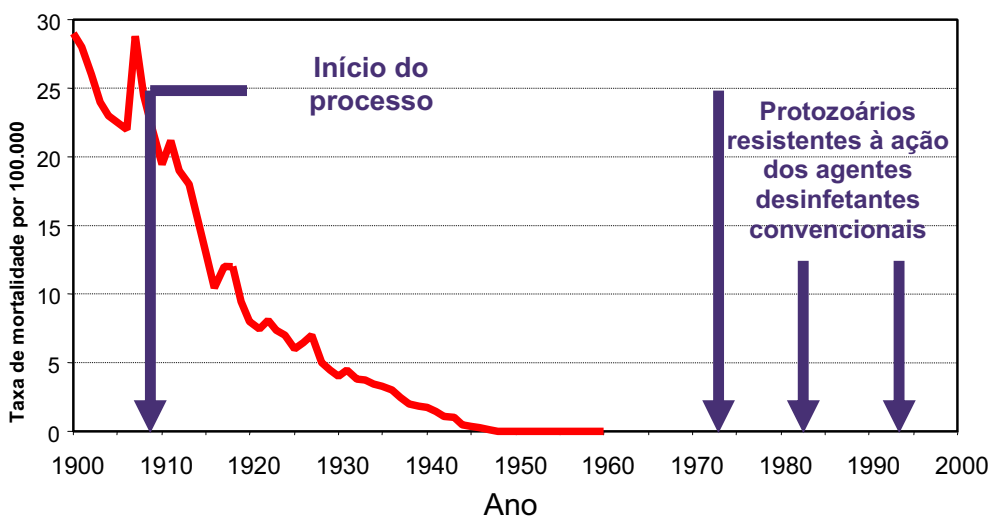
## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Verificar a eficiência do processo de oxidação do sistema de tratamento de água pelo uso de cloro e a formação de trialometanos.
- Descrever os locais onde a incidência de formação de trialometanos é maior e determinar a possível relação com o tipo de tratamento que é realizado.



## CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA

Nos Estados Unidos da América (EUA) a média da mortalidade por febre tifóide no período entre 1880-1889 foi de 58 por 100.000 habitantes. Com a entrada em operação naquele país dos primeiros sistemas de abastecimento de água e a extensão do benefício à comunidade, esta taxa caiu para 32 por 100.000 habitantes em 1900, conforme mostrado na **Figura 1**.<sup>10</sup>



**Figura 1:** Taxa de mortalidade por febre tifóide nos Estados Unidos da América no período de 1900 a 2000, adaptado de *Chlorine Chemistry Council – 12 jun 1997*.<sup>10</sup>

A cloração teve papel importante na proteção da fonte de água na América do Norte e eliminação de doenças infecciosas via hídrica a partir de 1990. Teve início em 1910 na Grã Bretanha, onde sua utilização reduziu as mortes por tifóide. Logo após este sucesso, o emprego da cloração e da filtração da água foram introduzidas nos EUA, resultando na eliminação de doenças tais como a cólera, tifo, disenterias e o hepatite A<sup>10</sup>.

No Brasil a febre tifóide, no município de São Paulo, tinha caráter endêmico até a introdução da cloração nos sistemas de abastecimento de água. Em 1917 na maior tragédia urbana ocorrida na sua história, Curitiba sofreu com a epidemia do tifo causada por agentes causadores da doença na rede de distribuição de água, tragédia essa que poderia ser evitada caso o uso do cloro na desinfecção de água já tivesse sido implantado<sup>14</sup>.

Uma evidência da ação positiva dos sistemas de abastecimento público de água tratada é a redução da mortalidade infantil no Estado do Paraná, a qual diminuiu na mesma proporção em que estes serviços expandiram-se. Em 1979, a

mortalidade infantil era de 56 em 1000 em crianças com menos de 1 ano de idade. Em 1990 caiu para 34, e em 1999 (último ano informado pela Secretaria da Saúde) o índice era 19,51 em 1.000. Se considerarmos os indicadores de "Mortalidade por Doenças Transmissíveis" estes números no Paraná ficam muito mais evidenciados: em 1979 eram de 62,13 mortes por doenças transmissíveis em 100.000 habitantes e em 1999 reduziu para 22,28 mortes<sup>14</sup>.

Existe uma grande variedade de processos de tratamento para garantir a segurança do abastecimento de água. O desafio é selecionar o sistema apropriado para cada situação particular. Os processos mais baratos e que requerem menos tecnologia são os métodos simples, como fervura da água, filtração com areia, exposição da água ao sol e adição de água sanitária doméstica à água. Além disso, há a utilização de raio ultravioleta ou a utilização de reagentes oxidantes. Os reagentes mais comuns são o cloro gasoso e seus derivados e o ozônio junto com o dióxido de cloro.

A desinfecção da água é um tratamento prioritário que, em termos de custo-benefício é rentável: a proporção do custo da desinfecção no orçamento global da operação da rede é pequena e situa-se entre 1% e 3%, nunca mais de 10%.

Atualmente a desinfecção é considerada essencial para garantir a qualidade sanitária da água distribuída à população.

Toda desinfecção deve ser controlada por análises bacteriológicas e, para uma ação operacional mais rápida, também por meio da determinação do teor de cloro residual. Para garantia da desinfecção e como prevenção a futuras contaminações deve ser mantido um residual de cloro em qualquer ponto de rede de distribuição (a Portaria 36/90 do Ministério da Saúde recomenda concentração mínima de 0,2 mg/L de cloro livre). O cloro não só é um agente desinfetante eficaz, mas possui também uma ação oxidante comprovada. Sendo assim, é empregado no tratamento da água também para outros fins como: oxidação de ferro e manganês, remoção de ácido sulfídrico, controle de odor, cor, sabor e remoção de algas<sup>5</sup>. São várias as teorias formuladas quanto ao mecanismo de desinfecção. Uma das mais difundidas se refere à reação do ácido hipocloroso em um sistema enzimático (possivelmente sobre triosefosfato dihidrogenase) que é essencial na oxidação da glucose e, portanto, inibe o metabolismo celular bacteriano<sup>2</sup>.

### 1.1 - Doenças infecciosas relacionadas à qualidade da água

Dados epidemiológicos da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS) mostram que<sup>2</sup>:

\* A cada oito segundos, uma criança morre devido a uma doença relacionada à água<sup>2</sup>.

\* A cada ano, mais de cinco milhões de seres humanos morrem de alguma doença associada à água não potável, ambiente doméstico sem higiene e falta de sistemas para eliminação de esgoto<sup>2</sup>.

\* Estima-se que, a qualquer momento do dia, metade de toda a população nos países em desenvolvimento esteja sofrendo de uma ou mais entre as seis principais doenças associadas ao abastecimento de água e saneamento (diarréia, ascari, dracunculíase, esquistossomose, ancilostomíase e tracomas)<sup>2</sup>.

\* Nos países da América Latina e Caribe, existem 168 milhões de pessoas sem abastecimento de água e as enfermidades de origem hídrica aparecem entre as três principais causas de morte na região. A epidemia mais significativa dos últimos anos, nesta área, foi a da cólera, originada em 1991, no Peru e que se estendeu por 21 países da região, com mais de 1.200.000 de casos registrados até 1997<sup>2</sup>.

Ainda segundo a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS)<sup>2</sup> a água microbiologicamente contaminada pode transmitir grande variedade de doenças infecciosas, de diversas maneiras:

1) Diretamente pela água (*water-borne diseases*): provocadas pela ingestão de água contaminada com urina ou fezes, humanas ou animais, contendo bactérias ou vírus patogênicos. Incluem cólera, febre tifóide, amebíase, leptospirose, giardiase, hepatite infecciosa e diarreias agudas<sup>2</sup>.

2) Causadas pela falta de limpeza e de higiene com água (*water-washed diseases*): provocadas por má higiene pessoal ou contato de água contaminada na pele ou nos olhos. Incluem escabiose, pediculose (piolho), tracoma, conjuntivite bacteriana aguda, salmonelose, tricuriase, enterobiase, ancilostomíases, ascaridiase<sup>2</sup>.

3) Causadas por parasitas encontrados em organismos que vivem na água ou por insetos vetores com ciclo de vida na água (*water-based and water-related diseases*). Incluem esquistossomose, dengue, malária, febre amarela, filarioses e oncocercoses. Os números mostram a gravidade do problema<sup>2</sup>:

Na América Latina e Caribe, as enfermidades de maior incidência relacionadas com a qualidade da água, além da cólera, são:

\* Diarréias em crianças, responsáveis por 80 mil mortes e uma média de 3 casos diarréicos por ano<sup>2</sup>.

\* Hepatite vírica, cuja incidência se encontra entre 24 e 29 casos por 100.000 habitantes nos países da América do Sul<sup>2</sup>.

\* Amebíase e febre tifóide que são endêmicas em muitos países<sup>2</sup>.

\* *Entamoeba histolytica*, identificada como a causa de algumas epidemias resultantes da contaminação do abastecimento de água por águas residuárias. Na América Latina e Caribe apenas 10% das águas residuárias recebem algum tipo de tratamento, em geral, inapropriado<sup>2</sup>.

Foi observado que *Helicobacter pylori*, um agente que causa gastrites crônicas e possivelmente úlcera duodenal, é menos susceptível a ação de certos desinfetantes que *Escherichia coli*. Por sua vez, *H. pylori* é mais resistente do que *E. coli* ao cloro e ao ozônio, mas não a monoclорamina. Pode tolerar desinfetantes em sistemas de distribuição e pode, conseqüentemente, ser transmitida por uma rota de distribuição de água.<sup>15</sup>

### **1.2 - Contaminação por metais.**

Os casos mais comuns de contaminação da água por metais ocorrem com arsênio, chumbo, cádmio e mercúrio. Um dos episódios mais conhecidos foi a contaminação, por mercúrio, das águas e dos peixes da Baía de Minamata, no Japão, entre 1956 e 1967, que afetou mais de 20 mil pessoas e provocou 1004 mortes. O metal era descarregado na água por uma fábrica que produzia aldeído acético.<sup>2</sup>

### **1.3 – Contaminação por halogênio.**

Segundo Geter *et al.* (2004)<sup>16</sup> ratos expostos a altos níveis de TAM, apresentam alterações na estrutura do DNA devido à quebra da cadeia - *stands breaks* (SB) representativa. Entretanto, os estudos não revelaram mudanças na SB do DNA do fígado e do tecido epitelial<sup>16</sup>.

Nos últimos 10 anos, tem sido demonstrado que os contaminantes químicos presentes no ambiente, quando ingeridos por algumas espécies de organismos aquáticos, ligam-se ao DNA destes, podendo resultar em processos de mutagênese, teratogênese e carcinogênese (Kurelec, 1993 apud MONDARDO, 2004)<sup>17</sup>.

**Flúor na água** - A fluoretação da água numa concentração ótima de 1 mg/L é considerada uma maneira segura para fornecer proteção importante contra as cáries dentárias. Contudo, algumas fontes de água contêm concentrações maiores de fluoreto em forma natural e podem ser impróprias como bebida, devido ao risco de fluorose dentária e esquelética. O limite recomendado pela OMS é de 1,5 mg/L.<sup>2</sup>

#### 1.4 – Cloro

O cloro, em forma de cloro gasoso, de hipoclorito de sódio (água de Javel, água sanitária) ou de hipoclorito de cálcio (em pó), é o biocida mais empregado na desinfecção da água. A escolha do produto a ser utilizado ocorre em função de uma série de fatores, como a quantidade necessária do reagente, facilidade da operação, segurança, custo. Após o tratamento, permanece na água certa quantidade de cloro residual, bem como subprodutos da desinfecção. A medida regular do teor de cloro residual permite controlar o funcionamento dos equipamentos e a ausência de contaminação na rede de distribuição de água<sup>2</sup>.

Este cloro, porém, imprime um sabor à água. Por isso, dependendo de cada país e dos hábitos dos consumidores, a “concentração de cloro residual tolerada” pode apresentar grande variação. Na Europa, a maioria dos países limita este conteúdo a um nível muito baixo, da ordem de 0,1mg/L. No continente Americano, onde o sabor do cloro equivale à garantia de uma água de qualidade, o valor passa a 1 mg/L<sup>2</sup>.

A OMS considera que uma concentração de 0,5 mg/L de cloro livre residual na água, depois de um tempo de contato de 30 minutos, garante uma desinfecção satisfatória. Por outro lado, salienta que não é observado qualquer efeito nocivo à saúde no caso de concentrações de cloro livre que cheguem a 5 mg/L. Esta concentração foi considerada como um valor de referência e não um valor a ser alcançado<sup>5</sup>.

Os subprodutos da desinfecção são geralmente denominados trihalometanos (TAM). Nas últimas décadas, alguns estudos evidenciaram correlações estatísticas muito fracas de certos tipos de câncer com estes subprodutos.

A Agência Internacional para Pesquisa sobre Câncer (*International Agency for Research on Cancer- IARC*) avaliou tais estudos e concluiu que não era possível afirmar que o consumo de água clorada provocava câncer no ser humano<sup>2</sup>.

Na Europa, alguns países têm introduzido normas para estas substâncias, cujos valores variam de 25 a 100µg/L para o total de TAM. A OMS também fixou

valores guias para estes sub-produtos nos “Critérios para Qualidade da Água Potável”.<sup>2</sup>

A desinfecção águas de abastecimento público no Brasil, por muitas razões, inclusive as econômicas, ainda é sinônimo de cloração. E os riscos relacionados ao processo de cloração da água estão associados muito mais aos seus subprodutos do que com os agentes utilizados.

Existe, normalmente, grande número de compostos orgânicos na água bruta. Estes podem reagir com o cloro livre levando à formação de diversos subprodutos, entre eles os TAM. Na **Tabela 2** estão agrupadas as principais substâncias halogenadas que têm sido identificadas nas águas potáveis, previamente cloradas.<sup>5</sup>

Processos alternativos de desinfecção da água, que evitam a formação dos TAM, são aqueles que não utilizam cloro livre, tais como: cloraminas (cloro combinado), dióxido de cloro, ozonização e radiação ultravioleta.<sup>17-21</sup> Entretanto, estes podem levar à formação de outros subprodutos, conforme o teor de matéria orgânica presente na água, sendo que seus efeitos sobre a saúde humana ainda não foram completamente avaliados.<sup>22-26</sup>

**Tabela 2:** Principais subprodutos decorrentes da cloração da água.

TRIALOMETANOS	Clorofórmio Bromodiclorometano Dibromoclorometano Bromofórmio
HALETOS DE CIANOGENÍOS	Cloreto de cianogênio Brometo de cianogênio
HALOPICRINAS	Cloropicrina Bromopicrina
HIDRATOS DE CLORAL	MX-[3-cloro-4-(diclorometil)-5-hidróxi-2(5H)-Furanona
ÁCIDOS HALOACÉTICOS	Ácido monocloroacético Ácido dicloroacético Ácido tricloroacético Ácido monobromoacético Ácido dibromoacético Ácidobromocloroacético
HALOACETONITRILAS	Dicloroacetoneitrila Tricloroacetoneitrila Dibromoacetoneitrila Tribromoacetoneitrila Bromocloroacetoneitrila
HALOCETONAS, HALOALDEÍDOS, HALOFENÓIS	

Fonte: Tominaga Y.M et al modificado.<sup>5</sup>

No início da década de 70, descobriu-se que o  $\text{CHCl}_3$  e outros TAM eram produzidos durante a cloração da água.<sup>27-29</sup> Esta informação revestiu-se de grande importância em virtude da conclusão de um bioensaio sobre a carcinogenicidade do clorofórmio realizado pelo "*National Cancer Institute*".<sup>30</sup> O resultado positivo para esse bioensaio levou, rapidamente, à busca de um valor limite de concentração máxima aceitável para esses compostos e, em 1979, a agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency - EPA*)<sup>30</sup> aconselhou que o limite máximo para a soma das concentrações dos TAM (clorofórmio + bromodiclorometano + dibromoclorometano + bromofórmio) deveria ser de 100  $\mu\text{g/L}$  na água para consumo humano.<sup>30-34</sup>

A relação entre o uso de cloro nas estações de tratamento de água, suas reações com os compostos orgânicos presentes e a formação de compostos que poderiam ter efeitos negativos sobre a saúde humana foi estudada pela primeira vez por R. H. Harris, na década de 70<sup>35,36</sup>. A partir de suas indicações pioneiras sobre a possibilidade de existir uma correlação entre águas de abastecimento e câncer, outros pesquisadores passaram a estudar o assunto, como Rook, na Holanda, e Bellar, Litchtemberg e Krones, nos Estados Unidos<sup>36</sup>.

Outros países seguiram os Estados Unidos em relação à legislação, sendo adotados os padrões de 350  $\mu\text{g/L}$ , no Canadá; 25  $\mu\text{g/L}$ , na Alemanha; 75  $\mu\text{g/L}$ , na Holanda e 10  $\mu\text{g/L}$ , na França.<sup>30</sup> A controvérsia que cerca a formação dos TAM é cientificamente complexa e as alterações que estão sendo introduzidas em legislação estão baseadas em dados incompletos.

O aumento da preocupação com os níveis desses compostos presentes na água tem levado a amplas discussões sobre a legislação em inúmeros países<sup>36</sup>.

Os níveis de TAM refletem claramente as práticas adotadas no tratamento e na distribuição da água em países diferentes, além da qualidade das águas brutas (*op. cit*). Na Alemanha, por exemplo, onde são utilizadas águas que possuem níveis de carbono orgânico total reduzidos (2 mg/L) e a dosagem de cloro é limitada a menos de 1 mg/L o nível de TAM são bem mais baixos do que nos Estados Unidos da América, onde os processos de precloração levam a níveis mais altos de TAM na água. No Reino Unido, os níveis consideravelmente elevados de TAM são associados à precloração e à utilização de águas com alto teor de carbono orgânico total (COT)<sup>30</sup>

No Brasil, a partir da promulgação da Portaria Nº 36, de 19/01/90, do Ministério da Saúde<sup>37</sup>, foram estabelecidos novos padrões de potabilidade da água, os quais passaram a vigorar em 23/01/92. Conforme essa legislação, o teor máximo de TAM em água potável foi fixado em 100 µg/L. A portaria federal nº 1469, de 29 de dezembro de 2000, do Ministério da Saúde, aprova a norma de qualidade da água para consumo humano, mostrando os procedimentos e responsabilidades inerentes ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, estabelece padrões de potabilidade da água e dão outras providências.<sup>38</sup>

Segundo Borges e Guimarães (2002)<sup>13</sup>, no estabelecimento de valores de referência para a qualidade de água potável, são utilizados parâmetros do IARC, o qual lista as substâncias químicas de acordo com o seu potencial de carcinogenicidade nas seguintes categorias:

- Grupo 1: O agente é carcinogênico para humanos;
- Grupo 2 A: O agente provavelmente é carcinogênico;
- Grupo 2 B: O agente possivelmente é carcinogênico;
- Grupo 3: O agente não é classificado como carcinogênico;
- Grupo 4: O agente provavelmente não é carcinogênico.

O primeiro pesquisador a levantar o problema de que o cloro utilizado nas ETA, reagindo com compostos orgânicos, poderia ter efeito negativo sobre a saúde humana, foi R. H. Harris, na década de 1970. Ele forneceu indicações pioneiras da possibilidade de correlação entre água de abastecimento e câncer. Harris, em 1974, trabalhou com os dados obtidos da cidade de Nova Orleans - EUA, onde a incidência de óbitos tendo como *causa mortis* o câncer, era uma das mais altas do país.<sup>35</sup>

Vários são os estudos realizados evidenciando a possível relação entre a formação de TAM em água potável tratada com derivados clorados e o câncer. Doyle *et al.* (1997)<sup>39</sup> realizaram estudo utilizando informações do histórico médico, dados antropométricos, e informações a respeito dos fatores de risco de câncer relacionados com a dieta de 836 mulheres de 55 a 69 anos de idade do Estado de Iowa - EUA. Os resultados mostraram um alto índice de câncer de cólon, bexiga e mamas. Tais resultados estão registrados no Instituto Nacional do Câncer do estado de Iowa<sup>39</sup>

Segundo Alegria *et al* (1998), mais de 2000 substâncias químicas de diferentes categorias foram detectadas em águas, das quais mais de 750 em águas



destinadas ao consumo humano. Destas, mais de 600 são micropoluentes orgânicos e muitos deles farmacologicamente ativos, com efeitos carcinogênicos, promotores de carcinogênese ou com ação mutagênica.<sup>36</sup>

Em 2002, pesquisa realizada e publicada pela EWG (*Environmental Working Group*) e pelo U.S. PIRG (*United States Public Interest Research Group*) mostrou que mulheres grávidas expostas a altos níveis de subprodutos da cloração eram mais propensas a abortos ou a gerarem crianças com defeitos congênitos. A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) estimou, em 2003, que os TAM causam mais de 9300 casos de câncer na bexiga por ano.<sup>40</sup>

Alguns estudos mostraram a associação entre a cloração da água e casos de câncer em seres humanos. Salvo (2002)<sup>6</sup> e Mondardo (2004)<sup>17</sup> relataram que desde 1974 nos EUA uma série de estudos descritivo-geográficos e epidemiológico-analíticos (caso-controle) mostraram a relação entre câncer e a qualidade de água potável. Porém, como os estudos diferem entre si na metodologia não são comparados os resultados e possíveis associações de casos de câncer com o consumo de água clorada.

Com respeito aos resultados dos estudos descritivo-geográficos, Wigle apud Esparza<sup>41</sup> relatou uma correlação possível entre agentes poluidores específicos na água potável e os riscos de contrair o câncer. O estudo foi feito no Canadá em municípios com, no mínimo, 10.000 habitantes. Os dados sobre a qualidade da água foram obtidos a partir de três exames nacionais da área urbana do uso da água, e também obtido um relatório do fluoração e a mortalidade por câncer naquele país. Os dados da mortalidade pelo câncer (1973-1979) foram obtidos da Base de Dados de Mortalidade Nacional.

As variáveis consideradas na análise incluíam: fonte de água, concentração do asbesto, carvão orgânico total, TAM com e sem clorofórmio, concentração do cloro, dureza da água, época da residência da população (10 anos no mínimo) e do nível educativo da mesma. As análises múltiplas da regressão linear foram desenvolvidas, sendo freqüentemente uma relação entre os níveis de mortalidade os de baixo nível educativo. Não foi detectada uma associação significativa entre as doses de cloro e a morte por tipos diferentes de câncer.<sup>41</sup>

Há ainda muitas incertezas a respeito do risco dos resultados adversos da gravidez associados com a exposição aos subprodutos de desinfecção da água potável. Em Montreal (Quebec – Canadá) a *Claire Infante-Rivard* (CIR) realizou

estudo de 493 casos da limitação de crescimento intra-uterino definida como o peso do nascimento abaixo de 10% para a idade e o sexo do gestacional, de acordo com padrões canadenses. Os controles eram bebês (n = 472) nascidos no mesmo hospital cujo peso do nascimento estava acima de 10%, combinado para a idade, a raça, e o sexo do gestacional.<sup>9</sup>

A exposição aos TAM totais e específicos foi medida usando os dados regulamentados e coletados. O histórico da gestante, o hábito de beber a água, e os hábitos de banho durante a gravidez foram determinados por meio de entrevista com todas as mães<sup>9</sup>.

A exposição aos TAM específicos e totais da águas potáveis, determinada para os 458 casos não resultou em um risco aumentado da limitação intra-uterina do crescimento.<sup>9</sup> Assim, a exposição aos TAM nos níveis mais elevados pode afetar o crescimento fetal mas somente em recém-nascidos geneticamente susceptíveis.

Segundo Vieira *et al.* (2002), o trihalometano clorofórmio tem alto potencial para causar lesões na membrana plasmática da célula, seja pela formação de poros ou pela ruptura total. O clorofórmio em doses não citotóxicas para linfócitos provoca alterações importantes no DNA. Tais alterações possivelmente poderiam ser transmitidas para a progênia que ao acumular mutações desencadeariam o processo de carcinogênese<sup>10</sup>

Desde a descoberta inicial dos TAM estudos epidemiológicos, particularmente nos EUA, têm sido feitos para avaliar a presença dessas substâncias orgânicas na água e sua correlação com o câncer.<sup>43</sup> Todavia, ainda é relativamente pouco conhecido o real efeito para a saúde humana causado por esses compostos presentes em baixas concentrações (ppb e ppt) na água de consumo humano.

Em estudos caso-controle a relação entre cloração da água e o câncer no cólon, envolvendo 200 casos de câncer no cólon em sete hospitais da Carolina do Norte - EUA, assim como 407 casos de comparação sem evidência de câncer ou história familiar de qualquer desordem crônico-intestinal<sup>41</sup>.

Tanto para casos como para controles, os sujeitos em estudo deveriam residir no Estado, pelo menos durante os últimos dez anos. Os dados dos sujeitos de comparação foram cruzados por idade, raça e gênero. As análises de regressão logística mostraram que o risco de câncer no cólon estava associado com os antecedentes genéticos e com consumo de álcool. Foi encontrada uma associação

entre água clorada e câncer dependente da idade e tempo de exposição. Também foram caracterizados os aspectos físico-químicos da água.<sup>41</sup>

Outro estudo caso-controle foi realizado com 4657 pessoas, entre homens e mulheres de cor branca, de 21 a 84 anos de idade, que consumiam água clorada e não-clorada. No primeiro ano de estudo foram analisados os dados de 1630 pessoas com diagnóstico de câncer na bexiga e as 3027 pessoas restantes sem problemas de câncer. Os investigadores observaram a existência de associação entre o risco de câncer na bexiga e o consumo de água clorada. Não foi determinada a presença de câncer na bexiga em pessoas que consumiam água subterrânea não-clorada. Finalmente, a incidência de câncer na bexiga foi associada com água superficial clorada, apresentando nível de cloro residual e alguns subprodutos de oxidação.<sup>41</sup>

Em resumo, os estudos caso-controle indicam a existência de risco de câncer na bexiga e, em menor grau, a de cólon, associado ao consumo de água clorada. Este risco é maior em pessoas com antecedentes genéticos e maiores de 60 anos de idade.<sup>41</sup>

O interesse nas exposições a contaminadores da água potável e seus efeitos em resultados adversos de nascimentos deu origem a diversos estudos que avaliaram os subprodutos da desinfecção usando derivados clorados e solventes clorados. Alguns destes contaminadores mostraram-se teratogênicos em modelos animais. Bove *et al* (2002)<sup>44</sup>. avaliaram 14 estudos envolvendo subprodutos de desinfecção quando foram utilizados cloros ou derivados clorados e solventes clorados tais como TAM e cinco estudos em solventes clorados tais como o tricloroetileno (TCE), comparando com a idade do gestacional (SGA), o peso baixo do nascimento, o nascimento do prematuro, os defeitos de nascimento, abortos espontâneos, e mortes fetais. Os estudos de TAM e de resultados adversos do nascimento forneceram a evidência moderada da associação com o SGA e os abortos espontâneos.<sup>44</sup>

A Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (US-EPA), em um estudo no qual foram analisadas amostras de água provenientes de 113 estações de tratamento, detectou a presença de 27 compostos orgânicos com probabilidade de serem causadores de doenças (*op. cit*). Nessa relação de compostos, quatro TAM foram considerados muito importantes, porque surgiram com frequência muito grande em todas as pesquisas realizadas nas águas de abastecimento cloradas.

Como consequência deste estudo, a US-EPA propôs, em 1978, o limite máximo permissível de 100 µg/L de TAM para águas de abastecimento.<sup>30</sup>

Embora não existissem provas cabais de que esses compostos pudessem ser nocivos à saúde, o limite foi proposto com objetivos preventivos. Em 1979, o critério adotado de 100 µg/L (média de concentração anual) foi regulamentado, apesar das evidências de carcinogenicidade do clorofórmio terem sido obtidas apenas em estudos com animais (Khordagui et al (1983) apud Meyer<sup>25</sup>). Posteriormente, alguns estudos realizados no Canadá considerando a cloração de água bruta<sup>36</sup> indicaram uma associação entre a dosagem de cloro e o câncer de estômago, e entre a quantidade de carbono orgânico (COT, indicador de TAM) e o câncer do intestino grosso em homens.<sup>25</sup>

Também houve associações positivas entre o clorofórmio na água tratada e o risco de morte por câncer de cólon (homens e mulheres), câncer de estômago, entre dosagem de cloro e câncer retal (homens e mulheres) e câncer de tórax. Para mulheres também houve associação entre dosagem de cloro ou água clorada sujeita a contaminação por substâncias orgânicas e câncer do cólon e cérebro.<sup>25</sup>

O clorofórmio induz ao câncer de fígado, tireóide e rins em ratos e camundongos, mas associações significantes não foram observadas no homem.<sup>25</sup>

Entre todas as descobertas da presença de TAM em águas tratadas com cloro, um estudo realizado pelos EUA em 1974 mostrou pela primeira vez a correlação positiva entre águas de abastecimento público e câncer e a que mais se destaca foi aquela realizada pela US-EPA em 113 ETA. Foram encontrados TAM em todas as ETA que utilizavam derivados clorados nos processos de desinfecção.<sup>45</sup>

Somente anos depois, em 1979, a EPA estabeleceu um limite (100 µg/L) para a presença de TAM em águas de abastecimento público<sup>17,45</sup>. Devido aos inúmeros estudos toxicológicos realizados, a US-EPA em 1998 estabeleceu a concentração máxima de 80 µg/L.<sup>40</sup>

Em junho de 2003 a EPA publicou os parâmetros para água potável, e entre eles os TAM, onde também especificou os possíveis efeitos sobre a saúde por exposição, sendo este limite de 100 µg/L e os riscos de transtornos renais, hepáticos ou do sistema nervoso central e alto risco de câncer.<sup>30</sup>

A agência também determinou parâmetros individuais para alguns TAM como bromodiclorometano (zero µg/L), bromofórmio (zero µg/L), dibromoclorometano (60 µg/L). O clorofórmio foi regulado com este grupo, mas não há parâmetros

individuais. Os ácidos haloacéticos, como o ácido dicloroacético (zero  $\mu\text{g/L}$ ), ácido tricloroacético (300  $\mu\text{g/L}$ ). O ácido monocloroacético e o ácido bromoacético são regulados com este grupo, mas não há parâmetros.<sup>30</sup>

Águas que contêm brometo em concentrações superiores a 50 $\mu\text{g/L}$ , tratadas com cloro na presença de matéria orgânica natural, podem gerar concentrações significativas de formas bromatadas, as quais são consideradas extremamente tóxicas.<sup>17</sup>

Em 1982 estudos mostraram a presença de TAM em refrigerantes, onde a maioria das unidades de fabricação do produto realizava tratamento com aplicação de cloro para desinfecção. Após esta divulgação e da confirmação da correlação entre câncer e TAM,<sup>35,45</sup> alguns países adotaram um valor máximo para TAM em águas de abastecimento público, conforme a **Tabela 3**.

No Brasil o limite é estabelecido pela Portaria nº 36, de 19 de janeiro de 1990, do Ministério da Saúde.<sup>6,17,37,38</sup> Esta legislação ainda ressalta a possibilidade de alterações haja vista a necessidade de rever estudos toxicológicos em andamento. Além desta portaria o processo de desinfecção também é controlado pela portaria 518/2004 do Ministério da Saúde.<sup>46</sup>

**Tabela 3:** Limites máximos permitidos de TAM em águas de abastecimento público em alguns países.

PAÍS	TAM $\mu\text{g/L}$
Canadá	350
Alemanha	25
Holanda	75
França	10

No entanto, a controvérsia que cerca a formação dos TAM é cientificamente complexa, sendo muito difícil de calcular quais as concentrações consideradas seguras. Assim, os limites máximos permitidos, citados na legislação de muitos países, estão sendo baseados em dados incompletos e dentro do possível para cada país, uma vez que o custo necessário para aumentar a eficiência do tratamento na remoção desses compostos e ou de seus precursores é elevado.<sup>5,47</sup>

Além de TAM também são formados outros compostos organoclorados (ácido acético clorado, haloacetoneitrilos, cloropicrina, clorofenóis, cloropropanonas),<sup>45</sup>

também resultantes do processo de desinfecção das águas utilizando compostos derivados do cloro.

Em 1993 a EPA estabeleceu que 30 substâncias químicas produzidas pela utilização do cloro em águas de abastecimento público são consideradas nocivas à saúde, dentre essas os TAM.<sup>45</sup> Estudos realizados por Calderon *et al.*(2002)<sup>48</sup>, demonstraram a presença de TAM em níveis acima do estabelecido na cidade de Barcelona - Espanha. A **Tabela 4** mostra o total de TAM em três locais de abastecimento e tratamento de água.

De acordo com estudos realizados no Estado de Carabobo, Venezuela, foram medidas as concentrações de TAM em dois períodos, em época de chuvas e em época de seca. E na maioria dos pontos coletados foi observado um aumento na concentração de TAM na época de chuvas em virtude do acúmulo de substâncias orgânicas na água<sup>15</sup>. Porém este aumento não foi tão significativo em relação às concentrações.

**Tabela 4.** Trialometanos presentes nas águas de consumo público em  $\mu$  g/L em Barcelona,1998.

Compostos	Liobregat (42 amostras)			Mistura (20 amostras)			Ter (89 amostras)		
	Amplitude	Média	Desvio	Amplitude	Média	Desvio	Amplitude	Média	Desvio
Clorofórmio	3-20	12	5	9-70	25	16	15-84	31	12
Bromodiclorometano	7-35	21	6	5-22	16	4	1-22	12	4
Dibromoclorometano	15-69	36	12	7-37	22	9	0,9-12	5	2
Bromofórmio	28-83	54	15	6-70	24	18	0,2-5	1	1
Total TAM	75-196	123	29	27-159	87	28	21-119	48	16

Fonte: Calderon - adaptado<sup>48</sup>

A **Tabela 5** demonstra os resultados. Na Venezuela o limite máximo permitido para os TAM na água de abastecimento público é de 80  $\mu$  g/L.<sup>15</sup>

Hiriart *et al.*(2005)<sup>12</sup> também realizaram estudos envolvendo épocas de chuva e seca na área metropolitana da Cidade do México – México, onde 70% da água abastece 18 milhões de habitantes e é derivada da bacia do aquífero regional do México. Foram selecionados 30 locais com 1575 poços de extração de água para consumo.<sup>12</sup> Os parâmetros físico-químicos medidos nas duas épocas estão registrados na **Tabela 6** página 40. Os resultados mostraram que a quantidade de TAM é acentuada na época chuvosa sendo maior que 100  $\mu$ g/L.

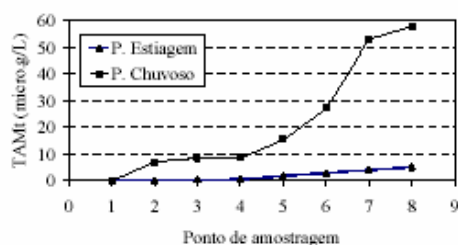
**Tabela 5.** Concentrações medias de TAM totais ( $\mu$  g/L) durante os períodos de chuva e seca para as redes de distribuição do Estado de Carabobo, Venezuela.

Tipos de Sistemas	Tipos de chuvas	Chuvas	Secas	t Student
Sistema regional do centro I	Rede media	53,9	55,3	-0,135
	Rede baixa	86,9	87,0	-0,023
	Rede alta	69,5	79,7	-0,748
	Naguanagua	84,7	61,3	0,833
	San Diego	92,4	89,7	0,429
Sistema regional do centro II	Bairro El Frío	41,7	40,2	0,151
	Entrada Estação de Bombas Guacara	47,3	44,4	0,586
	Saída Estação de Bombas Guacara	64,9	54,2	3,59
	San Joaquín	48,9	56,9	-3,86

Fonte: Sarmiento.<sup>15</sup>

Estudos realizados com outros compostos clorados como as cloraminas orgânicas demonstram a redução bastante significativa de TAM - em uma estação de tratamento de água houve aumento de TAM ao longo do tratamento com produto convencional, como o hipoclorito de sódio, chegando a níveis de 117,52  $\mu$  g/L na ETA e chegando numa média de 220,94  $\mu$  g/L na rede de distribuição<sup>45</sup>.

Há relação entre a matéria orgânica existente na água, também chamada de substâncias húmicas presentes na águas e nas tubulações, e a formação de TAM.<sup>27,49</sup> A **Figura 2** mostra o aumento de TAM durante o processo de tratamento de água em uma ETA, relacionado com dois períodos sazonais, um de estiagem e outro chuvoso. Nota-se o grande aumento de TAM no período chuvoso, período este com maior acúmulo de substâncias húmicas (matéria orgânica) nas águas.



Fonte: Andreola et al.<sup>27</sup>

**Figura 2.** Análises de trihalometanos totais ao longo dos pontos de amostragem na ETA.<sup>27</sup>

**Tabela 6.** Parâmetros físicos-químicos de água tratada com cloro e não tratada.

	Época de estiagem		Época de chuvas		Limite permitido	
	Cl (n=22)	Não Cl (n=30)	Cl (n=20)	Não Cl (n=30)	P <sup>a</sup>	U.S. EPA
<b>pH</b>	<b>7.03 (6.55, 7.35)</b>	<b>6.89 (6.69, 7.15)</b>	<b>6.61 (6.37, 6.95)</b>	<b>6.70 (6.49, 7.05)</b>	<b>NS</b>	<b>6.5–8.5</b>
<b>Oxigênio Dissolvido (mg/L)</b>	<b>3.4 (3, 4.2)</b>	<b>4.1 (3.2, 6.6)</b>	<b>4.2 (3.4, 6.00)</b>	<b>4.8 (3.4, 6)</b>	<b>NS</b>	
<b>Nitratos (mg/L)</b>	<b>2.9 (1.4, 3.7)</b>	<b>8.8 (3.8, 18.4)</b>	<b>5.6 (2.2, 13.8)</b>	<b>8.3 (4.7, 29.4)</b>	<b>0.0001</b>	<b>10</b>
<b>Amônia (mg/L)</b>	<b>0.9 (0.5, 2.0)</b>	<b>2.5 (0.8, 12.1)</b>	<b>5.1 (0.8, 24.3)</b>	<b>4.0 (1.0, 14.0)</b>	<b>0.034</b>	<b>0.50</b>
<b>Cloro residual</b>	<b>0.06 (0.00, 0.23)</b>	<b>0.014(0.006, 0.022)</b>	<b>0.06 (0.02, 0.92)</b>	<b>0.02 (0.01, 0.04)</b>	<b>0.018</b>	<b>0.2–1.5</b>
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>18.1 (16, 20.2)</b>	<b>18.3 (15, 20.2)</b>	<b>19.3 (15.8, 20.9)</b>	<b>17.5 (15.1, 20)</b>	<b>NS</b>	
<b>Condutividade (µ S/cm)</b>	<b>429 (376, 616)</b>	<b>491.5 (325, 769)</b>	<b>445.5 (317.5, 655)</b>	<b>456.5 (333, 774)</b>	<b>NS</b>	
<b>Clorofórmio (µg/L)</b>	<b>48.8 (40.0, 71.8)</b>	<b>43,9 (36.6, 55.3)</b>	<b>103,2 (46.7, 197.7)</b>	<b>39,0 (14.4, 123.7)</b>	<b>0,019</b>	
<b>Bromodiclorometano (µg/L)</b>	<b>4.6 (6.1, 34.7)</b>	<b>8 (0, 11.8)</b>	<b>8 (0, 33.7)</b>	<b>8 (0, 0)</b>	<b>0,0001</b>	
<b>Dibromoclorometano (µg/L)</b>	<b>18 (0, 14.0)</b>	<b>18 (0, 0)</b>	<b>18 (0, 0)</b>	<b>18 (0, 0)</b>	<b>NS</b>	
<b>Bromofórmio (µg/L)</b>	<b>22 (0, 0)</b>	<b>22 (0,0)</b>	<b>22 (0,0)</b>	<b>22 (0,0)</b>	<b>NS</b>	
<b>Total trihalometanos (µg/L)</b>	<b>77.3 (49.9, 109)</b>	<b>48,5 (41.0, 94.9)</b>	<b>103,2 (46.7, 233.0)</b>	<b>40,2 (14.4, 186.0)</b>	<b>0,042</b>	
<b>Total carb. orgânico (µg/L)</b>	<b>41.7 (22.2, 66)</b>	<b>42,8 (24.5, 56.3)</b>	<b>3,8 (0, 26.8)</b>	<b>5,7 (0.2, 16.6)</b>	<b>0,0001</b> <b>0.0001</b>	

Fonte: Hiriart.<sup>12</sup>

A matéria orgânica natural é o principal precursor e a formação dos TAM é diretamente proporcional à concentração de matéria orgânica presente. Essa matéria orgânica pode ser dividida em dois grupos principais quanto à formação de TAM: a matéria orgânica húmica (hidrofóbica) e não-húmica (hidrofílica). A presença de ácidos húmicos na amostra possui maior influência na formação desses compostos do que a dosagem de cloro e um aumento em sua concentração provocam um aumento significativo na formação de TAM<sup>50</sup>.

Existem diversos meios de se caracterizar a matéria orgânica da amostra por meio de testes como a COT e UV, por exemplo. Borges (2003) apud Gordon<sup>50</sup> observou que a presença de ácidos húmicos na amostra possui maior



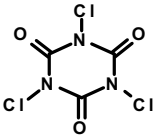
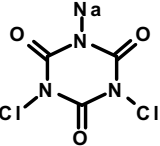
influência na formação desses compostos do que a dosagem de cloro, e um aumento em sua concentração provocam um aumento “extraordinário” na formação de TAM.

Os ácidos húmicos reagem mais ativamente com o cloro, produzindo mais clorofórmio por unidade de COT e por unidade de cloro consumida em comparação com os ácidos fúlvicos (Pereira, 1989 apud Gordon)<sup>50</sup>.

Chang *et al.* (2001) apud Gordon comprovaram que as substâncias hidrofóbicas formam mais TAM se comparadas às hidrofílicas<sup>50</sup>.

A formação de TAM não é instantânea, demorando certo tempo para acontecer. Quanto maior o tempo de contato mais favorecida a formação dos TAM. Assim, enquanto persistir um residual de cloro, esses compostos continuarão a ser formados.<sup>17,50</sup>. O **Quadro 1** mostra quais os agentes clorados mais utilizados para processo de tratamentos de águas para abastecimento público.

**Quadro 1:** Estrutura química dos principais compostos clorados.

<b>Compostos clorados inorgânicos</b>	<b>Teor de cloro livre (%)</b>	<b>Fórmulas</b>
Hipoclorito de sódio	10-12	NaClO
Hipoclorito de cálcio	64	Ca(ClO) <sub>2</sub>
Gás cloro	100	Cl <sub>2</sub>
<b>Compostos clorados orgânicos</b>		<b>Estruturas</b>
Ácido tricloroisocianúrico	90	
Dicloroisocianurato de sódio	56(**) 60(*)	

(\*\*) Dihidratado (\*) Anidro

Fonte: Macêdo J.A.B.<sup>40</sup>

Dos compostos mostrados no **Quadro 1** o hipoclorito de sódio é utilizado na forma líquida, o gás cloro na forma gasosa e os demais utilizados na forma sólida. Dentre todos, o mais utilizado é o gás cloro pelo teor de cloro livre de 100%, no

entanto necessita de um cuidado especial na manipulação dos cilindros onde são acondicionados e também instalações e tubulações por ser, este gás, altamente corrosivo.<sup>40</sup>

O **Quadro 2** mostra uma avaliação da estabilidade de derivados clorados inorgânicos e orgânicos, demonstrando que os compostos de origem orgânica possuem uma maior estabilidade quando em contato com a amostra de água.

**QUADRO 2- Avaliação da estabilidade de dois derivados clorados de origem inorgânica (cloro gás, hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio) e de origem orgânica (dicloroisocianurato de sódio).**

Tempo de contato	Desinfecção da amostra com			
	Cloro gasoso (residual de cloro – mg.L <sup>-1</sup> Cl <sub>2</sub> )	Hipoclorito de Sódio (residual de cloro – mg.L <sup>-1</sup> Cl <sub>2</sub> )	Hipoclorito de cálcio (residual de cloro – mg.L <sup>-1</sup> Cl <sub>2</sub> )	Dicloroisocianurato de sódio (residual de cloro – mg.L <sup>-1</sup> Cl <sub>2</sub> )
	Amostra 22.05.02	Amostra 22.05.02	Amostra 22.05.02	Amostra 22.05.02
Imediato	1,94	1,94	2,10	2,04
Após 1 hora	1,22	1,31	1,32	1,64
Após 2 horas	0,98	1,01	1,29	1,50
Após 3 horas	0,85	0,89	1,13	1,37
Após 4 horas	0,68	0,77	1,00	1,27
Após 5 horas	0,53	0,66	0,87	1,20

Fonte: Macêdo J.A.B.<sup>40</sup>

Pelo **Quadro 3** pode ser verificada a eficiência de cada agente de desinfecção quando há presença de matéria orgânica na água. Os derivados clorados com características alcalinas formam níveis maiores de TAM quando comparados com os demais. Estes resultados acabam confirmando que o pH é um fator limitante na formação dos TAM.<sup>6,17,28,35,49,51</sup> Quanto maior o pH, maior a taxa de formação de TAM. Isso acontece porque com o aumento do pH mudanças ocorrem nos grupos ativos da superfície da molécula ou na forma da estrutura da molécula, tornando o precursor mais reativo. No estudo de Urano apud Gordon<sup>50</sup> chegou-se a um resultado de que a formação de TAM é proporcional ao logaritmo da concentração do íon hidroxila<sup>14,50</sup>.

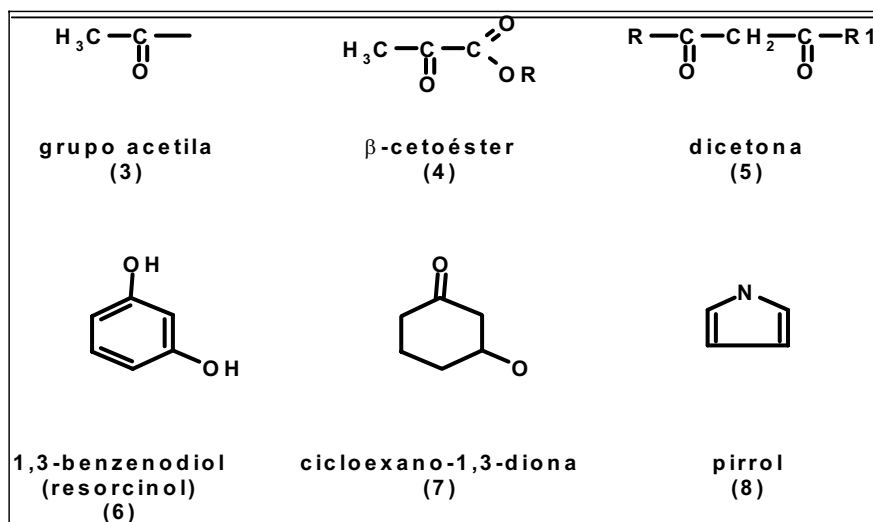
**Quadro 3.** Eficiência dos agentes de desinfecção quando há presença de matéria orgânica na água.

Desinfetante	1ª. Repetição (média de 2 valores) (µg / L)	2ª. Repetição (média de 2 valores) (µg / L)	Média
Hipoclorito de sódio	42,12	22,79	32,46
Hipoclorito de cálcio	37,70	24,97	31,34
Dicloroisocianurato de sódio	26,08	16,81	21,45
Cloro gás	26,09	14,39	20,24

Fonte: Macêdo J.A.B.<sup>40</sup>

Os compostos listados na **Figura 3** são os principais responsáveis pela formação de TAM, devido à presença de substâncias orgânicas mais simples e mais complexas como o β-dicetonas e compostos semelhantes como resorcinol<sup>6,40</sup>

Dentre as substâncias mostradas na **Figura 3**, o resorcinol, presente em matéria húmica, é a que mais favorece na formação de TAM. A estrutura do pirrol tem importância por fazer parte de muitas substâncias orgânicas naturais, como por exemplo, a clorofila.<sup>40,49</sup>



Fonte: Macêdo J.A.B.<sup>40</sup>, .

**Figura 3.** Estrutura de alguns compostos orgânicos presentes nas águas.

Produtos Extra-Celulares (PEC), liberados nas águas por certas espécies de algas também funcionam como precursores de TAM. A cloração de PEC, provenientes de quatro espécies de algas produzem maior quantidade de clorofórmio do que produziria uma correspondente biomassa desses organismos. Os

PEC, liberados por meio da fotorespiração são metabólitos de baixo peso molecular, que possuem pequeno potencial de formação de TAM. Entretanto, os produtos liberados durante as atividades de fotossíntese têm alto peso molecular, com alto potencial de formação de TAM.<sup>40</sup>

Sabe-se também que a atividade biológica nas águas de superfície causa uma variação diurna da concentração dos precursores dos TAM. Condições extremas, tais como alta intensidade de luz, alto teor de oxigênio dissolvido, decréscimo de CO<sub>2</sub> e elevado valor do pH forçam as algas a passarem para o estado de fotorespiração. As algas que migram da superfície para camadas inferiores dos reservatórios podem, portanto, liberar o potencial de formação de TAM em diferentes profundidades.<sup>52</sup>

Entre as técnicas de detecção de TAM a mais utilizada hoje é a cromatografia gasosa com detector por espectrometria de massas (CG-EM). No trabalho de Borges *et al.* (2002)<sup>13</sup> foi realizado um estudo para a monitorização e determinação da concentração de trihalometanos totais (TAMT) bem como ensaios para se avaliar o potencial de formação dessa classe de compostos em diferentes amostras de água, em distintas condições, inclusive na presença de algas. A técnica utilizada para quantificação dos TAMT foi a técnica MIMS (espectrometria de massas com introdução via membrana)<sup>49</sup>.

A remoção de substâncias húmicas depende do processo de coagulação e da substância coagulante<sup>6</sup>. A retirada de ácidos húmicos pode ser feita com sulfato de alumínio, muito utilizado como agente coagulante, e a eficiência do método é dependente do pH da solução.<sup>28, 51</sup>

A temperatura também é fator preponderante na formação de TAM. Um aumento da temperatura resulta numa taxa de formação de TAM devido ao aumento da taxa de reação dos precursores orgânicos<sup>6,28</sup>. Nos meses de verão ou em regiões geográficas quentes, há maior demanda de cloro, a fim de manter os residuais desinfetantes na rede de distribuição, aumentando assim a formação de subprodutos halogenados. Tal fato justifica as diferenças sazonais na formação de TAM<sup>50</sup>. Nas estações quentes do ano, como no verão, a produção de TAM aumenta comparada com as taxas de formação no inverno.

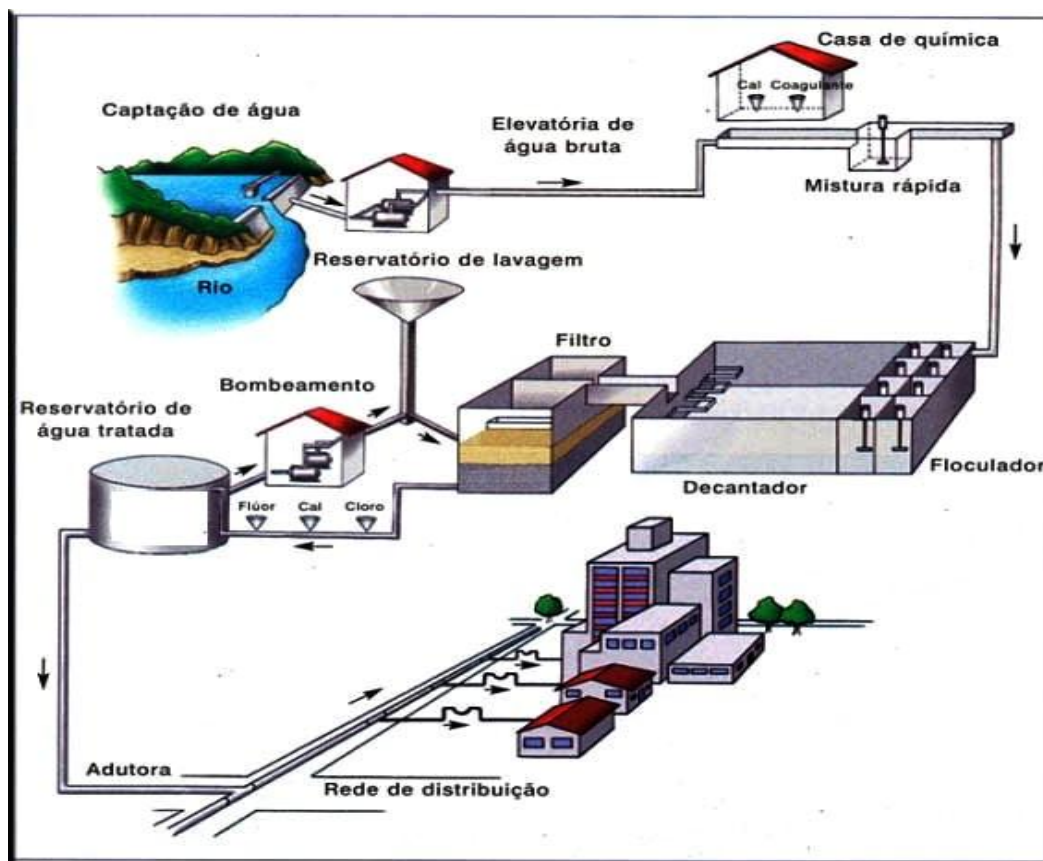
A temperatura influencia a formação de TAM em amostras com concentrações conhecidas de ácidos húmicos e algas, e em ambas as amostras o aumento da temperatura aumentou a formação de TAM<sup>50</sup>. Ocorre uma competição

da amino-oxidação sobre bactérias tipo *Nitrosomonas* com degradação em níveis de concentrações baixos (50 a 800  $\mu$  g/L) dos quatro TAM:  $\text{CHCl}_3$ ,  $\text{CHBrCl}_2$ ,  $\text{CHClBr}_2$  e  $\text{CHBr}_3$  geralmente encontrados na água tratada. As constantes individuais da taxa do TAM ( $k_1$ , TAM) aumentam com aumento da substituição do bromo de TAM, com litros/mg/dia de  $\text{CHBr}_3 > \text{CHClBr}_2 > \text{CHBrCl}_2 > \text{CHCl}_3$  (0,23; 0,20; 0,15 e 0,10, respectivamente).<sup>53</sup>

### 1.5 - Processos de purificação e desinfecção da água

A **Figura 4** mostra um sistema tradicional de estação de tratamento de água, com filtração em linha e ajuste de pH com cal hidratado.

Em uma estação de tratamento de água com filtração direta, após a coagulação é feita a filtração sem a necessidade de floculador e decantador.



**Figura 4:** Estação de tratamento de água convencional. Fonte: Copasa - Tratamento de água <http://www.copasa.com.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?inford=23&sid=98&tpl=printerview>

Durante os processos numa ETA convencional, as etapas de sedimentação, coagulação e filtração removem parte dos organismos patogênicos e outros presentes na água. Os processos específicos de desinfecção podem ser classificados como:<sup>54</sup>

- tratamento físico aplicação de calor; irradiação, luz ultravioleta e outros agentes físicos;
- íons metálicos cobre e prata;
- compostos tensoativos sais de amônia quaternários;
- oxidantes halogênicos, ozônio e outros compostos orgânicos e inorgânicos.

### **1.5.1 - Desinfecção**

Os processos de desinfecção têm como objetivo a destruição ou inativação de organismos patogênicos, capazes de produzir doenças, ou de outros organismos indesejáveis. Esses organismos podem sobreviver na água por várias semanas, em temperaturas próximas a 21°C e, em alguns casos, por vários meses, em baixas temperaturas<sup>55</sup>. A sobrevivência desses organismos na água depende, não só da temperatura, mas também de outros fatores ecológicos, fisiológicos e morfológicos, tais como: pH, turbidez, oxigênio, nutrientes, competição com outros organismos, resistência a substâncias tóxicas, habilidade na formação de esporos<sup>56</sup>. A desinfecção não implica, necessariamente, a destruição completa de todas as formas vivas (esterilização), embora muitas vezes o processo de desinfecção seja levado até o ponto de esterilização.<sup>11,57</sup>

Os fatores que influenciam na desinfecção e, portanto, no tipo de tratamento a ser empregado<sup>56</sup>, podem ser resumidos em:

- espécie e concentração do organismo a ser destruído;
- espécie e concentração do desinfetante;
- tempo de contato;
- características químicas e físicas da água;
- grau de dispersão do desinfetante na água.

A resistência de algumas espécies de microorganismos a desinfetantes específicos varia consideravelmente. Bactérias não-esporuladas são menos resistentes que as formadoras de esporos; formas encistadas e vírus podem ser bastante resistentes. A concentração de microorganismos é um outro fator importante, já que uma densidade elevada significa uma maior demanda de

desinfetante. A aglomeração de organismos pode criar uma barreira para a penetração do desinfetante.<sup>56</sup>

A morte de organismos pela ação de um desinfetante, fixando-se os outros fatores, é proporcional à concentração do desinfetante e ao tempo de reação. Deste modo, podem ser utilizadas altas concentrações e pouco tempo, ou baixas concentrações e um tempo elevado.

As características da água a ser tratada têm influência marcante no processo de desinfecção. Quando o agente desinfetante é um oxidante, a presença de material orgânico e outros compostos oxidáveis irá consumir parte da quantidade de desinfetante necessária para destruir os organismos.<sup>55</sup> Alguns desinfetantes, quando em contato com a água, sofre hidrólise e se dissociam, formando compostos com ação germicida diferente daquela da substância inicial. A temperatura do sistema influencia o caráter químico da água, já que alguns compostos podem se apresentar sob formas diferentes, conforme a temperatura do meio. Em geral, temperaturas elevadas favorecem a ação desinfetante.

A ação dos desinfetantes na destruição ou inativação dos microorganismos não é instantânea. Em geral, o processo se desenvolve de maneira gradativa, ocorrendo etapas físicas, químicas e bioquímicas. Os desinfetantes químicos necessitam ser uniformemente disperso na água, para garantir uma concentração uniforme; portanto, a agitação favorece a desinfecção.<sup>55</sup>

As características necessárias para um bom desinfetante podem ser resumidas em:

- capacidade de destruir, em um tempo razoável, os organismos patogênicos a serem eliminados, na quantidade em que se apresentam e nas condições encontradas na água;
- baixa toxicidade para o Homem e para os animais domésticos e, nas dosagens usuais, não deve inferir à água cheiro e gosto que prejudique o seu consumo;
- seu custo de utilização deve ser razoável, além de apresentar facilidade e segurança no transporte, armazenamento, manuseio e aplicação;
- a concentração na água tratada deve ser fácil e rapidamente determinável;
- deve produzir concentração residual resistente na água, de maneira a constituir uma barreira sanitária contra eventual recontaminação antes do uso.

### 1.5.2 - Princípios da cloração da água

O uso de cloro no tratamento da água pode ter como objetivos a desinfecção (destruição dos microorganismos patogênicos), a oxidação (alteração das características da água pela oxidação dos compostos nela existentes) ou ambas as ações ao mesmo tempo. A desinfecção é o objetivo principal e mais comum da cloração, o que acarreta, muitas vezes, o uso das palavras "desinfecção" e "cloração" como sinônimos.

O cloro foi descoberto em 1808 por Sir Humprey Davy e teve as suas propriedades bactericidas demonstradas sob condições de laboratório pelo bacteriologista Koch, em 1881. O uso do cloro foi aprovado pela *American Public Health Association (APHA)*, em 1886, para uso como desinfetante.<sup>6</sup>

Em 1902 em Middelkerke, Bélgica, antes de a água sofrer filtração em filtro de areia começou a utilização do cloro como processo contínuo de tratamento de água.<sup>6,17</sup> A partir do início do século XIX, algumas regiões dos Estados Unidos da América já utilizavam este agente químico no processo de desinfecção de águas para abastecimento público.<sup>58</sup>

As reações do cloro com compostos inorgânicos redutores, como sulfitos, sulfetos, íon ferroso e nitrito, são geralmente muito rápidas. Alguns compostos orgânicos dissolvidos também reagem rapidamente com o cloro, mas, em geral, são necessárias algumas horas para que a maioria das reações do cloro com compostos orgânicos se completem.<sup>25</sup>

Quando o cloro é adicionado a uma água quimicamente pura ocorre a seguinte reação:<sup>25</sup>



O ácido hipocloroso (HOCl), formado pela adição de cloro à água, se dissocia rapidamente:<sup>25</sup>



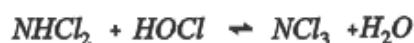
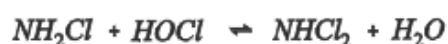
As águas de abastecimento, em geral, apresentam valores de pH entre 5,0 e 10,0 quando as formas presentes são o ácido hipocloroso (HOCl) e o íon hipoclorito (OCl<sup>-</sup>). O cloro existente na água sob as formas de ácido hipocloroso e de íon hipoclorito é definido como cloro residual livre. O cloro também pode ser aplicado sob as formas de hipoclorito de cálcio e hipoclorito de sódio, os quais, em contato com a água, se ionizam conforme as reações:<sup>25</sup>





Quando existem, na água, amônia e compostos amoniacais a adição de cloro promove a formação de compostos clorados ativos, denominados cloraminas.<sup>25</sup> As reações dependerão da proporção entre o cloro e o nitrogênio amoniacal presente, do pH, da temperatura e do tempo de contato<sup>25</sup>

O cloro presente sob a forma de cloraminas é denominado cloro residual combinado<sup>25,59</sup>. O cloro sob a forma de ácido hipocloroso combina-se com a amônia presente na água, formando monocloramina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), dicloramina ( $\text{NHCl}_2$ ) e tricloramina ou tricloreto de nitrogênio ( $\text{NCl}_3$ ).<sup>25</sup>



O cloro residual (cloro residual combinado) inicialmente aumenta na mesma proporção que o cloro aplicado, passando por um máximo e, em seguida, diminui até um mínimo; a partir deste mínimo, o cloro residual, agora sob a forma de cloro residual livre, aumenta proporcionalmente com a quantidade de cloro aplicada. O ponto de inflexão encontrado é chamado de *breakpoint* (cloração ao *breakpoint*).<sup>25</sup> Com o início da cloração, o nitrogênio amoniacal consome o cloro na formação de cloraminas.

### 1.5.3 - Controle dos Trialometanos

As recomendações para o controle dos TAM variam de pequenas alterações nos tipos de tratamento existentes até mudanças de alto custo nos sistemas de tratamento. O importante é que qualquer mudança proposta para um sistema de tratamento não acarrete uma deterioração na qualidade da água pronta para o consumo.<sup>25</sup>

Os métodos para o controle da formação dos TAM podem ser classificados em redução da concentração dos precursores e uso de processos alternativos para a desinfecção. Uma alternativa é a retirada dos TAM já formados.<sup>2</sup>

#### **1.5.4 - Redução da concentração de precursores**

A diminuição da concentração dos precursores pode ser conseguida por meio da aplicação de diversas técnicas de acordo com:

**Clarificação** - A coagulação é considerada uma técnica de tratamento para a redução de turbidez, mas também apresenta um grande significado na remoção de orgânicos. Alguns compostos orgânicos são, provavelmente, absorvidos junto com as partículas em suspensão (turbidez), entre os quais os ácidos húmicos e fúlvicos. Esses compostos são parcialmente removidos nos processos de coagulação/precipitação numa estação de tratamento de água. Os ácidos húmicos são responsáveis, em parte, pela coloração de algumas águas, podendo ser removidos pela aplicação de coagulantes à água, como os sais de ferro e alumínio. A remoção de orgânicos pela coagulação é mais bem realizada sob condições levemente ácidas (pH 4,0 a 6,0).<sup>25</sup>

**Controle de precursores no manancial** - A realização de determinações periódicas da concentração de precursores de TAM em água bruta pode revelar medidas de controle que poderiam ser tomadas para minimizar essas concentrações. Entre tais medidas deveriam ser incluídos o controle de algas, a prevenção do avanço de água salina (presença de compostos bromados) e a seleção de mananciais alternativos.<sup>25</sup>

**Aeração** - A aeração já foi aplicada como uma técnica alternativa de remoção dos precursores de TAM. Entretanto esta técnica não foi eficiente, o que é explicado pelo conhecimento atual de que as moléculas dos ácidos fúlvicos e húmicos têm peso molecular elevado.<sup>25</sup>

**Oxidação** - O uso de agentes oxidantes capazes de oxidar os precursores de TAM tem como objetivo a diminuição do potencial de formação de TAM pela ação de produtos químicos (alterando os precursores) e a completa oxidação química dos precursores (até a forma de dióxido de carbono), a fim de se eliminar o problema potencial da presença depois do tratamento de subprodutos da oxidação, os quais podem ser até mais perigosos do que os TAM.<sup>60</sup>

Os oxidantes usados são: ozônio, dióxido de cloro, permanganato de potássio, radiação ultravioleta e peróxido de hidrogênio. As dosagens necessárias

desses oxidantes para reduzir o potencial de formação de TAM são elevadas e o tempo de contato é maior que o normalmente usado na desinfecção.<sup>60</sup>

A alternativa de oxidação dos precursores até hoje foi realizada somente em laboratórios, não tendo sido implementada como rotina em sistemas de tratamento de água. Existe a possibilidade de que a utilização desta técnica implique a geração de subprodutos indesejáveis. As reações de oxidação dos precursores são bastante complexas e os subprodutos obtidos podem variar com as condições da reação de remoção do potencial de formação de TAM.<sup>60</sup>

Águas que apresentam concentração elevada de bromo produzem teores elevados de TAM. Tais águas podem ser tratadas com ozônio para retardar ou prevenir a formação de TAM contendo bromo, o que resulta numa diminuição da concentração total de TAM.<sup>60</sup>

**Adsorção em carvão ativado em pó** - Os precursores de TAM são uma mistura de muitos produtos químicos, e esta mistura varia conforme o corpo hídrico em questão. O tratamento por adsorção dessas substâncias é mais difícil que o tratamento de produtos identificados individualmente.<sup>25</sup>

Os materiais húmicos aquáticos são os mais relevantes dentre os precursores dos TAM e não são apenas algumas substâncias. As características desses compostos são influenciadas por numerosos fatores que alteram sua capacidade de adsorção, tais como distribuição do peso molecular, pH, íons inorgânicos presentes, fonte dos precursores e frações relativas dos ácidos húmicos e fúlvicos. Essas variáveis influenciam as características físico-químicas da solução e a própria superfície do carvão ativado (o que afeta a adsorção, mesmo de substâncias puras).<sup>25</sup>

**Adsorção em carvão ativado granular** - O carvão ativado granular é eficiente na remoção da maioria dos precursores dos TAM. Entretanto, ele tem a desvantagem de necessitar que o carvão ativado granular seja substituído com frequência, para manter a eficiência de remoção do material orgânico. A frequência de regeneração do meio filtrante depende da carga orgânica sobre os filtros e do tipo de precursores a serem removidos.<sup>25</sup>

**Resinas trocadoras de íons** - Algumas resinas trocadoras de ânions já foram testadas na remoção dos precursores de TAM, apresentando resultado satisfatório.<sup>25</sup>

## **1.6 - Processos alternativos de desinfecção**

Dentre os agentes químicos utilizados na desinfecção em geral, são utilizados agentes oxidantes, tais como cloro, hipoclorito de sódio ou de cálcio, dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), ácido peracético ( $\text{CH}_3\text{COOOH}$ ), bromo, iodo, ozônio ( $\text{O}_3$ ), permanganato de potássio ( $\text{KMnO}_4$ ) e peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e outros, como sais de prata e sais de cobre, ferrato ( $\text{FeO}_4^{2-}$ ); enquanto dentre os agentes físicos destacam-se o calor e a radiação ultravioleta.<sup>60</sup>

A US-EPA catalogou mais de 600 espécies diferentes de produtos halogênicos produzidos pela cloração da água. Dentre os produtos catalogados foram retirados 209 para estudos que evidenciaram efeitos cancerígenos.<sup>61</sup>

Além de diversos tipos de produtos clorados bastante conhecidos hoje, como o hipoclorito de sódio, já na década de 70 surgiram os chamados compostos clorados orgânicos, atualmente denominados “cloraminas orgânicas”, destacando-se o dicloroisocianurato de sódio (**2**) e o ácido isocianúrico<sup>45</sup>. Em julho de 2001, a USEPA, Agência de Proteção do Meio Ambiente nos Estados Unidos, aprovou o uso de isocianuratos clorados em aplicações de sistema de desinfecção de água, ressalta-se, que também é certificado pela *NSF International – Certified Products – Public Water Supply Treatment Chemicals*.<sup>58</sup>

**Tabela 7.** Produtos de desinfecção detectados nas águas de abastecimento público.

Resultados obtidos de *National Toxicology Program (NTP)*.

Classe de produtos	Substâncias encontradas
Trihalometanos	Clorofórmio, bromodimetano, dibromodimetano, bromofórmio, iodofórmio.
Ácidos Haloacéticos	Tri-, di-, ácido monocloroacético, tri-, di-, ácido monobromoacético, ácido clorodibromoacético
Haloacetoneitrilas	Dicloroacetoneitrila, bromocloroacetoneitrila, dibromoacetoneitrila
Halocetonas	1,1-dicloropropanona, 1,1,1-tricloropropanona
Áldeídos	Formaldeído, acetaldeído, propanal, butanal, pentanal, glioxal, metil-glioxal
Inorgânicos	Bromatos, cloratos e cloritos

Fonte: Woo et al 2001.<sup>61</sup>

Os processos alternativos de desinfecção da água, que evitam a formação de TAM, são aqueles que não utilizam cloro livre, tais como: cloraminas (cloro combinado), dióxido de cloro, ozonização, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, cloreto de bromo, bromo, iodo, íon ferrato, alto pH e radiação

ultravioleta.<sup>62</sup> Destes, os mais utilizados são as cloraminas, o dióxido de cloro e a ozona.<sup>61</sup>

Embora o uso desses compostos na desinfecção ofereça a vantagem de não contribuir para a formação dos TAM, outros subprodutos podem ser originados, conforme o teor de matéria orgânica presente na água.<sup>62</sup> Esses subprodutos apresentam a mesma dificuldade de remoção que os TAM, sendo que seus efeitos sobre a saúde não foram ainda completamente avaliados. Além disso, cada um dos desinfetantes apresenta outras desvantagens: o ozônio não produz resíduo para o sistema de distribuição; a cloramina é um desinfetante mais fraco que o cloro livre, podendo ter alguma toxicidade; e o dióxido de cloro dá origem a cloritos e cloratos como subprodutos, bem como outras espécies aniônicas, cujo efeito à saúde é desconhecido.<sup>62</sup>

A aplicação da fotólise e fotocátalise heterogênea na desinfecção de águas contaminadas com *Escherichia coli* tem mostrado grande eficiência e pode ser um processo promissor para novas tecnologias de desinfecção de águas sem o problema de formação de produtos orgânicos halogenados<sup>6,63</sup>.

O processo de desinfecção por ultra-som (US) 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 o esquema pré-desinfecção com cloro, coagulação - floculação, decantação e filtração. Seu estudo mostra que a cloração é eficiente na inativação de bactérias independente de aplicação ou não o processo de coagulação - floculação, porém na ausência desses processos a água resultante não atinge a especificação de potabilidade. A filtração - adsorção é importante na eliminação de bactérias, e o filtro atua na retenção de partículas e sólidos suspensos também realiza ações biológicas e químicas.<sup>51</sup>

O efeito do ultra-som na área biológica, pode ocorrer devido ao poder da alta potência de radiação, que pode deslocar, distorcer e/ou reorientar partículas intercelulares ou mesmo células com relação a suas configurações normais. Ultra-som de 20 KHz quando aplicado em condições controladas de laboratório mostra diminuição da viabilidade celular de *Saccharomyces cerevisiae*.<sup>51</sup>

Outro processo bastante eficiente, é a aeração<sup>1</sup>. Quando foi medida a eficiência do processo de aeração na remoção de TAM (clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio), por CG-EM, bem como o efeito da aeração na diminuição do teor de cloro residual livre em amostras

coletadas antes e após o processo de aeração, os resultados indicaram 100% de remoção de bromodiclorometano, dibromoclorometano e de 23% de clorofórmio em um tempo de aeração de 15 min. Tal fato sugere que em 15 min de aeração é possível remover cerca de 63,5% dos trihalometanos totais (TAMT), ao passo que o teor de cloro total residual livre diminui cerca de 12% somente nos primeiros 3 min de aeração, mantendo-se inalterado no tempo restante de aeração (27 min). Apesar de ser eficiente quanto à remoção de TAM presente na água, o processo exige instalação de aeradores o que eleva um pouco o custo com energia elétrica no sistema de tratamento<sup>1</sup>.

A formação de TAM e ácidos haloacéticos ocorre preferencialmente por meio de reações de oxidação e substituição do cloro em compostos orgânicos que apresentam alto grau de aromaticidade e insaturação que, por sua vez, são capazes de absorver radiação ultravioleta.<sup>6,47</sup> A água bruta apresenta baixa concentração de matéria orgânica mas alto valor de substâncias que absorvem na faixa UV-254 nm podendo apresentar grande potencial de formação de compostos halorgânicos subprodutos da desinfecção, ainda que apresente um baixo valor de matéria orgânica. O inverso também pode ocorrer, ou seja, água com alto valor de matéria orgânica pode apresentar baixa formação potencial de subprodutos da desinfecção, desde que os mesmos sejam alifáticos saturados, com baixo grau de aromaticidade, grau de insaturação e de baixa densidade de grupos funcionais fenólicos.<sup>6,47,58</sup>

A formação de subprodutos halogenados da desinfecção, resultado da cloração de água de abastecimento<sup>6</sup>, é diretamente proporcional ao conteúdo de carbono aromático dos constituintes orgânicos. Pelo fato de as substâncias húmicas possuírem maior conteúdo de carbono aromático do que substâncias não húmicas, as primeiras são predominantes para a formação de subprodutos. Portanto, o controle dos mesmos está diretamente relacionado com a remoção das substâncias húmicas antes da adição do cloro. A absorvância no comprimento de onda de 254 nm serve como parâmetro para avaliar o conteúdo de carbono aromático dos constituintes orgânicos.<sup>47</sup>

Os ácidos húmicos são muito mais importantes na formação de TAM do que os ácidos fúlvicos, pois eles consomem 75% mais cloro e produzem 117% mais clorofórmio por unidade de matéria orgânica e 23% mais clorofórmio por unidade de cloro consumido.<sup>6</sup>

Monocloramina ( $\text{NH}_2\text{Cl}$ ), dicloramina ( $\text{NHCl}_2$ ) e o tricloramina ( $\text{NCl}_3$ ) são produzidos adicionando o cloro a uma solução que contenha a amônia, adicionando a amônia a uma solução que contém o cloro residual livre ou adicionando soluções de amônia e do cloro em meio aquoso.<sup>17,19</sup> Monocloramina pode ser um sub-produto da cloração da água potável, ou pode ser adicionada para manter a atividade residual de desinfecção em um sistema da distribuição da água potável. Reconhece-se como um desinfetante menos eficaz do que o cloro. O uso de cloraminas para a desinfecção em vez do cloro diminuiu a formação de TAM em fontes da água, reduzindo na faixa de 40 a 80% de compostos halogênicos.<sup>19</sup>

A necessidade do controle de TAM incentivou o desenvolvimento de pesquisas envolvendo outros oxidantes. Dentre os principais produtos investigados, o ozônio mostra-se uma excelente alternativa como pré-oxidante em processos combinados utilizados no tratamento de água. Contudo, alguns estudos referentes à ruptura celular e à formação de subprodutos ainda se fazem necessários para a consolidação da tecnologia da ozonização para tal finalidade<sup>17</sup>.

Quando se utiliza ozônio na desinfecção em geral, a reação do ozônio com matéria orgânica natural destrói a molécula original, formando um produto polar mais biodegradável, com massa molecular mais baixa. Um grande número de compostos pode ser produzido, incluindo peróxidos, aldeídos, ácidos orgânicos e peróxido de hidrogênio<sup>17</sup>.

A oxidação da matéria orgânica conduz ao decréscimo no conteúdo de carbono orgânico dissolvido (devido à oxidação do dióxido de carbono), ao decréscimo na matéria orgânica que absorve luz ultravioleta no comprimento de onda 254 nm. Formaldeído e acetaldeído, formados a partir da ozonização de matéria orgânica natural, causam tumores respiratórios em animais (formaldeído causa tumores em humanos), após exposição por inalação. No caso de ingestão de formaldeído, bioensaios têm produzido resultados conflitantes e o glioxal causa tumores estomacais<sup>17</sup>.

A ingestão de água ozonizada, normalmente, não apresenta riscos à saúde humana, devido à curta meia-vida do ozônio em solução. Como, na maioria das instalações, a ozonização é seguida de cloração ou armazenamento em reservatório anterior à distribuição, existe um tempo suficiente para que a decomposição do ozônio seja completa. O Ministério da Saúde da França estipula que a concentração em águas de abastecimento deve ser inferior a 0,5 mg/L ou 500  $\mu\text{g/L}$ <sup>17</sup>.

A literatura é consistente em relação à habilidade do ozônio em aumentar a biodegradabilidade dos compostos orgânicos presentes na água e reduzir a atividade biológica em vários meios e, muitas vezes, o ozônio é precedido ao processo de filtração, com o objetivo de aumentar a remoção de compostos orgânicos refratários. As condições que definem a biodegradação não estão ainda bem definidas e a porcentagem de remoção do carbono orgânico total não pode ser predeterminada, por ser altamente dependente da qualidade da matéria orgânica presente<sup>17</sup>.

A oxidação da matéria orgânica resulta também em eliminação de microorganismos. A inativação de microorganismos é dependente da taxa de reação entre o agente oxidante e os diferentes tipos de microorganismos, sendo influenciada pelas condições ambientais e pela presença de substâncias que podem interferir na reação<sup>17</sup>.

Devido ao número de substâncias contaminadas liberadas atualmente no meio ambiente, a avaliação do efeito dessas substâncias, presentes na água, sobre a saúde humana é muito difícil, pois são encontrados traços de concentrações. A experimentação animal tradicional não é, em muitos casos, apropriada para elucidar todos os riscos que essas substâncias apresentam à saúde humana. Uma alternativa que vem sendo utilizada no controle de águas destinadas ao consumo humano são os testes de mutagenicidade, pois alguns estudos constataram o aparecimento de compostos halogenados mutagênicos em sistemas de tratamento de água que utilizam o cloro<sup>17</sup>.

#### **1.6.1 - Remoção e análise do Trihalometanos**

A alternativa de remoção dos TAM já formados significaria a construção de mais uma unidade numa estação de tratamento de água, existindo, entretanto, a possibilidade de aproveitamento das unidades já existentes.<sup>65</sup>

O carbono granular ativado é considerado, o método mais eficiente na redução da concentração de TAM, sendo recomendado seu uso pela US-EPA (também serve para remover outros contaminantes ainda não determinados). Entretanto, a necessidade de regenerar o meio filtrante com frequência, de modo a garantir a eficiência da remoção de material orgânico, é uma desvantagem do método<sup>52</sup>. Essa regeneração é realizada por tratamento biológico, extração com solventes ou regeneração térmica e isto eleva o custo no tratamento de águas além de aumentar o risco de contaminantes pelo solvente utilizado na regeneração. Em



muitas empresas de pequeno porte, onde são utilizados filtros de baixa vazão, o vapor é um excelente regenerador para o carvão saturado, chegando a 250-300 °C durante uma hora aproximadamente.<sup>51,78</sup>

Pesquisas realizadas nos órgãos de saneamento público no estado de Rondônia não apontam registros de análises de TAM realizados em qualquer sistema de abastecimento. A utilização de parâmetros não específicos para avaliar a eficiência de um sistema de tratamento, bem como a qualidade da água de um determinado manancial é uma prática comum nas ETA.

O parâmetro turbidez, por exemplo, é amplamente utilizado nas ETA para o controle e o monitoramento operacional da remoção de material particulado. Outros parâmetros deste tipo utilizados comumente são a cor e a densidade de coliformes termotolerantes.

Estes parâmetros não específicos podem ser uma valiosa ferramenta para uma primeira avaliação das características da qualidade de águas em mananciais destinados ao abastecimento público. Também podem ser de grande utilidade para verificar rapidamente mudanças na qualidade da água dentro do processo de tratamento.

Além disso, com a preocupação sobre a formação de compostos organoclorados leves (como por exemplo, o clorofórmio) durante o processo de cloração torna-se necessária uma avaliação do manancial em relação à quantidade de precursores destes compostos. Então é necessário avaliar a água bruta, antes mesmo de ser clorada.

A utilização do potencial de formação de TAM, como um parâmetro não específico da medida de precursores de TAM, pode ser usado para comparar a qualidade de vários mananciais de água bruta com potencial para abastecimento, com possibilidade de produção de concentrações elevadas de TAM em água tratada durante os processos de tratamento e na distribuição.

Quanto à análise de trihalometanos, esses compostos geralmente são detectados utilizando CG-EM.

## CAPÍTULO 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 – CARACTERIZAÇÃO DO UNIVERSO DE ESTUDO

A Mesorregião do Leste Rondoniense é uma das duas mesorregiões do Estado de Rondônia. É a maior mesorregião em território e em número de habitantes, apesar de não contar com o município mais populoso. É dividida em seis microrregiões: Alvorada d'Oeste, Ariquemes, Cacoal, Colorado do Oeste, Jí-Paraná e Vilhena. A **Figura 5** representa o Estado de Rondônia e a Mesorregião Leste Rondoniense, destacada em vermelho.



**Figura 5:** Mesorregião Leste Rondoniense. Fonte: IBGE 2002.

O Estado de Rondônia tem crescido muito nos últimos anos e conseqüentemente há aumento na demanda de água tratada. Como a vazão permanece constante na maioria dos sistemas de abastecimento, o tempo de contato com o cloro na pré-cloração diminui, podendo acarretar índices de matérias orgânicas acentuadas nas águas tratadas e aumento do nível de TAM. A **Tabela 8** contém dados do último censo do IBGE(2002) para os municípios selecionadas. Os municípios mostrados na **Tabela 8** foram selecionados de acordo com as microrregiões do Leste do estado de Rondônia, ou seja, microrregiões compreendendo a de Cacoal, Ji-Paraná e Vilhena.

A **Tabela 8** também quantifica a população urbana e o total de domicílios ligados diretamente à rede geral de abastecimento de água. Os dados são importantes para análise de demanda e vazão, caso haja excesso de matéria orgânica após tratamento, o que pode levar à formação de TAM nas águas tratadas.

Esta tabela é associada a outras informações dos sistemas de tratamento de água de todos os municípios selecionados no trabalho, ou seja, água ligada à rede geral de abastecimento de água.

**Tabela 8.** Informações sobre a rede de distribuição de água tratada.

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO	POPULAÇÃO URBANA	ÁGUA LIGADA À REDE GERAL (DOMICÍLIOS)
MINISTRO ANDREAZZA	11.610	2.160	295
ROLIM DE MOURA	47.382	34.421	4.016
PRESIDENTE MÉDICI	26.365	12.174	2.139
PIMENTA BUENO	31.752	26.423	5.083
JI-PARANÁ	106.800	91.013	9.117
ESPIGÃO D'OESTE	25.688	14.262	1.391
ALTA FLORESTA D'OESTE	26.533	12.341	474
CACOAL	73.568	51.398	12.627

Fonte: Censo IBGE 2002

A **Figura 6** mostra a microrregião de Cacoal, destacado em vermelho, compreendendo os municípios de estudo Cacoal, Rolim de Moura, Alta Floresta d'Oeste e Espigão d'Oeste.



**Figura 6:** Microrregião de Cacoal - Leste Rondoniense. Fonte: IBGE 2002.

A **Figura 7** mostra a microrregião de Ji-Paraná, destacado em vermelho, compreendendo os municípios de estudo Ji-Paraná, Presidente Médici e Ministro Andreazza.



**Figura 7:** Microrregião de Ji-Paraná - Leste Rondoniense. Fonte: IBGE 2002.

A **Figura 8** mostra a microrregião de Vilhena, destacado em vermelho, compreendendo os municípios de estudo Pimenta Bueno.



**Figura 8:** Microrregião de Vilhena - Leste Rondoniense. Fonte: IBGE 2002.

## 2.2 – DELIMITAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

### 2.2.1 - Municípios:

**Cacoal** - Cacoal está localizado na porção centro-leste do Estado, na microrregião de Cacoal e na mesorregião do Leste Rondoniense. Está a uma latitude  $11^{\circ}26'19''$  sul, longitude  $61^{\circ}26'50''$  oeste e a uma altitude de 200 metros. Possui uma área de 3.793 km<sup>2</sup> representando 1,6% do Estado, seu território tem como limite os municípios de: Presidente Médici ao noroeste, Espigão d'Oeste ao leste,

Castanheiras e Ministro Andreazza ao oeste, Pimenta Bueno ao sudoeste e Rolim de Moura ao sul. O clima da região corresponde às florestas tropicais com chuvas do tipo monção. Caracteriza-se por elevadas precipitações cujo total compensa a estação seca, permitindo a existência de floresta. Esse tipo climático domina toda a área, onde a temperatura média fica em torno de 24°C.

Cartas de isoietas mostram variações de precipitações anuais entre 1.750 e 2.750 mm. Os valores de umidade relativa apresentam isoigras entre 80% e 85%. O principal curso de água é o rio Machado, chamado mais adiante de rio Ji-Paraná, afluente do rio Madeira, pela margem direita.

**Alta Floresta d'Oeste-** Alta Floresta d'Oeste é um município do estado de Rondônia. Localiza-se a uma latitude 11°58'05" sul e a uma longitude 61°57'15" oeste, estando a uma altitude de 350 metros. Sua população estimada em 2006 era de 29.005 habitantes. Possui uma área de 7.067 km<sup>2</sup>.

O município foi criado em 1986. Sua origem foi consequência do avanço da frente migratória rumo ao oeste em demanda ao Vale do Guaporé. O pequeno núcleo populacional evoluiu rapidamente transformando-se em importante pólo agrícola e comercial exigindo uma organização político-administrativa, sendo atendida com a elevação da região à categoria de município.

**Ji-Paraná** - Ji-Paraná está localizado na porção centro-leste do estado, na microrregião de Ji-Paraná e na mesorregião do Leste Rondoniense.

Localiza-se a uma latitude 10°53'07" sul e a uma longitude 61°57'06" oeste, estando a uma altitude de 170 metros. Possui uma área de 6.897 km<sup>2</sup> representando 2,9% do estado, seu território tem como limite os municípios de: Vale do Anari ao norte, Theobroma ao noroeste, Ouro Preto do Oeste e Vale do Paraíso ao oeste, Teixeirópolis e Urupá ao sudoeste, Presidente Médici ao sul e Ministro Andreazza ao sudeste.

O clima predominante é o equatorial, o mais chuvoso do Brasil, com a maior parte do ano quente e úmido, e aproximadamente 3 meses de seca. As estações de outono e inverno não são presentes.

As temperaturas médias anuais variam entre 24° e 26°C, podendo as máximas oscilar entre 28° e 33°C e as mínimas chegar a 18° ou 21°C em alguns dias de julho. A precipitação anual varia de 1.800 a 2.400 mm

Os dois principais e maiores rios que compõem sua hidrografia são o Urupá e o Machado (também conhecido como Rio Ji-Paraná), este possui um complexo

hidrográfico que abrange uma superfície de aproximadamente 92.500 km<sup>2</sup>, atravessando o estado no sentido sudeste-norte, sendo o mais extenso do estado. Embora tenha 50 cachoeiras ao longo de seu percurso, em alguns trechos o rio apresenta-se navegável, atendendo ao escoamento dos produtos oriundos do extrativismo vegetal na região. Também existem diversos córregos e riachos ao longo do município. O Rio Urupá desagua no Rio Machado e este desagua no Rio Madeira, importante afluente da margem direita do Rio Amazonas.

A bacia do Rio Machado possui um regime hidrográfico assim como muitos outros rios de regiões de clima tropical. No período da cheia, de dezembro a maio, áreas situadas próximas à margem costumam ser alagadas; no período de seca, trimestre de junho a agosto, o volume do rio diminui, onde é possível andar em algumas partes por cima de pedras que chegam até a superfície.

**Rolim de Moura** - Rolim de Moura está localizado na porção centro-leste do estado, na microrregião de Cacoal e na mesorregião do Leste Rondoniense.

Localiza-se a uma latitude 11°43'31" sul e a uma longitude 61°46'39" oeste, estando a uma altitude de 261 metros. Possui uma área de 1457,885 km<sup>2</sup> com uma população de 49.522 hab.. Seu território tem como limite os municípios de: Cacoal ao norte e Castanheiras ao noroeste, Pimenta Bueno e São Felipe d'Oeste ao leste, Santa Luzia d'Oeste e Alta Floresta d'Oeste ao Sul e Novo Horizonte d'Oeste à oeste.

O clima predominante é o equatorial, o mais chuvoso do Brasil, com a maior parte do ano quente e úmido, e aproximadamente 3 meses de seca. As estações de outono e inverno não são presentes.

As temperaturas médias anuais variam entre 24° e 26°C, podendo as máximas oscilar entre 28° e 33°C e as mínimas chegar a 18° ou 21°C em alguns dias de julho.

**Ministro Andreazza** - Ministro Andreazza é um município do estado de Rondônia. Localiza-se a uma latitude 11°11'49,5" sul e a uma longitude 61°31'01.9" oeste, estando a uma altitude de 283 metros. Sua população estimada em 2004 era de 11 223 habitantes. Possui uma área de 875,31 km<sup>2</sup>.

**Espigão d'Oeste** - Espigão d'Oeste é um município do estado de Rondônia. Localiza-se a uma latitude 11°31'29" sul e a uma longitude 61°00'46" oeste, estando a uma altitude de 270 metros. Sua população estimada em 2006 era de 27.559 habitantes. Possui uma área de 4.900 km<sup>2</sup>. Pertencente à microrregião de Cacoal.

Limites de município de Aripuanã ao norte, Vilhena à Leste, Cacoal à Oeste e Pimenta Bueno ao Sul.

**Presidente Médici** - Presidente Médici é um município do estado de Rondônia. Localiza-se a uma latitude 11°10'33" sul e a uma longitude 61°54'03" oeste, estando a uma altitude de 185 metros. Sua população estimada em 2006 era de 25.313 habitantes. Possui uma área de 1.758 km<sup>2</sup>.

**Pimenta Bueno** - Pimenta Bueno é um município do estado de Rondônia. Localiza-se a uma latitude 11°40'21" sul e a uma longitude 61°11'37" oeste. Sua população estimada em 2004 era de 31 416 habitantes.

Possui uma área de 6258,64 km<sup>2</sup> e conta com clima quente e úmido, amenizado pela altitude de 195 metros em que se encontra, apresenta grandes variações de temperatura entre os extremos diurnos e noturnos.

## 2.3 - COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS

### 2.3.1 - Coleta de águas

Para início do estudo sobre formação de Trihalometano, as estações de tratamento de água foram amplamente estudadas e de acordo com o fluxograma do processo, três pontos de amostragem foram dispostos para a coleta de amostra de água: água bruta (*in natura*), coagulação/decantação/filtração e pós-cloração (reservatórios). Apenas em dois municípios foram coletadas amostras de água fora da estação de tratamento, Cacoal e Ji-Paraná.

As coletas e análises foram realizadas em dois períodos distintos: o período de estiagem e o período chuvoso. A definição de dois períodos de coleta de dados foi necessária haja vista que as quantidades de matéria orgânica presente nas águas se elevam em época chuvosa, sendo necessária uma maior quantidades de reagentes químicos para sua depuração.

As coletas foram realizadas nos sistemas de tratamento e abastecimento de água nos municípios de Cacoal (ETA1), Ji-paraná (ETA2), Rolim de Moura (ETA3), Ministro Andreazza (ETA4), Pimenta Bueno (ETA5), Alta Floresta d'Oeste (ETA6), Espigão d'Oeste (ETA7) e Presidente Médici (ETA8), todos localizados na região centro-sul de Rondônia.

No município de Cacoal, além da coleta de amostras no sistema de tratamento e abastecimento, foi coletada amostra em reservatório localizado no Bairro Brizzon, localizado a 4 km de distância da estação de tratamento. O mesmo foi realizado no município de Ji-Paraná onde uma amostra de água potável foi coletada na Avenida Brasil situada a 5 km da ETA2.

Quanto à coleta de amostra, o método foi seguido de acordo com normas analíticas referentes aos parâmetros de interesse, daqueles que se enquadram nas normas da CETESB e manual prático de análise de águas do Departamento de Engenharia de Saúde Pública da Fundação Nacional da Saúde<sup>56</sup>.

Foram coletadas amostras em frascos específicos para análise de TAM limpos e esterilizados de capacidade de 20 mL pertencente à Cascardi Saneamento Básico Ltda, responsável pelas análises de TAM devidamente asseguradas com conservador tiosulfato de sódio 0,1M. Também foram coletadas amostras em frascos tipo PET de dois litros para análises físico-químicas. As amostras foram coletadas em duplicata ficando como sugestão de análises pela própria companhia de abastecimento de água potável.

### **2.3.2 - PROCESSAMENTO DOS EXAMES LABORATORIAIS DE ÁGUA**

As análises de TAM foram feitas por cromatografia gasosa com detector por espectrometria de massas (CG-EM) com concentrador por *purge-and-trap*, na Cascardi Saneamento Básico Ltda. em São Paulo, empresa prestadora de serviços de análises físico-químicas e microbiológicas. TAM foram analisados conforme portaria 518 de 25/03/2004 do Ministério da Saúde<sup>56</sup>.

Os métodos de análise físico-químicos foram realizados pelo autor deste trabalho, seguindo rigorosamente as normas *Standard Methods for examination of Water and Wastewater* - CETESB<sup>56</sup> realizadas na Faculdade de Ciências Biomédicas de Cacoal (FACIMED), estado de Rondônia e as normas contidas o Manual Prático de Análise de Águas do Departamento de Engenharia de Saúde Pública (Denps) da Fundação Nacional da Saúde - Ministério da Saúde<sup>66,67</sup>.

Os seguintes testes físico-químicos foram realizados na FACIMED: temperatura, turbidez (turbidímetro Tecnozon – mod. TB1000), pH (Phmetro Tecnozon – mod. Mpa210), condutividade (condutivímetro Tecnozon – mod. Mca150), alcalinidade sódica e total, dureza cálcica e total, cálcio, magnésio, cloro livre residual, bicarbonatos, cloretos, absorvância e transmitância (Fotocolorímetro



digital – Nova – modelo AE-11D), CO<sub>2</sub> livre e CO<sub>2</sub> total. Os métodos foram por volumetria de neutralização e titulação potenciométrica e medidas diretas nos equipamentos especificados acima.

### 2.3.3 - ANÁLISE DOS DADOS

Os dados foram agrupados em tabelas estatísticas e gráficos para análise. A análise forneceu os níveis de TAM formados após tratamento de água de abastecimento público e realizadas comparações com valores estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde e pela legislação vigente no Brasil, bem como algumas propriedades físico-químicas das águas de abastecimento público.

As amostras foram consideradas pareadas por serem sempre duas medidas na mesma unidade amostral com intervenção de chuvas na região, ou seja testes antes das chuvas e depois das chuvas. Segundo Rosner<sup>66</sup> amostras pareadas são consideradas em planejamentos nos quais são realizadas duas medidas na mesma unidade amostral, ou seja, dados pareados, onde a unidade é o seu próprio controle. Este tipo de planejamento foi utilizado neste trabalho para determinar o nível TAM antes e depois de uma intervenção (chuvas na região). Subentende-se a observações pareadas também como amostras dependentes. Foi utilizado o software BioEstat2 desenvolvido por Manuel Ayres<sup>68</sup>.

## 2.4 - CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA (ETA)

No **anexo B** são apresentados algumas fotos das ETA e seus pontos de coleta de água. Para consulta de vazão e domicílios atendidos por cada ETA, ver **Tabela 8** na página 43.

**2.4.1 – ETA de Cacoal** - A estação de tratamento de água de Cacoal (ETA1) tem uma vazão de 210 L/s capaz de abastecer mais de 12627 domicílios. Emprega como agente de desinfecção o cloro gasoso numa vazão de  $2,3 \times 10^{-3}$  Kg/L no período de estiagem e  $2,8 \times 10^{-3}$  Kg/L de água a ser tratada no período chuvoso. Emprega sulfato de alumínio como coagulante e não utiliza corretores de pH. A água bruta é captada diretamente do Rio Machado, situado a 1 Km de distância da ETA. Mantém análises periódicas físico-químicas e microbiológicas exceto TAM.

**2.4.2 – ETA Ji-Paraná** - A estação de tratamento de água de Ji-Paraná (ETA2) tem uma vazão de 280 L/s capaz de abastecer mais de 9117 domicílios. Emprega como agente de desinfecção o cloro gasoso numa vazão de  $2,9 \times 10^{-3}$  Kg/L no

período de estiagem e  $3,5 \times 10^{-3}$  Kg/L de água a ser tratada no período chuvoso. Emprega sulfato de alumínio como coagulante e não utiliza corretores de pH. A água bruta é captada diretamente do Rio Urupá, situado a 1,5 Km de distância da ETA. Mantém análises periódicas físico-químicas e microbiológicas exceto TAM.

**2.4.3 – ETA Rolim de Moura** - A estação de tratamento de água de Rolim de Moura (ETA3) tem uma vazão de 120 L/s capaz de abastecer mais de 4016 domicílios. Emprega como agente de desinfecção o cloro gasoso numa vazão de  $1,7 \times 10^{-3}$  Kg/L no período de estiagem e  $2,1 \times 10^{-3}$  Kg/L de água a ser tratada no período chuvoso. Emprega sulfato de alumínio como coagulante e não utiliza corretores de pH. A água bruta é captada diretamente do Rio D'Alen Court, situado a 1,5 Km de distância da ETA. Mantém análises periódicas físico-químicas e microbiológicas exceto TAM.

**2.4.4 – ETA Ministro Andreazza** - A estação de tratamento de água de Ministro Andreazza (ETA4) tem uma vazão de 9 L/s capaz de abastecer mais de 295 domicílios. Emprega como agente de desinfecção o hipoclorito de Cálcio numa concentração de  $0,7 \times 10^{-3}$  Kg/L no período de estiagem e  $0,9 \times 10^{-3}$  Kg/L de água a ser tratada no período chuvoso. Emprega sulfato de alumínio como coagulante e não utiliza corretores de pH. A água bruta é captada diretamente do Riacho Andreazza situado a 2,0 Km de distância da ETA. Mantém análises periódicas físico-químicas e microbiológicas exceto TAM.

**2.4.5 – ETA Pimenta Bueno** - A estação de tratamento de água de Pimenta Bueno (ETA5) tem uma vazão de 100 L/s capaz de abastecer mais de 5083 domicílios. Emprega como agente de desinfecção o cloro gasoso numa vazão de  $2,0 \times 10^{-3}$  Kg/L no período de estiagem e  $2,8 \times 10^{-3}$  Kg/L de água a ser tratada no período chuvoso. Emprega sulfato de alumínio como coagulante e não utiliza corretores de pH. A água bruta é captada diretamente do Rio Pimenta Bueno, situado a 1,0 Km de distância da ETA. Mantém análises periódicas físico-químicas e microbiológicas exceto TAM.

**2.4.6 – ETA Alta Floresta d'Oeste** - A estação de tratamento de água de Alta Floresta d'Oeste (ETA6) tem uma vazão de 12 L/s capaz de abastecer mais de 474 domicílios. Emprega como agente de desinfecção o cloro gasoso numa vazão de  $7,3 \times 10^{-4}$  Kg/L no período de estiagem e  $8,7 \times 10^{-4}$  Kg/L de água a ser tratada no período chuvoso. Emprega sulfato de alumínio como coagulante e não utiliza corretores de pH. A água bruta é captada diretamente do Rio Branco, situado a 1,5

Km de distância da ETA. Mantém análises periódicas físico-químicas e microbiológicas exceto TAM.

**2.4.7 – ETA Espigão d'Oeste** - A estação de tratamento de água de Espigão d'Oeste (ETA7) tem uma vazão de 22 L/s capaz de abastecer mais de 1391 domicílios. Emprega como agente de desinfecção o cloro gasoso numa vazão de  $0,8 \times 10^{-3}$  Kg/L no período de estiagem e  $1,3 \times 10^{-3}$  Kg/L de água a ser tratada no período chuvoso. Emprega sulfato de alumínio como coagulante e não utiliza corretores de pH. A água bruta é captada diretamente do Rio Branco, situado a 1,5 Km de distância da ETA. Mantém análises periódicas físico-químicas e microbiológicas exceto TAM.

**2.4.8 – ETA Presidente Médici** - A estação de tratamento de água de Presidente Médici (ETA8) tem uma vazão de 26 L/s capaz de abastecer mais de 2139 domicílios. Emprega como agente de desinfecção o cloro gasoso numa vazão de  $1,4 \times 10^{-3}$  Kg/L no período de estiagem e  $1,8 \times 10^{-3}$  Kg/L de água a ser tratada no período chuvoso. Emprega sulfato de alumínio como coagulante e não utiliza corretores de pH. A água bruta é captada diretamente do Rio Machado, situado a 1,0 Km de distância da ETA. Mantém análises periódicas físico-químicas e microbiológicas exceto TAM.

### CAPÍTULO 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Vários estudos mostram que a formação de TAM é maior em épocas chuvosas<sup>12,15,27</sup>. Os resultados desta dissertação de mestrado sugerem exatamente o contrário.

Ferreira<sup>69</sup> e Petry<sup>70</sup> relacionaram a absorbância com presença de precursores de TAM nas águas. Uma absorbância maior garante uma quantidade de substâncias orgânicas em maior quantidade aumentando a possibilidade de formação de TAM. No entanto neste estudo realizado a absorbância apresentou resultados maiores na época chuvosa, porém detectados apenas no espectro de 420 nm. A formação de TAM não foi maior, pelo contrário, foi menor na época chuvosa. Outros trabalhos trazem as medidas de absorbância em vários espectros<sup>6,63</sup>. Nesta dissertação a absorbância não é correlacionada com a formação de TAM, serve apenas como parâmetro de eficiência do tratamento de água.

Com base no estudo realizado neste trabalho, nos municípios selecionados, em todas as ETA há formação de TAM. Foi observado que não há um controle efetivo de pH das estações. Para corrigir o pH é necessária a adição de outros produtos reguladores, o que não acontece em nenhuma ETA. A princípio o não controle de pH dificulta no controle de outros aspectos, principalmente na formação de TAM.

Não há registro em nenhuma ETA de análise de TAM, nem mesmo estudos realizados no sentido de coleta de dados com referência à presença de TAM nas águas tratadas nos municípios selecionados para estudo do estado de Rondônia. Não há registro também de que em épocas chuvosas o nível formação de TAM seja menor como ocorreu neste estudo. Os resultados mostram que a formação de TAM não se restringe à presença de precursores apenas, e sim do tipo de solo da região, da composição atmosférica e também da tecnologia utilizada no tratamento.

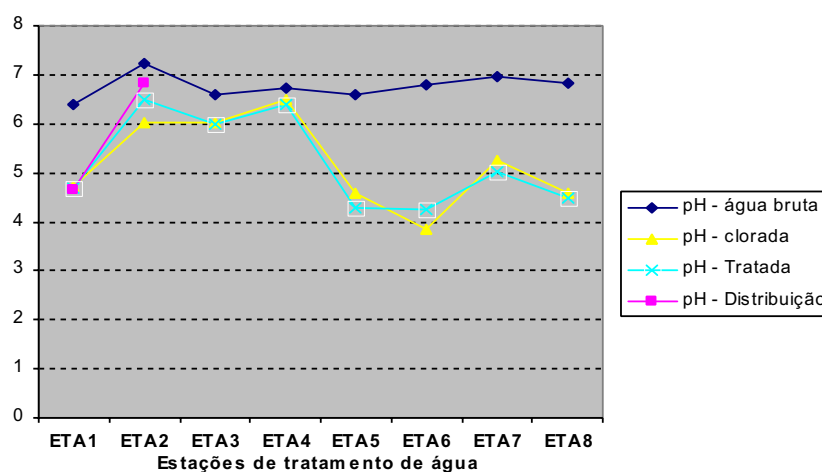
Os resultados das análises e medidas físico-químicas bem como as análises de TAM foram dispostos em Tabelas separados por pontos de amostragem. O valor crítico de *student* para um grau de liberdade igual a 7 conforme Tabela de teste t é de 2,3650.

As mudanças de pH em todos os pontos coletados na época de estiagem comparados com época chuvosa não foram significativas. No entanto comparando-se os tratamentos realizados houve uma significativa alteração reduzindo o pH da

água bruta para água clorada. Após cloração, coagulação e filtração comparando-se entre a água clorada e tratada não houve significativa mudança de parâmetros principalmente o pH.

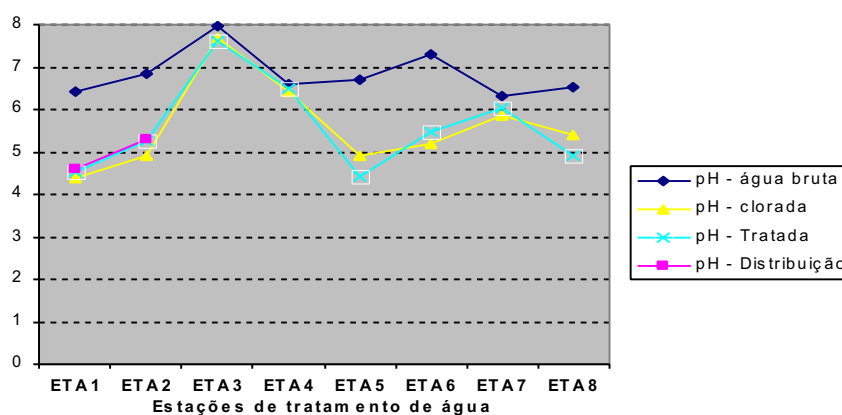
Analisando os **Gráficos 1 e 2**, em quase todas as ETA o sistema de tratamento reduz o valor do pH a níveis abaixo do permitido que é de 6,5 exceto em ETA2 e ETA4 para o período de estiagem e ETA3 e ETA4 para o período chuvoso onde são mantidos os valores nos níveis aceitáveis. Nos dois municípios onde foram coletadas amostras de água na distribuição, Ji-Paraná e Cacoal, em média de 4,5 Km de distância, houve um ligeiro aumento no pH.

**pH das águas - período de estiagem**



**Gráfico 1:** Variação de pH durante o período de estiagem em todas as ETA

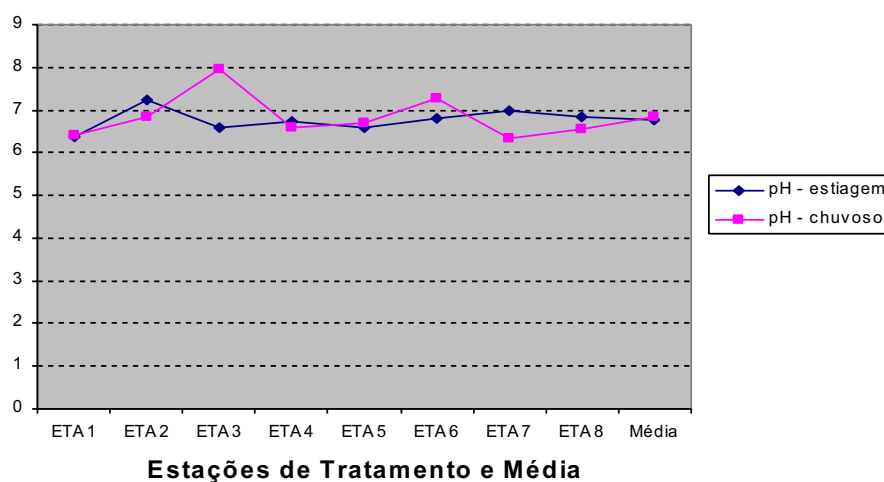
**pH das águas - período chuvoso**



**Gráfico 2:** Variação de pH durante o período chuvoso em todas as ETA

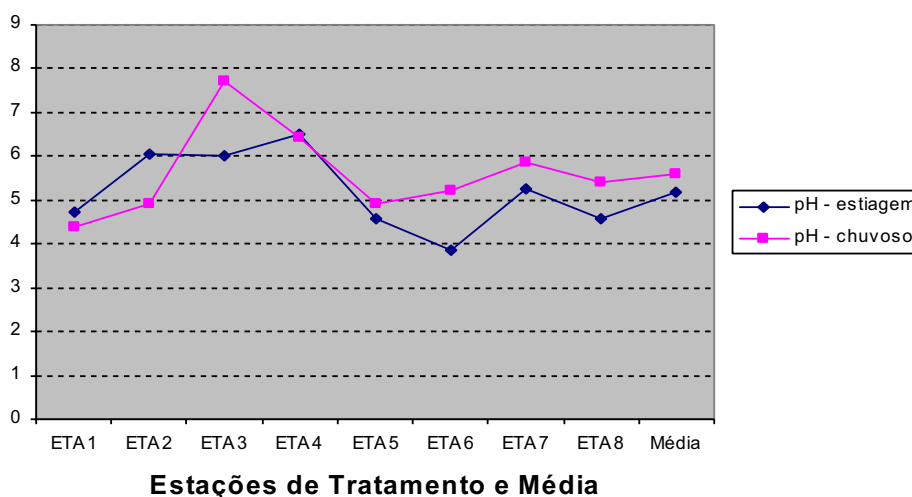
Um estudo comparativo também foi realizado quando foi submetido os dados aos **Gráficos 3, 4, 5 e 6** nos quais são mostradas as variações nas épocas sazonais nas ETA. Foi observado que os valores de pH no período chuvoso são maiores em algumas estações, exceto nas águas brutas. Isto se deve à carga maior de produtos químicos utilizados na depuração da água nas fases de cloração e tratamento, apesar de os testes mostrarem não ser significativos.

### pH água bruta - estiagem e chuvoso

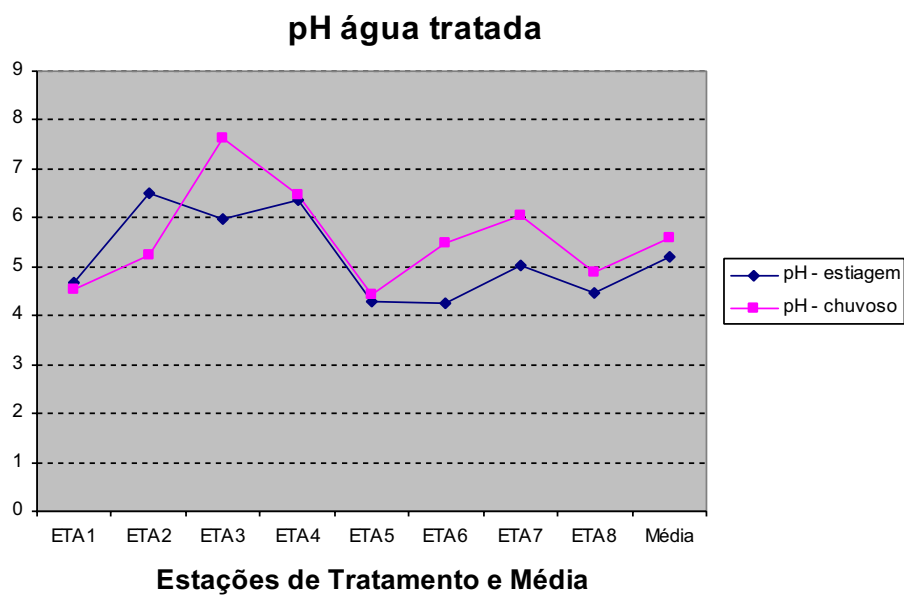


**Gráfico 03:** Variação de pH comparativo entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA na água bruta.

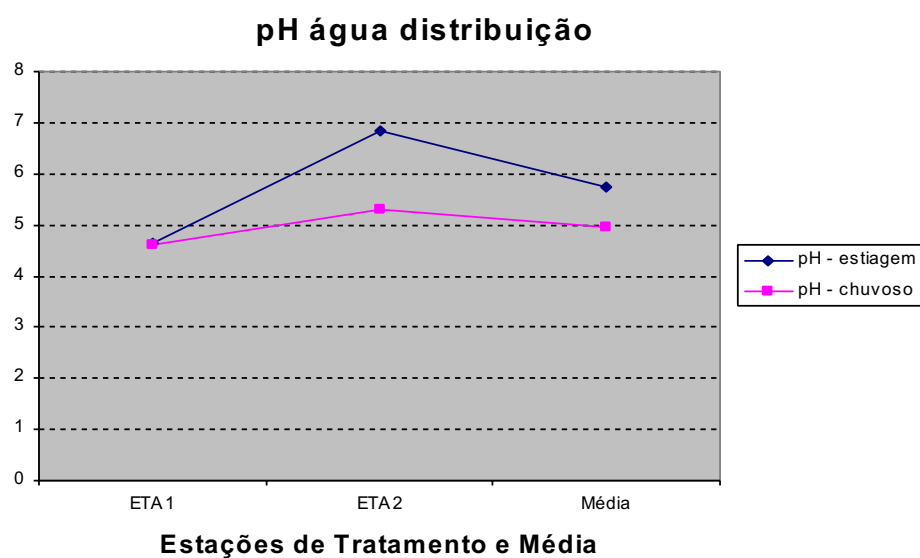
### pH água clorada



**Gráfico 04:** Variação de pH comparativo entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água clorada.



**Gráfico 5:** Variação de pH comparativo entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água tratada.



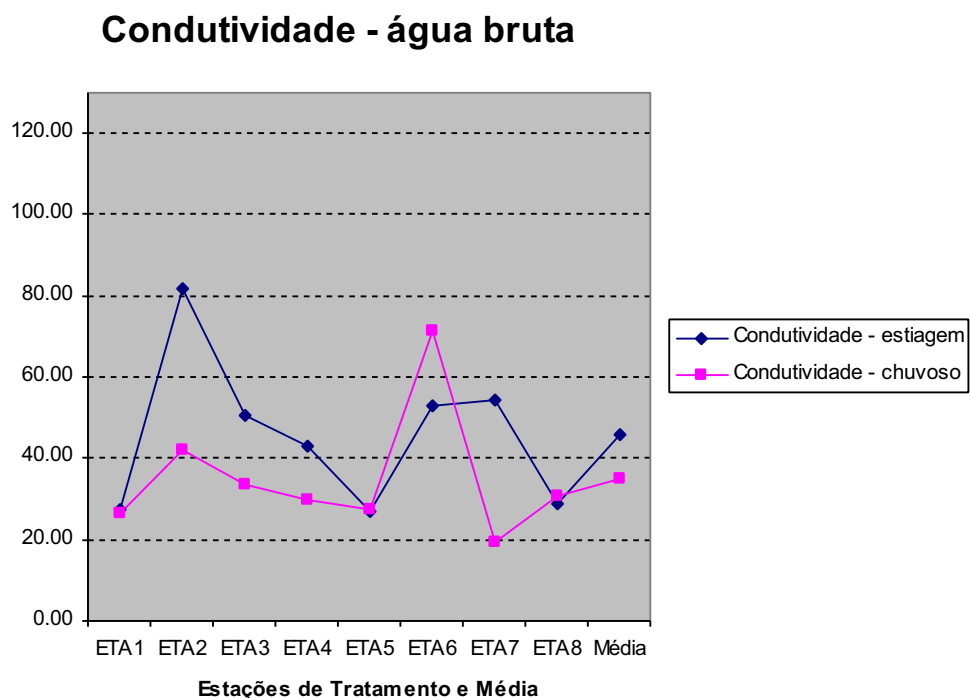
**Gráfico 6:** Variação de pH comparativo entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água de distribuição.

O **Gráfico 6** indica que na estação de tratamento ETA1 o pH da água tratada na distribuição, localizadas distantes da estação, não sofreu alteração nas duas épocas estudadas, porém para a estação ETA2 houve uma significativa diminuição

do pH da água tratada. Pelo **Gráfico 6** não há variação de pH da água tratada na estação até o ponto de distribuição.

As **Tabelas 12 e 13** apresentadas no **anexo A** quantificam as medidas de condutividade e turbidez nos dois períodos estudados. Estes dados são importantes por demonstrarem as quantidades de sais iônicos dissolvidos na água e também sólidos em suspensão capazes de aumentar a dispersão da luz quando medido em um turbidímetro. Tanto a turbidez como a condutividade sofreu significativas mudanças da água bruta para a clorada. Já a condutividade na época de estiagem comparada com a época chuvosa tanto da água clorada quanto da água tratada sofreu significativas mudanças. O acréscimo de substâncias químicas para reduzir a turbidez foi maior na época de chuvas.

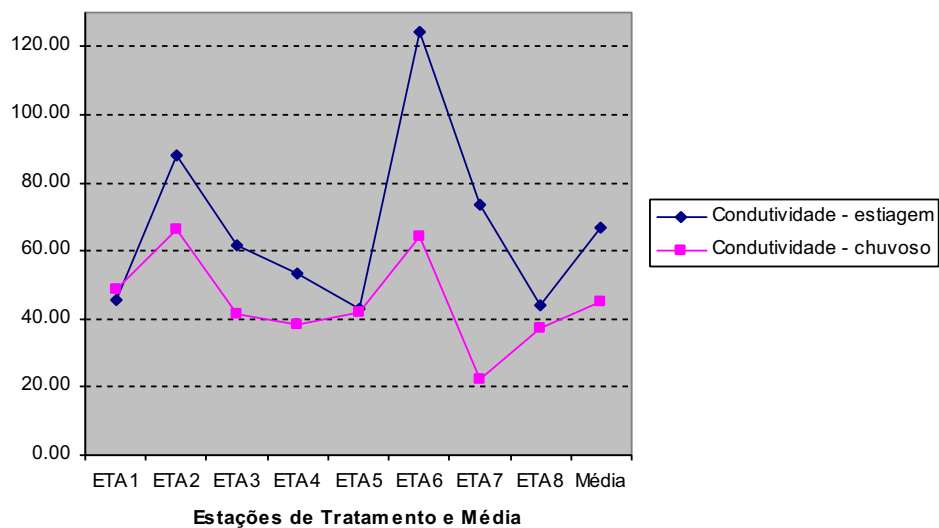
Os **Gráficos 7, 8, 9 e 10** mostram que a condutividade das águas no período chuvoso é menor que aquela no período de estiagem. A presença de substâncias iônicas nas águas pode ser precursora de formação de TAM. Os Gráficos demonstram que nas ETA2 e ETA6 resultaram em elevado nível de compostos iônicos solúveis condutoras que elevaram os níveis de formação de TAM.



**Gráfico 7:** Variação de condutividade comparativa entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água bruta.

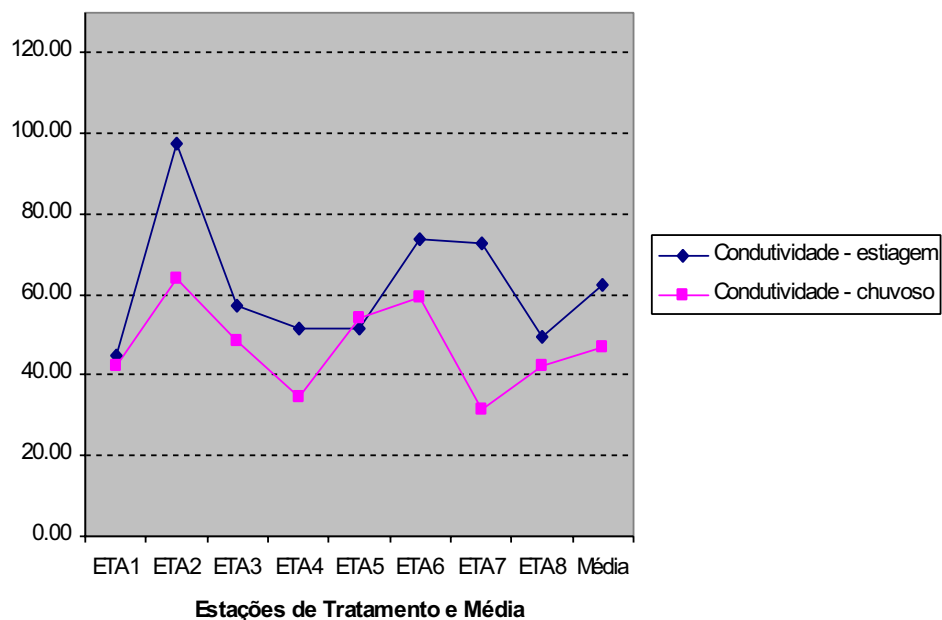


### Condutividade - água clorada



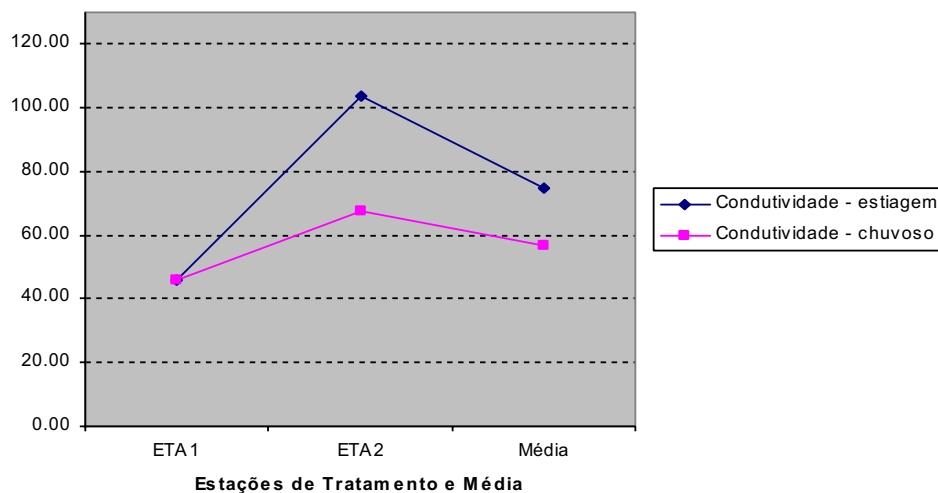
**Gráfico 8:** Variação de condutividades comparativa entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água clorada.

### Condutividade - água tratada



**Gráfico 9:** Variação de condutividades comparativa entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água bruta.

### Condutividade - água distribuição



**Gráfico 10:** Variação de condutividades comparativa entre período de estiagem e período chuvoso em todas as ETA da água de distribuição.

A cor, seja na forma de transmitância ou na forma de absorbância, é uma medida de grande importância nas análises de águas. Estas medidas demonstram os níveis de matéria húmica presente, matéria esta que, de acordo com a literatura pesquisada, aumenta o risco de formação de TAM. A alcalinidade serve de parâmetro na adição de agentes químicos coagulantes e controladores de pH.

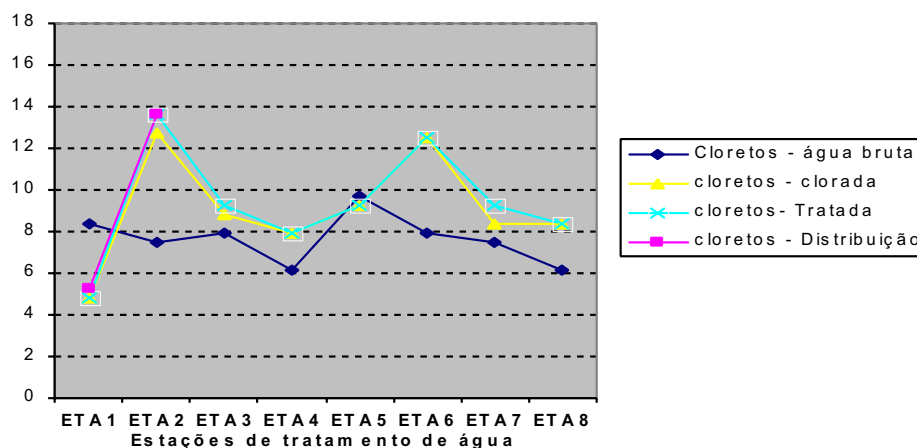
A transmitância medida na época de estiagem comparada àquela medida nas épocas de chuvas sofreu um aumento significativo. Teoricamente isso já era de se esperar pelo arraste de substâncias químicas de origem animal e do solo. O índice de cor (medido pela transmitância) mostra a eficiência das estações no processo de depuração e filtração.

Outro parâmetro importante na análise de precursores na formação dos TAM é a de cloretos que se formam devido a adição de cloro, presente na água bruta como parâmetro de contaminação de dejetos animais.

Os **Gráficos 11** e **12** demonstram que após tratamento com cloro como agente de desinfecção, os níveis de cloretos nas águas se elevam. Cloretos são detectados devido à presença de compostos formados ligados ao cloro. Novamente, assim como demonstrou as condutividades, há comprovação de que nas estações de tratamento ETA2 e ETA6 há compostos precursores de TAM em grande escala

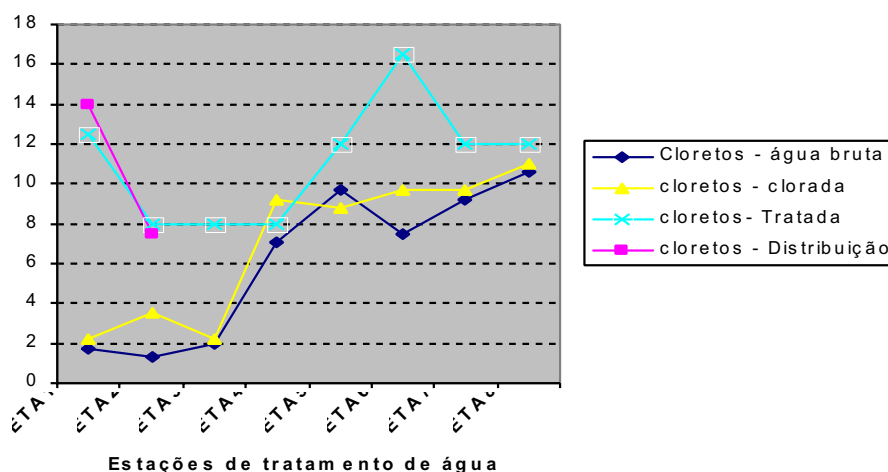
devido aos elevados índices de cloretos presentes. Foi observado que os cloretos não são provenientes de contaminações externas e sim formadas na própria estação.

#### Cloretos - período de estiagem



**Gráfico 11:** Variação de cloretos comparativa entre período de estiagem em todas as ETA.

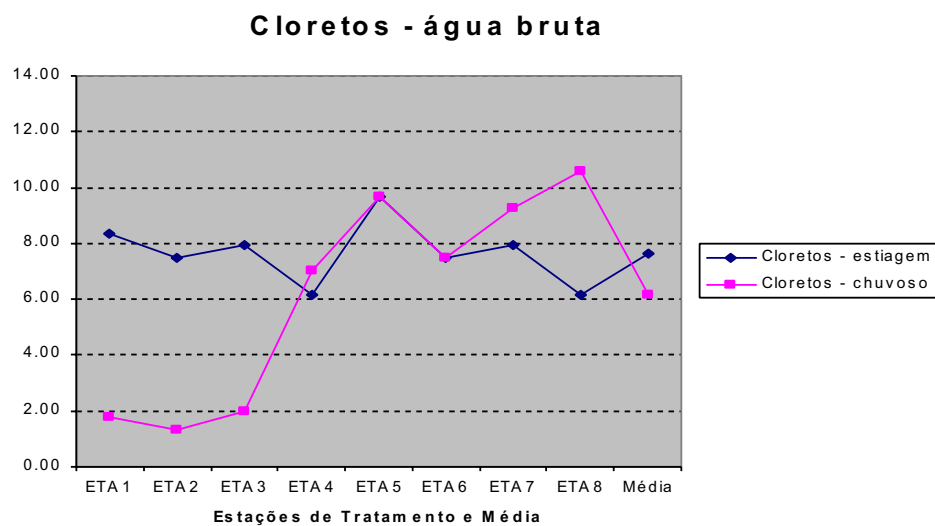
#### Cloretos - período de chuvoso



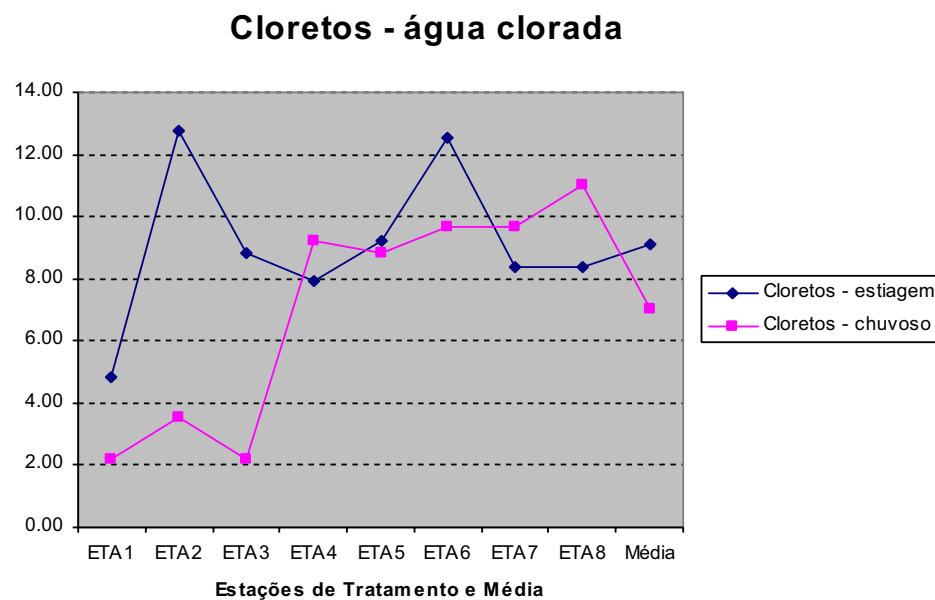
**Gráfico 12:** Variação de cloretos comparativa entre período chuvoso em todas as ETA.

**Nos Gráficos 13, 14, 15 e 16** algumas estações mantêm praticamente o nível de cloretos durante os dois períodos. Outras chegam a reduzir a quantidade de

cloretos na época chuvosa, apesar de usarem uma dosagem maior de cloro para desinfecção.

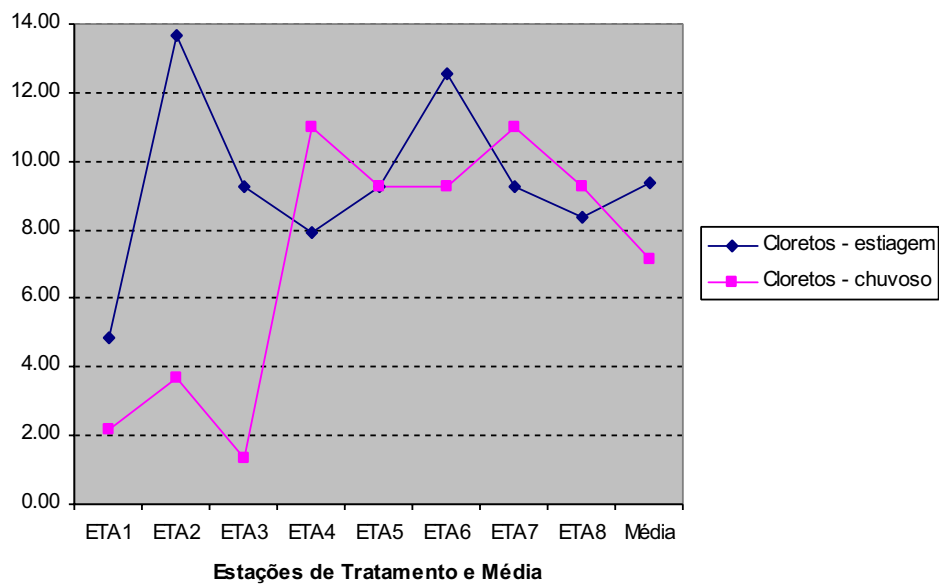


**Gráfico 13:** Variação de cloretos comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas brutas.



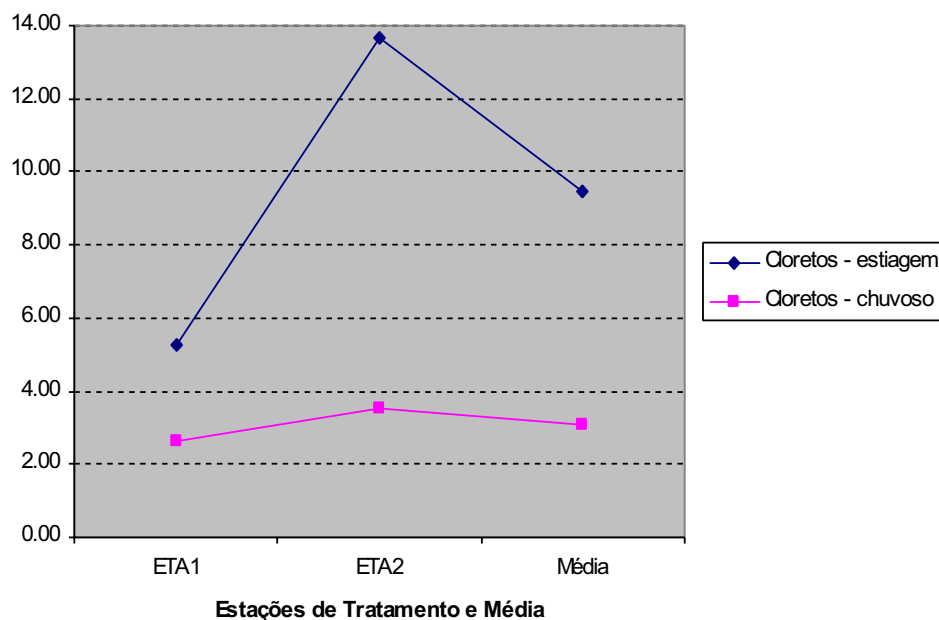
**Gráfico 14:** Variação de cloretos comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas cloradas.

### Cloretos - água tratada



**Gráfico 15:** Variação de cloretos comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas as ETA nas águas tratadas.

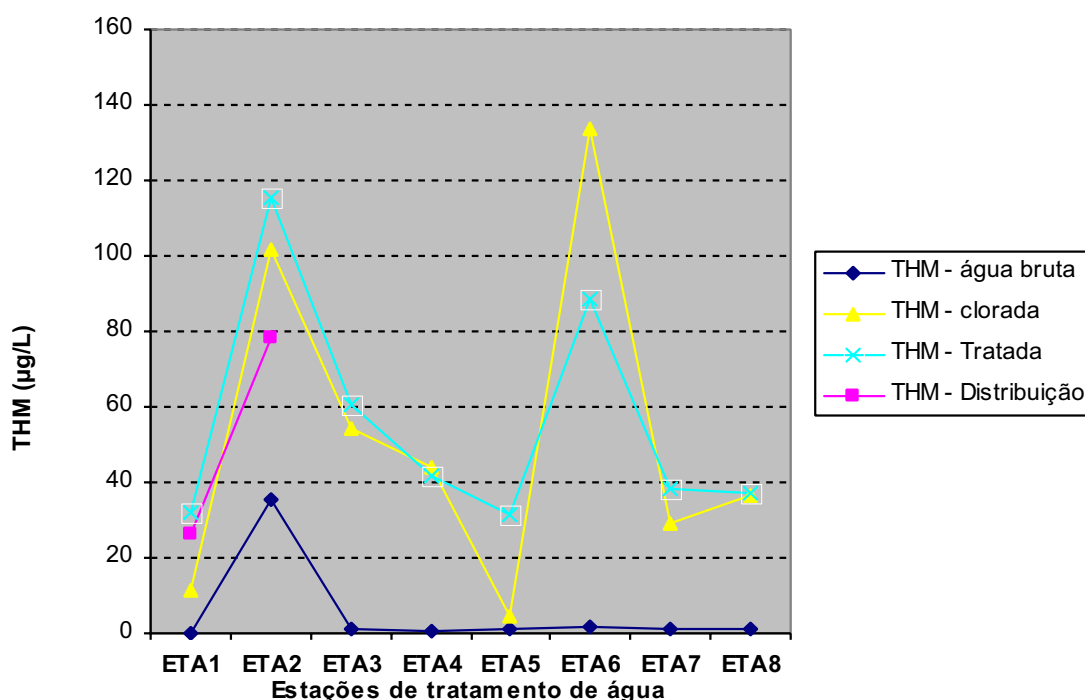
### Cloretos - água distribuição



**Gráfico 16:** Variação de cloretos comparativa entre período de estiagem e chuvoso nas ETA1 e ETA2 nas águas de distribuição.

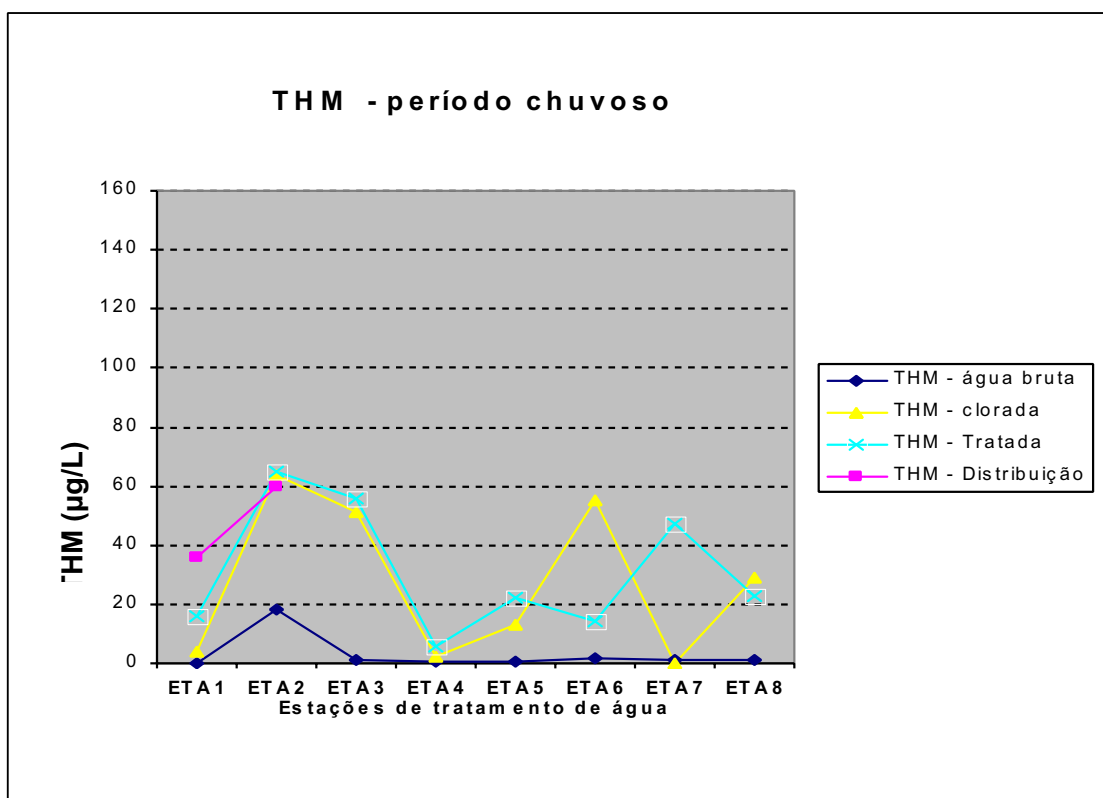
Os **Gráficos 17** e **18** mostram os níveis de TAM formados em todas as ETA. Tanto no período de estiagem quanto ao chuvoso há formação de TAM durante o processo de depuração da água. Em quase todas as ETA os níveis de TAM provenientes da água bruta são quase não detectados. Apenas na ETA2 os níveis são elevados. Este fato ocorreu tanto na estiagem como na época de chuvas. Analisando-se a posição geográfica da ETA2, percebe-se que a montante do rio existe um pólo residencial e industrial. Possivelmente TAM já estão sendo formados pelo setor industrial acima do rio fazendo com que a água bruta tenha índices que chegaram a 35 µg/L de TAM no período de estiagem e 18 µg/L de TAM no período de chuvas presentes na água bruta. Há indício de que diclorometano, solvente utilizado em algumas indústrias, esteja contaminando o rio a montante da captação da estação de tratamento de água ETA2.

### TAM - período de estiagem



**Gráfico 17:** Variação de TAM comparativo entre período de estiagem em todas ETA nas águas.

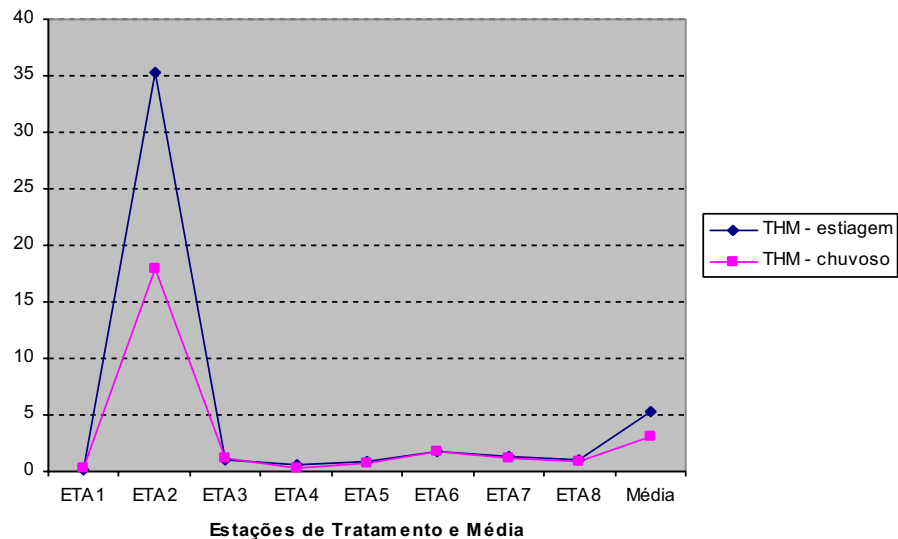
Os **Gráficos 19** e **20** mostram os níveis de TAM e absorvância encontrados nos períodos de estiagem e chuvosos. A absorvância, como parâmetro importante para observação de compostos fúlvicos e húmicos devido à decomposição de matéria orgânica das plantas, foi medida no período chuvoso alcançando um índice maior, o que de fato ocorre devido ao alto índice de chuvas e matéria orgânica período chuvoso.



**Gráfico 18:** Variação de TAM comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas brutas.

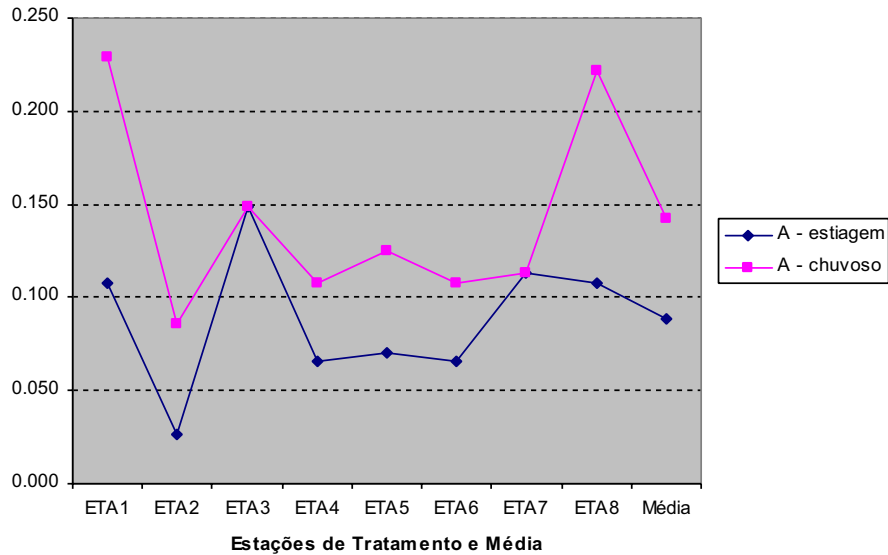
Descarta-se a possibilidade de erro analítico pois os mesmos índices de TAM abaixo do esperado foram encontrados em todos sistemas de tratamento estudados. **O Gráfico 20** mostra que em todas as ETA o nível de absorvância é maior na época chuvosa com aquele comparado com época de estiagem, conseqüentemente os níveis de TAM deveriam seguir estes níveis.

### THM água bruta



**Gráfico 19:** Variação de TAM comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas brutas.

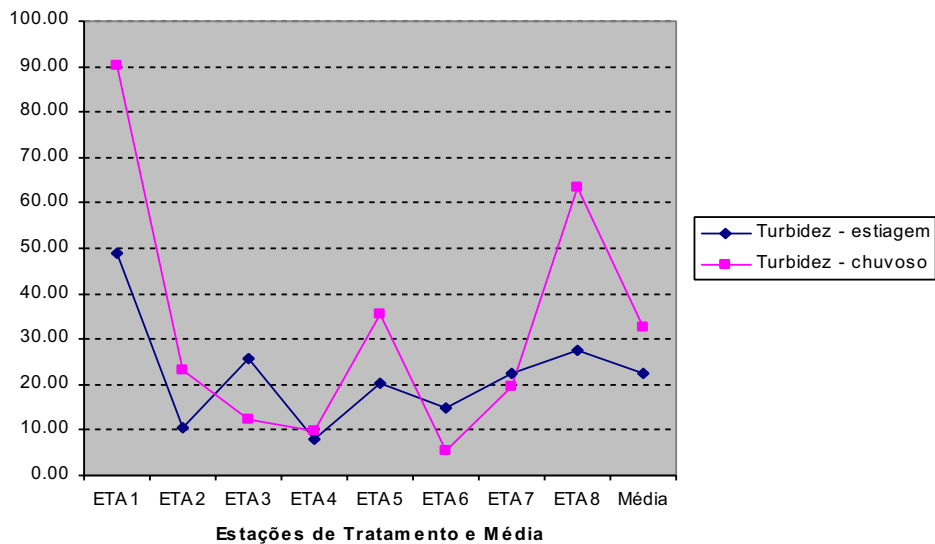
### Absorbância - água bruta



**Gráfico 20:** Variação de absorbância comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas brutas.

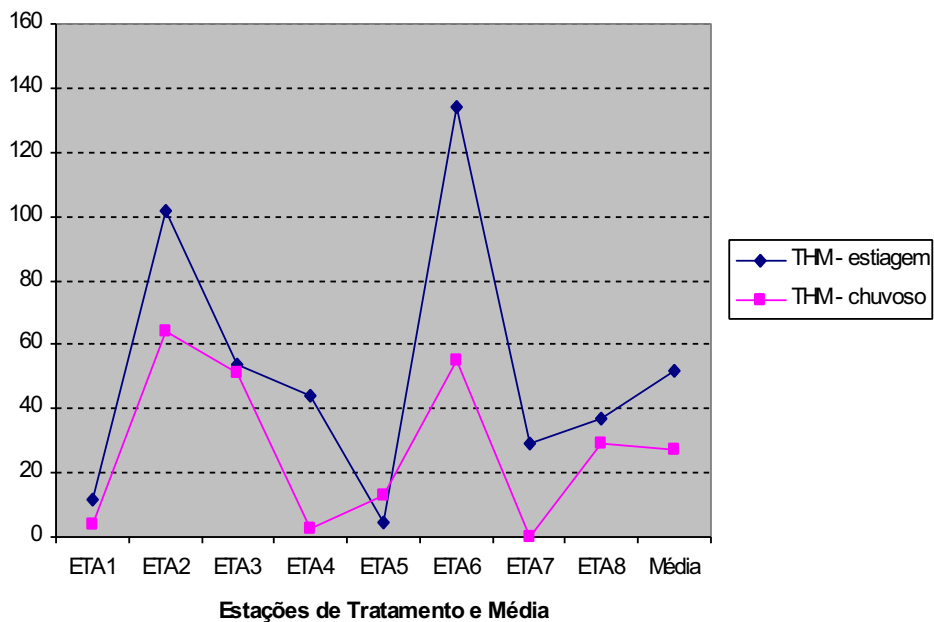


### Turbidez - água bruta



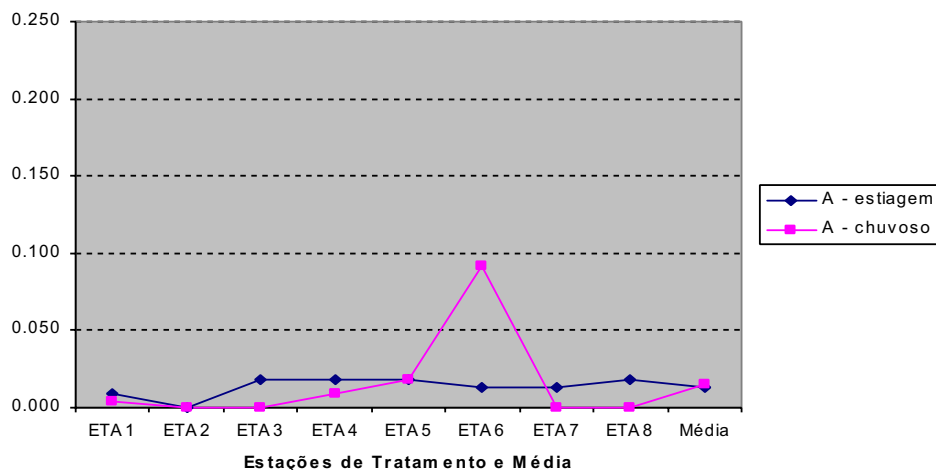
**Gráfico 21:** Variação de turbidez comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas brutas.

### THM água clorada



**Gráfico 22:** Variação de TAM comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas cloradas.

### Absorbância - água clorada

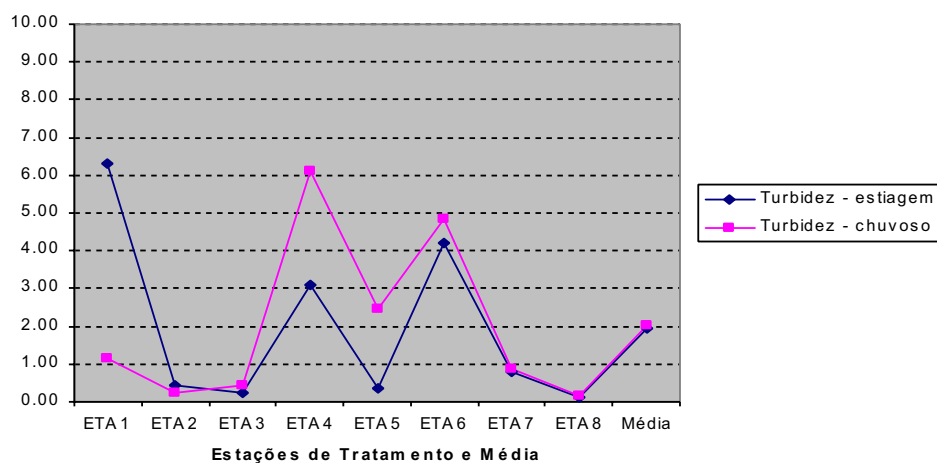


**Gráfico 23:** Variação de absorbância comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas cloradas.

A turbidez apresentada na maioria das ETA, com níveis mais elevados no período chuvoso, de acordo com o esperado teoricamente. Isto por causa do alto arraste de substâncias em épocas chuvosas.

O **Gráfico 24** mostra a redução efetiva a níveis significativos abaixo dos 5 NTU permitidos pelo Ministério da Saúde após coagulação e cloração. Portanto os tratamentos em relação à turbidez da maioria das estações são eficazes.

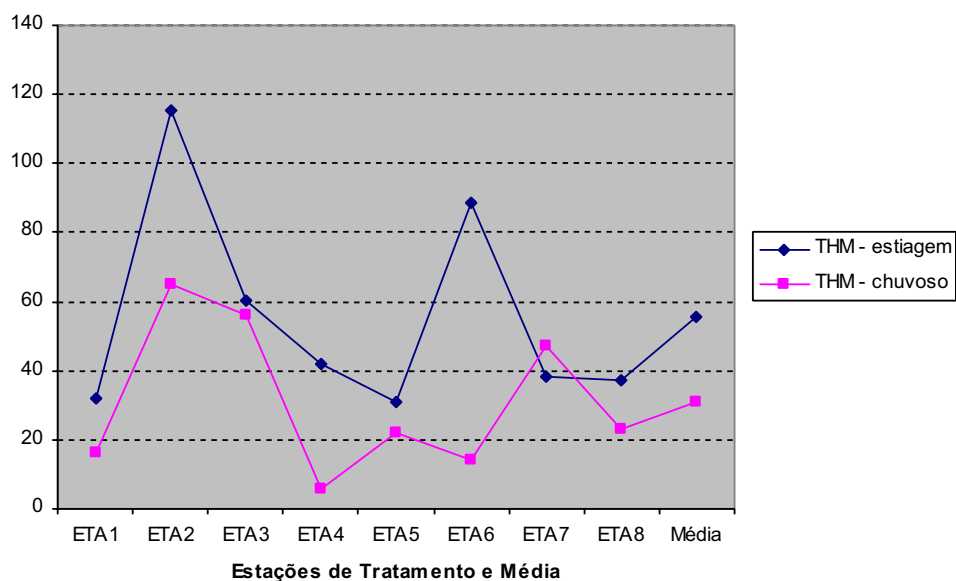
### Turbidez - água clorada



**Gráfico 24:** Variação de turbidez comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas cloradas.

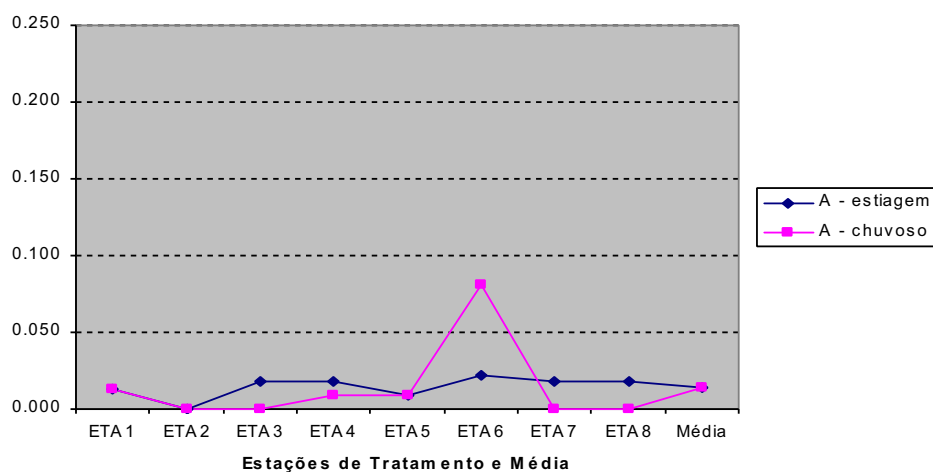
Apenas a ETA1 e ETA6 não atingiu uma redução da turbidez ao limite aceitável. Mesmo assim, os resultados mostrados nos gráficos apontam que a turbidez é indicio de suspensões em solução não sendo precursor de TAM, já que a ETA1 mantém níveis baixos de TAM.

### THM água tratada



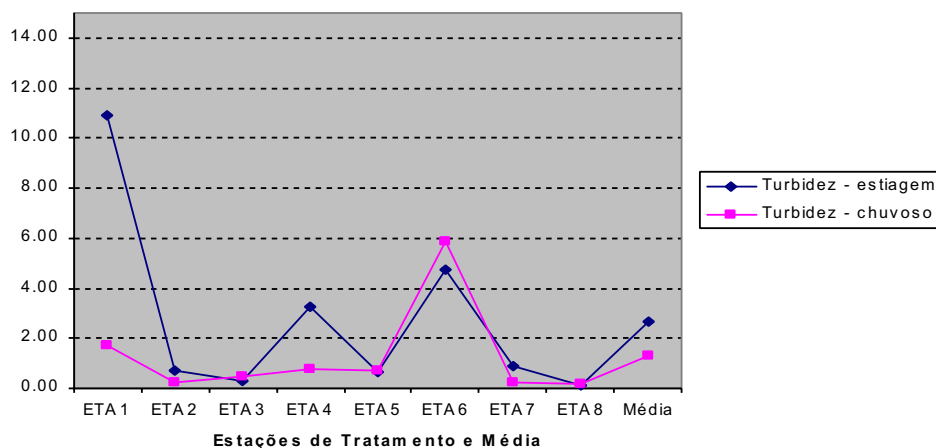
**Gráfico 25:** Variação de TAM comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas tratadas.

### Absorbância - água tratada



**Gráfico 26:** Variação de absorbância comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas tratadas.

### Turbidez - água tratada

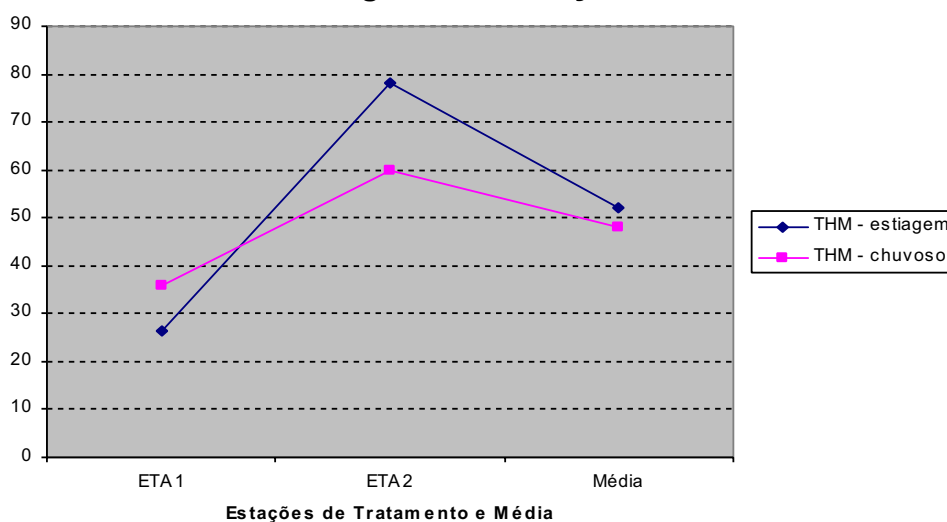


**Gráfico 27:** Variação de turbidez comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas tratadas.

Foram coletadas águas na distribuição de duas estações de tratamento de água, ETA1 e ETA2. Os pontos se situaram a uma média de 4,5 Km das estações.

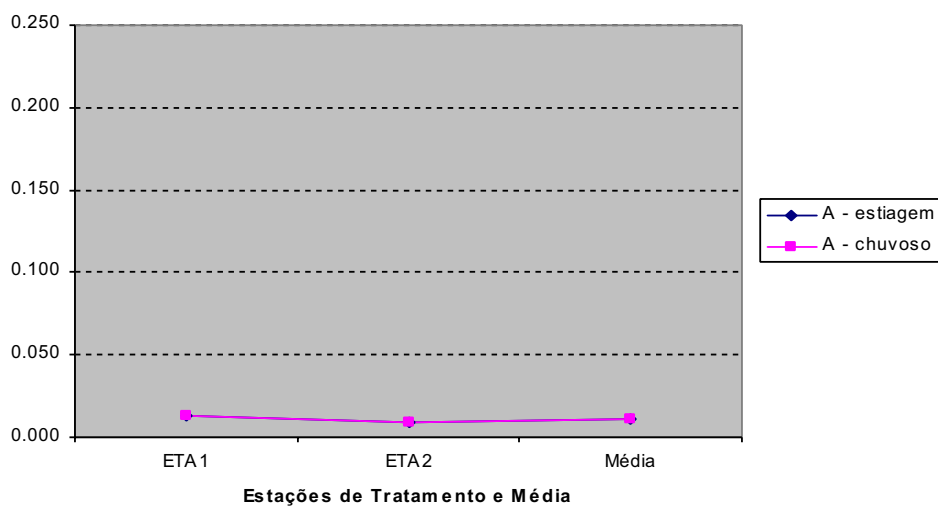
Os **Gráficos 28, 29 e 30** mostram as relações existentes entre os níveis de TAM, absorvância e turbidez nos períodos estudados. Observa-se que na ETA1 o nível de TAM em época chuvosa foi maior, já na ETA2 o nível de TAM foi menor, seguindo o ocorrido nas estações de tratamento. Águas com turbidez mais elevada na época de estiagem.

### THM água distribuição



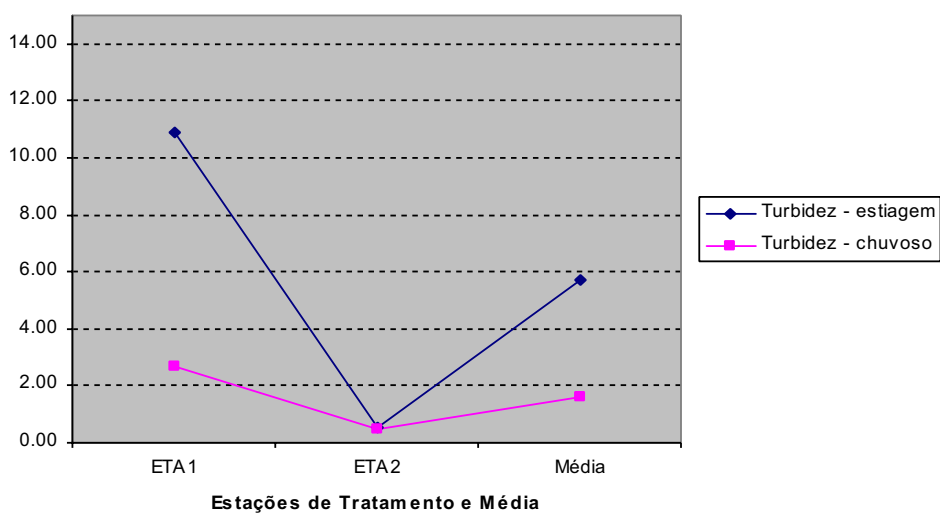
**Gráfico 28:** Variação de TAM comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas distribuição.

### Absorbância - água distribuição



**Gráfico 29:** Variação de absorbância comparativa entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas distribuição.

### Turbidez - água distribuição



**Gráfico 30:** Variação de turbidez comparativo entre período de estiagem e chuvoso em todas ETA nas águas distribuição.

De acordo com os gráficos apresentados as operações do processo de remoção de compostos húmicos e fúlvicos não são suficientes para minimizar a formação de TAM.

As estações aqui estudadas têm cada qual suas particularidades com relação ao tratamento. Rios diferentes, sistemas de tratamento diferentes com relação aos *lay-outs*.

De acordo com o *lay-out* de processo de cada ETA, pode-se observar que nas ETA onde a filtração é rápida, ou seja, imediatamente após adição de agente coagulante e a coagulação, quando a filtração é realizada, sem que haja muito tempo de contato do cloro com a matéria orgânica presente na água, os níveis de TAM são menores e há redução até o final da depuração da água. A ETA1 utiliza filtração imediatamente após a adição de reagentes e como resultado mantém um nível baixo de formação de TAM. No entanto em algumas estações, como, por exemplo, a ETA2, na qual a adição de coagulante é bem distante e leva algum tempo para começo de filtração e a adição de cloro é feita antes da filtração, o tempo de contato é maior, mantendo um nível elevado de TAM ultrapassando os níveis exigidos pela legislação. Nesta estação a disposição dos equipamentos propicia um maior tempo de contato entre cloro e matéria orgânica. Em outra estação de tratamento, a ETA6, apesar da vazão de tratamento ser bastante reduzida comparada às demais, o filtro não é bem dimensionado, não conseguindo manter níveis de turbidez toleráveis. A filtração não sendo bem dimensionada pode acarretar passagens de precursores de TAM e alto nível de formação dos compostos organoclorados, o que realmente acontece na estação. Nas demais ETA onde o processo de filtração é mais rápido e o tempo entre a coagulação e filtração é bastante reduzido, observa-se a baixa formação de TAM.

De acordo com estudo feito por Petry<sup>70</sup> a absorbância é maior nos dias chuvosos devido a altos níveis e concentração de matéria orgânica e conseqüentemente os índices de TAM são também elevados. Com relação à característica observada de que em época chuvosa a absorbância é maior devido à presença de compostos orgânicos conforme mostra o **Gráfico 20** era de se esperar que a formação de TAM atingisse a níveis maiores daqueles observados em época de estiagem. O fato de a água possuir uma maior condutividade em época de estiagem demonstra que nas chuvas há uma altíssima diluição dos leitos dos rios. A diluição dos rios pode ser provocada pelas características arenosas do solo

rondoniense que pode filtrar as águas superficiais e absorver em menor quantidade às matérias orgânicas provindas das plantas. Este acúmulo superficial faz com que a lavagem do solo nas primeiras chuvas ocasione um arraste mais rápido de toda matéria superficial e conseqüentemente, nas próximas chuvas uma diluição dos leitos, já que não há mais matéria de arraste. Um outro fator importante também a ressaltar é as queimadas na região com alto índice de gás carbônico na atmosfera e fuligens provocando um aumento nas concentrações de carbono. Os níveis de gás carbônico total nas águas brutas foram maiores em épocas de estiagem. As águas conseguem manter em equilíbrio com a atmosfera 0,7 µg/L de CO<sub>2</sub>.

Petry<sup>70</sup> realizou análises de precursores de TAM através de absorbância no espectro 254 nm. Os resultados apresentados da absorbância medido em 420 nm mostram que não há presença de muitos compostos precursores de TAM que geralmente são detectados em 254 nm. Em todas as análises só foi possível detectar absorbância no espectro de 420 nm. Assim a absorbância não é tida como parâmetro, neste estudo, para formação de trialometanos.

É importante verificar os pontos críticos existentes, nas cidades de Ji-Paraná e Alta Floresta d'Oeste. Estudos e monitoramento dos sistemas destas duas cidades devem ser realizados para otimizar e minimizar a formação de TAM. Como agravante, na cidade de Ji-Paraná, diclorometano presente na água bruta é resultando de despejo industrial do solvente. Na estação de tratamento o diclorometano é quase que totalmente transformado em clorofórmio, que pelos estudos apresentados pode ter correlação com câncer e mutagenicidade. A água bem cuidada quanto à presença de TAM, minimizada nas quantidades permitidas, é indispensável para a saúde pública.

## **CAPÍTULO 4 – CONCLUSÃO, CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES**

### **4.1 – CONCLUSÃO**

- Em todas as estações de tratamento de água há formação de trihalometanos;
- A disposição de equipamentos das estações de tratamento de água influencia na formação de trihalometanos;
- Nos municípios de Ji-Paraná e Alta Floresta d'Oeste existe uma maior probabilidade de formação de trihalometanos;
- Os níveis de trihalometanos em água são influenciados pela sazonalidade.

### **4.2 – CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES**

É necessário que se faça:

- Monitoramento durante todo o processo nas estações de tratamento de água quanto à formação de trihalometanos;

De acordo com os resultados apresentados nesta dissertação, há necessidade que se faça um conjunto de ações adotadas continuamente pelas estações, para manter uma vigilância da qualidade da água devendo ser rotineiro, preventivo, de ação em busca de soluções alternativas para redução das possibilidades de enfermidades transmitidas pela água, principalmente àquelas provocadas pela presença de trihalometanos.

- Análises de trihalometanos a montante do ponto de captação de água bruta do Rio Urupá em Ji-Paraná;

Há necessidade de uma avaliação sistemática das diversas modalidades de tratamento de água de forma a verificar o grau de risco representado à saúde em função do manancial abastecedor, adequabilidade do tratamento e questões de ordem operacional.



- A otimização de alguns processos utilizados nas estações a fim de minimizar a formação de subprodutos de cloração da água.

Tendo em vista as peculiaridades dos solos da região de Rondônia, apesar dos rios serem diferentes nos estudos, recomenda-se um estudo mais apurado com possível formação de banco de dados que permita o estabelecimento de modelos matemáticos bem como um monitoramento específico por tempo prolongado em algumas ETA a fim de melhoria e otimização na minimização de formação dos TAM levando-se, também, em consideração que existe ETA recebendo água bruta com TAM em altos índices, podendo inclusive ser indício de contaminantes contendo halometanos a montante do local de captação de água bruta.

#### **4.3 - PERSPECTIVAS DE ESTUDOS POSTERIORES**

- Possível correlação entre a condutividade e formação de trialometanos como medida indireta na formação de trialometanos;
- Correlação entre a possibilidade de incidência de câncer na região com a presença de trialometanos nas águas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PÁDUA, V. L. ; AVELINO, F. F. ; NUNES, L. M. S. ; NASCIMENTO, R. F. ; FREIRE, R. E. . Avaliação da potencialidade de remoção de trihalometanos por aeração. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, 2003, Joinville - SC.
2. OPAS. Água e Saúde. Organização Pan-Americana da Saúde. Brasil: Escritório Regional da Organização Mundial da Saúde 2001.
3. LINDSTROM, A. B.; PLEIL, J. D.; BERKOFF, D. C. Alveolar breath sampling and analysis to assess trihalomethane exposures during competitive swimming training. **Environ Health Perspect**, v.105, n.6, Jun, p.636-642, Jun 1997.
4. ZARPELON, A.; RODRIGUES, E. M. Os trihalometanos na água de consumo humano. Revista Técnica da Sanepar - Empresa de Saneamento do Paraná. 17: 6 p. 2007.
5. TOMINAGA, Y. M.; MÍDIO, A. F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. Revista de Saúde Pública. 33: 413-421 p. 1999.
6. SALVO, M. T. **Redução de precursores de trihalometanos por coagulação otimizada**. 276 p. Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, Campinas-SP, 2002.
7. HOOD, E. Tap Water and Trihalomethanes Flow of Concerns Continues. EPH - Environmental Health Perspectives. 113: A-472 p. 2005.
8. WHITAKER, H. J.; NIEUWENHUIJSEN, M. J.; BEST, N. G. The relationship between water concentrations and individual uptake of chloroform: a simulation study. **Environ Health Perspect**, v.111, n.5, May, p.688-94. 2003.
9. CIR - Claire Infante-Rivard. Drinking Water Contaminants, Gene Polymorphisms, and Fetal Growth. Department of Epidemiology, Biostatistics and Occupational Health, Faculty of Medicine, McGill University, Montréal, Québec, Canada - **Environmental Health Perspectives** • volume 112, number 11, August 2004.
10. VIEIRA, F.M.A, Et.al. - Avaliação do potencial citotóxico e mutagênico do clorofórmio. In: Congresso internacional de engenharia sanitária e ambiental de Cancun, 23,2002, Cancún-México.
11. CHAPIN, R.; GULATI, D.; HOPE, E.; MOUNCE, R.; RUSSELL, S.; POONACHA, K.B.. Chloroform. **Environmental Health Perspectives** \* EPA-815-R-05-010-DCT/2005.
12. HIRIART, M. M.; LÓPEZ-VIDAL, Y.; PONCE-DE-LEÓN, S.; CALVA, J.J.; ROJO-CALLEJAS, F.; CASTILLO-ROJAS, G.. Longitudinal Study of Microbial Diversity and Seasonality in the Mexico City Metropolitan Area Water Supply System. Applied and Environmental Microbiology, Sept. 2005, p. 5129–5137 Vol. 71, No. 9.

13. BORGES, J. T.; SPARRAPAN, R.; GUIMARÃES, J. R.; EBERLIN, M. N. A influência do íon brometo no potencial de formação de trihalometanos. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária y Ambiental, 28, 2002, Cancun - México.
14. ZARPELON, A. Uso do cloro e os trihalometanos (THM). *Sanare*, v.15, n.15., p.4-6, Jan/Jun. 2001.
15. SARMIENTO, A.; ROJAS, M.; MEDINA, E.; OLIVET, C.; CASANOVA, J. Investigación de trihalometanos en agua potable del Estado Carabobo, Venezuela. *Garc Sanit.* v.17(2): 137-43 p. 2003.
16. GETER, D. R.; CHANG, L. W.; HANLEY, N. M.; ROSS, M. K.; PEGRAM, R. A.; DEANGELO, A. B. Analysis of in vivo and in vitro DNA strand breaks from trihalomethane exposure. *J Carcinog*, v.3, n.1, p.1-8, Feb 2004.
17. MONDARDO, R.I.. **Influência da pré-oxidação na tratabilidade das águas via filtração direta descendente em manancial com elevadas concentrações de microalgas e cianobactérias.** 105p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
18. MARMO, C. R. **Formação e remoção de trihalometanos em águas de abastecimento tratadas, na pré-oxidação, com cloro livre.** 253 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
19. WHO. Monochloramine in Drinking-water. W. H. ORGANIZATION. Canadá: Guidelines for Drinking-water Quality: 21 p. 2004.
20. MACÊDO, J.A.B.. Importância do processo de desinfecção em águas de piscinas. *Informativo CRQ-14*. Edição Janeiro / Fevereiro de 2002.
21. LÉO, L.F.R.; PIVELLI, R.P.; FEBRETTI, A.A.; MACEDO, M.F.. Avaliação da formação de Trihalometanos na desinfecção de esgotos brutos, anaeróbios, facultativos e pós-tratados com hipoclorito de sódio. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23, Campo Grande - MS - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – 2005.
22. LYNBERG, M.; NUCKOLS, J. R.; LANGLOIS, P.; ASHLEY, D.; SINGER, P.; MENDOLA, P.; WILKES, C.; KRAPFL, H.; MILES, E.; SPEIGHT, V.; LIN, B.; SMALL, L.; MILES, A.; BONIN, M.; ZEITZ, P.; TADKOD, A.; HENRY, J.; FORRESTER, M. B. Assessing exposure to disinfection by-products in women of reproductive age living in Corpus Christi, Texas, and Cobb county, Georgia: descriptive results and methods. *Environ Health Perspect*, v.109, n.6, p.597-604, Jun 2001.
23. WINDHAM, G. C.; WALLER, K.; ANDERSON, M.; FENSTER, L.; MENDOLA, P.; SWAN, S. Chlorination by-products in drinking water and menstrual cycle function. *Environ Health Perspect*, v.111, n.7, p.935-41, Jun 2003.

24. WRIGHT, J. M.; SCHWARTZ, J.; DOCKERY, D. W. The effect of disinfection by-products and mutagenic activity on birth weight and gestational duration. **Environ Health Perspect**, v.112, n.8, p.920-5, Jun 2004.
25. MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. **Cad Saude Publica**, v.10, n.1, p.99-110, Jan-Mar 1994.
26. DO, M. T.; BIRKETT, N. J.; JOHNSON, K. C.; KREWSKI, D.; VILLENEUVE, P. Chlorination disinfection by-products and pancreatic cancer risk. **Environ Health Perspect**, v.113, n.4, p.418-424, Apr 2005.
27. ANDREOLA, R.; BERGAMASCO, R.; GIMENEZ, M. L.; PRADO, B. D. F.; CONSTANTINO, A. F. Formação de trihalometanos em uma estação de tratamento de água. **Acta Sci. Technol.**, v.27, n.2, p.133-141, jul/dez 2005.
28. RIBEIRO, J.T.; JÚNIOR, R.B.. Gradiente de velocidade: Efeitos na Adsorção-Desestabilização para remoção de PFTAM's. UNICAMP-SP, 2000.
29. NUCKOLS, J. R.; ASHLEY, D. L.; LYU, C.; GORDON, S. M.; HINCKLEY, A. F.; SINGER, P. Influence of tap water quality and household water use activities on indoor air and internal dose levels of trihalomethanes. **Environ Health Perspect**, v.113, n.7, p.863-870, Jul 2005.
30. United States Environmental Protection Agency - Drinking Water Contaminants. USEPA 816-F-03-016, Washington, June 2003.
31. \_\_\_\_\_. Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual. USEPA 815-R-99-014, Washington, April 1999.
32. \_\_\_\_\_. The Occurrence of Disinfection By-Products (DBPs) of Health Concern in Drinking Water: Results of a Nationwide DBP Occurrence Study. USEPA/600/R-02/068, Washington, September 2002.
33. \_\_\_\_\_ - Controlling Disinfection By-Products and Microbial Contaminants in Drinking Water - USEPA 600-R-01-110- (20460)- Washington, December 2001.
34. \_\_\_\_\_. Microbial and Disinfection Byproduct Rules Simultaneous Compliance Guidance Manual. USEPA 815-R-99-015, Washington, August 1999.
35. BRAGA, F.M.G.; ARAÚJO, J.C.; SALES, M.V.; NASCIMENTO, R.F.; PÁDUA, V.L.. Diagnóstico da ocorrência de trihalometanos (TAM's) na rede de abastecimento de água de fortaleza – CE, Brasil. Universidade Federal do Ceará. 2002.
36. ALEGRIA, A.; SOUZA, I. J.; SANTOS, S. A.; CAVACO, A.; COIMBRA, M. A.; CRUZ, V.; HESPANHOL, I.; MATEUS, I.; SANTOS, E. P. Trihalometanos - análise da situação em Portugal. In: Congresso da Água – APRH, IV, Lisboa-Portugal, março 1998.

37. BRASIL – Ministério da Saúde - Portaria n. 36/ 1990. **Diário Oficial da República federativa do Brasil**. Brasília, 19 de janeiro de 1990.
38. BRASIL, M. S. Portaria MS nº 518/2004: Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental - Brasília: Editora do Ministério da Saúde ISBN 85-334-0935-4 - MS - OS 2005/0358: 28 p. 2005.
39. DOYLE, T. J.; ZHENG, W.; CERHAN, J. R.; HONG, C. P.; SELLERS, T. A.; KUSHI, L. H.; FOLSOM, A. R. The association of drinking water source and chlorination by-products with cancer incidence among postmenopausal women in Iowa: a prospective cohort study. **Am J Public Health**, v.87, n.7, p.1168-1176. Jul1997.
40. MACÊDO, J. A. B.; BARRA, M. M. Processos de desinfecção com derivados clorados orgânicos em águas para abastecimento público. In: Encontro Mineiro de ensino de Química. Universidade federal de Viçosa – MG, outubro 2003.
41. ESPARZA, M. L. C. Uso de cloro para la desinfección de agua para consumo: efectos en la salud humana. Revista de divulgação técnica - CEPIS/OPS/HDT: 49-50 p. Mar-Jun 1992.
42. TYE, E. ARBUCKLE, T.E.; HRUDEY, S.E; *et al.* Assessing Exposure in Epidemiologic Studies to Disinfection By-Products in Drinking Water: Report from an International Workshop. **Environmental Health Perspectives** • VOLUME 110 |Suplement 1 | February 2002.
43. USEPA (2005). Economic Analysis for the Final Stage 2 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule. Federal register, vol 63, n. 241, Dez 1998.
44. BOVE, F.; ZEITZ, P.; SHIM, Y.. Drinking Water Contaminants and Adverse Pregnancy Outcomes: A Review. **Division of Health Studies**, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, Georgia, USA-2002.
45. MACÊDO, J. A. B.; ANDRADE, N. J.; ARAÚJO, J. M. A.; CHAVES, J. B. P.; SILVA, M. T. C.; JORDÃO, C. P. Cloraminas Orgânicas uma solução para evitar a formação de trihalometanos no processo de desinfecção de águas para abastecimento público. Revista Higiene Alimentar. v.15, 93-103 p, Nov/Dez 2001.
46. MACÊDO, J. A. B. O processo de desinfecção pelo uso de derivados clorados em função do pH e a portaria 518/2004 do Ministério da Saúde. In: Congresso Brasileiro de Química. Fortaleza-CE. Setembro 2004.
47. SOUZA, J. B.; DANIEL, L. A. Comparação entre hipoclorito de sódio e ácido peracético na inativação de E. coli, colifagos e C. perfringens em água com elevada concentração de matéria orgânica. Engenharia Sanitária Ambiental. São Paulo. v.10; 111-117 p., 2005.

48. CALDERÓN, J.; CAPELL, C.; CENTRICH, F.; ARTAZCOZ, L.; GONZÁLEZ-CABRÉ, M.; VILLALBÍ, J. R. Subproductos halogenados de la cloración en el agua de consumo público. Gac Sanit. v.16(3): 241(3) p. 2002.
49. BORGES, J.T.. **Determinação de trialometanos em águas de abastecimento e a influência do íon brometo, da amônia e de algas na formação desses compostos.** 171p. Tese (Doutorado pela Faculdade de Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas. Campinas –SP, 2003.
50. GORDON, S.M.; BRINKMAN, M.C.; ASHLEY, D.; BLOUNT, B.C.; LYU, C.; MASTERS, J.; SINGER P.C.. Changes in Breath Trihalomethane Levels Resulting from Household Water-Use Activities. **EHP - Environmental Health Perspectives.** Vol.114, number 4, April 2006.
51. BELLO, A.R.C.. **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.** – 117p. Dissertação (Mestrado pelo Instituto de Biociências) - Universidade Estadual Paulista-Rio Claro – SP, jan/2003.
52. RIBEIRO, J.T.; JÚNIOR, R.B.. Uso do permanganato de potássio e carvão ativado em pó na remoção de ácidos húmicos. UNICAMP-SP- 2000.
53. WAHMAN, D.G.; KATZ, L.E.; SPEITEL, G.E.JR.. Cometabolism of Trihalomethanes by *Nitrosomonas europaea*. Applied and Environmental Microbiology, Vol. 71, No. 12 , p. 7980–7986, dec. 2005.
54. LUCA, S.J.D.; SCHUCK, C.A.; PERALBA, M.C.R - Trialometanos e Ácidos Haloacéticos na Desinfecção com Hipoclorito de Efluentes Biologicamente Tratados. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, Joinville - Santa Catarina, Setembro 2003.
55. PASCHOALATO, C.F.P.R.; BERNARDO, L.D.; FERREIRA, J.F.; SOARES, V.L.; LATANZE, R.; OLIVEIRA, M.J.JR.; FERREIRA, C.H.. Demanda de Cloro e Permanganato de Potássio para Oxidação de Substâncias Húmicas e Avaliação da Formação de Trialometanos em Água. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 22, Joinville - Santa Catarina, Setembro 2003.
56. CETESB – Normas para Amostragem e monitoramento das águas subterrâneas -6410 – 1988.
57. GALAL-GORCHEV, H.. Chlorine in water disinfection. *Pure & Appl. Chem.*; Vol. 68, No. 9, pp. 1731 -1 735, Printed in Great Britain-IUPAC, 1996.
58. MACEDO, J.A.B.. O uso de derivados clorados orgânicos uma solução para o processo de desinfecção da água de lastro. In: Seminário Brasileiro sobre Água de Lastro - Instituto de Estudo do Mar Almirante Paulo Moreira, 3, Arraial do Cabo/RJ, Novembro de 2004.

59. BORGES, J.T.; SPARRAPAN, R.; GUIMARÃES, J.R.; EBERLIN, M.N.. A influência da amônia no potencial de formação de trihalometanos. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental, 28, Cancun, México, octubre 2002.
60. FREESE, S.D.; NOZAIC D.J.. **Chlorine: Is it really so bad and what are the alternatives?** ISSN 0378-4738 = Water SA Vol. 30 No. 5 (Special edition).
61. WOO, Y.T.; LAI, D.; MCLAIN, J.L.; MANIBUSAN, M.K.; DELLARCO, V.. Use of Mechanism-Based Structure–Activity Relationships Analysis in Carcinogenic Potential Ranking for Drinking Water Disinfection By-Products. **Environmental Health Perspectives** • volume 110 | supplement 1 | February 2002.
62. TOLEDANO, M.B.; NIEUWENHUIJSEN, M.J.; BEST, N.; WHITAKER, H.; HAMBLY, P.; HOOGH, C.; FAWELL, J.; JARUP, L.; ELLIOTT, P.. Relation of Trihalomethane Concentrations in Public Water Supplies to Stillbirth and Birth Weight in Three Water Regions in England. **Environmental Health Perspectives** • VOLUME 113 | NUMBER 2 | February 2005.
63. ASSALIN, M.R., **Aplicação da fotólise e fotocatalise heterogênea na desinfecção de águas contaminadas com *Escherichia coli***. 84p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil – Universidade de Campinas-Campinas-SP, 2001.
64. BAKER, K.H.; HEGARTY, J.P.; REDMOND, B.; REED, N.A.; HERSON, D.S.. Effect of Oxidizing Disinfectants (Chlorine, Monochloramine, and Ozone) on *Helicobacter pylori*. Applied and Environmental Microbiology, p. 981–984 vol. 68, no. 2, feb 2002.
65. OLIVEIRA, A.C. Minimização da formação de Trihalometanos em águas de abastecimento. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22, - Joinville – SC- Setembro 2003.
66. Brasil. Fundação Nacional de Saúde. Manual prático de análise de água. 1ª ed. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2004.
67. COGERH – Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Recomendações e Cuidados na Coleta de Amostras de Água**. Versão 1. n.2/2001.
68. AYRES M. - BioEstat 2.0: **aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas**. Belém: Sociedade Civil Mamirauá; 2003.
69. FERREIRA, S. S. F. Remoção de compostos orgânicos precursores de subprodutos da desinfecção e seu impacto na formação de Trihalometanos em águas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 1, p.53-60, 2001.
70. PETRY, A.T.. **Efeito potencial de gradiente trófico em rio urbano na formação de Trihalometanos**. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)-Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental-Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre -2005.

71. United States Environmental Protection Agency. National Primary Drinking Water Regulations: Stage 2 Disinfectants and Disinfection. USEPA-HQ-OW-0043-FRL-XXXX-X , Washington, December 2005.
72. \_\_\_\_\_. Disinfection Profiling and Benchmarking Guidance Manual. USEPA 815-R-99-013, Washington, August 1999.
73. BORGES, J. T.; GUIMARÃES, J. R. A formação e os riscos associados à presença de trihalometanos em águas de abastecimento. In: Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, IV, Vitória-ES, setembro 2002.
74. GORDON, S.M.; WALLACE, L.A.; CALLAHAN, P.J.; KENNY, D.V.; BRINKMANT, M.C.. Effect of Water Temperature on Dermal Exposure to Chloroform - Brinkmant Battelle Memorial Institute, Columbus, OH 43201 USA; **National Exposure Research Laboratory**, U.S. Environmental Protection Agency, Reston, VA 20192 USA-1998.
75. MACEDO, J.A.B.; ANDRADE, N.J.; CHAVES, J.B.P.; ARAÚJO, J.M.A.; SILVA, M.T.C.; JORDÃO, C.P.. Formação de Trihalometanos em soluções sanitizantes utilizadas no processo de desinfecção de indústrias de alimentação. SANARE – Revista Técnica da SANEPAR, v.17, n.17, , p. 31-48, janeiro/junho 2002.
76. MACÊDO, J. A. B., ANDRADE, N. J., ARAÚJO, J. M. A., CHAVES, J. B. P., COELHO SILVA, M. T., JORDÃO, C. P., Quantificação de trihalometanos (THM) em amostras de água pré e pós-cloradas com hipoclorito de sódio (HPCS) por cromatografia de fase gasosa utilizando-se microextração em fase sólida (MEFS). **Revista do Instituto de Laticínios Cândido Tostes**, v.54, n.310, p.22-27, 1999.
77. BRAGA, F.M.G.; ARAÚJO, J.C.; SALES, M.V.; NASCIMENTO, R.F.; PÁDUA, V.L.. Diagnóstico da ocorrência de Trihalometanos (TAM) na rede de abastecimento de água de Fortaleza – CE – Brasil. **UFC** – 2002.
78. SOTELO, J. L.; OVEJERO, G.; DELGADO, J. A.; MARTINEZ, I. Comparison of adsorption equilibrium and kinetics of four chlorinated organics from water onto GAC. **Water Res**, v.36, n.3, p.599-608, Feb 2002.
79. FIGUEIREDO, R.F.; PARDO, S.D.A.; FILHO, B.C.; Fatores que influenciam a formação de Trihalometanos em águas de abastecimento. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20, 1999.
80. HINCKLEY, A. F.; BACHAND, A. M.; REIF, J. S. Late pregnancy exposures to disinfection by-products and growth-related birth outcomes. **Environ Health Perspect**, v.113, n.12, p.1808-1813. Dec 2005.
81. MACHADO, R.A.; **Avaliação de compostos orgânicos voláteis em ambientes interiores climatizados**. Tese (Doutorado em Saúde Pública) Faculdade de Saúde Pública – Universidade de São Paulo- São Paulo – 2003.



- 82.. Chlorine Chemistry Council - *Drinking Water Chlorination White Paper A Review of Disinfection Practices and Issues* - 12 June 1997 - Disponível em: [http://www.c3.org/chlorine\\_knowledge\\_center/whitepapercl.html](http://www.c3.org/chlorine_knowledge_center/whitepapercl.html) Acessado em: 13 jul 2006.
83. VUOLO, J.C.; DOMENECH, A.H.; FRIEDRICHS, M.N.; SIROTI, D.A.; CASAMAYORE, M.F.; TEMPORALE, R.; SILVA, M.L.. Subproductos de cloracion: influencia del pH y haluros minoritarios en la formación de Trihalometanos. Aguas Argentinas Laboratorio Central.
84. VEIGA, S.M.O.M.; NASCIMENTO, L.C.; FIORINI, J.E.. Detecção de Trihalometanos em água de resfriamento de carcaças de frango, após o tratamento com dicloroisocianurato de sódio, ozônio e ultra-som. Escola de Farmácia e Odontologia de Alfenas-MG -1998.
85. BARCELLOS, C.M.; ROCHA, M.; RODRIGUES, L.S.; COSTA, C.C.; OLIVEIRA, P.R.; SILVA, I.J.; JESUS, E.F.M.; ROLIM, R.G.. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, 22(9):1967-1978, set, 2006.
86. CLESCERL, L.S.; GREENBERG, A.E.; EATON, A.D. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th Ed. Washington D.C.: **American Public Health Association**; 1992.
87. BRASIL. Resolução CONAMA n. 357/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 18 de Março 2005.
88. FURASTE, P.A.; **Normas Técnicas para o Trabalho Científico. Explicação da Normas da ABNT** – 13. ed. Porto Alegre: 2004.
89. ENGENHARIA & PROJETOS – **Manual de Abastecimento de Água** – Monte Santo de Minas – MG – 2004.
90. OGA, S.. **Fundamentos de Toxicologia**. 2 ed. – São Paulo : Atheneu Editora, p.77, 2003.
91. Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document – *Trihalomethanes*. Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water. Health Canada (2006) Water Quality and Health Bureau, **Healthy Environments and Consumer Safety Branch**, Health Canada, Ottawa, Ontario.
92. Rosner B. - **Fundamentals of Biostatistics**, 4<sup>a</sup> ed., New York, Duxbury Press, 1995.
93. MOORE, M.R.; PRYOR, M.; FIELDS, B.; LUCAS, C.; PHELAN, M.; BESSER, R.. Introduction of Monochloramine into a Municipal Water System: Impact on Colonization of Buildings by *Legionella* spp. - **Applied and Environmental Microbiology**, p. 378–383 Vol. 72, No. 1, Jan. 2006.

ANEXO A  
TABELAS DE RESULTADOS DAS ANÁLISES

**Tabela 9:** Resultados de medidas de temperatura e Potencial Hidrogeniônico (pH).

MUNICÍPIO		Ponto de Amostragem	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Temperatura	Temperatura	pH	pH
			oC	oC		
Cacoal	1ETA	1	26	24	6,39	6,42
		2	26	24	4,73	4,38
		3	26	24	4,68	4,53
		4	26	25	4,65	4,60
Ji-Paraná	ETA2	1	26	25	7,22	6,83
		2	26	25	6,04	4,90
		3	26	25	6,50	5,25
		4	26	24	6,84	5,30
Rolim de Moura	ETA3	1	26	26	6,58	7,95
		2	26	26	6,01	7,70
		3	26	26	5,98	7,63
Ministro Andreazza	ETA4	1	25	26	6,72	6,60
		2	25	26	6,49	6,42
		3	25	26	6,38	6,48
Pimenta Bueno	ETA5	1	26	26	6,58	6,69
		2	26	26	4,57	4,91
		3	26	26	4,28	4,43
Alta Floresta d'Oeste	ETA6	1	26	26	6,79	7,29
		2	26	26	3,84	5,21
		3	26	26	4,25	5,49
Espigão d'Oeste	ETA7	1	25	26	6,97	6,32
		2	25	26	5,26	5,85
		3	25	26	5,01	6,03
Presidente Médici	ETA8	1	26	26	6,84	6,54
		2	26	26	4,57	5,40
		3	26	24	4,47	4,90
Médias e Desvios	Média Total		25,77	25,46	5,72	5,93
	Desvio Padrão total		0,43	0,81	1,06	1,07
	Média água bruta		25,75	25,63	6,76	6,83
	Desvio Padrão água bruta		0,52	0,67	0,24	0,52
	Média água clorada		25,75	25,63	5,19	5,60
	Desvio Padrão água clorada		0,46	0,74	0,92	1,06
	Média água tratada		25,75	25,38	5,19	5,59
	Desvio padrão água tratada		0,46	0,92	0,95	1,08

**Tabela 10 – Análise medidas de Temperatura e pH separados por ponto de amostragem.**

Ponto de Amostragem 1 - Água Bruta						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	estiagem	chuvoso
			Temperatura	Temperatura	pH	pH
			oC	oC		
Cacoal	ETA1	1	26	24	6,39	6,42
Ji-paraná	ETA2	1	26	25	7,22	6,83
Rolim de Moura	ETA3	1	26	26	6,58	7,95
Ministro Andreaza	ETA4	1	25	26	6,72	6,60
Pimenta Bueno	ETA5	1	26	26	6,58	6,69
Alta Floresta	ETA6	1	26	26	6,79	7,29
Espigão do Oeste	ETA7	1	25	26	6,97	6,32
Presidente Médice	ETA8	1	26	26	6,84	6,54
Média			25,75	25,63	6,76	6,83
Desvio Padrão			0,46	0,74	0,26	0,54
Teste t de student			0,3568		0,3085	
Ponto de Amostragem 2 - Água Colorada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	estiagem	chuvoso
			Temperatura	Temperatura	pH	pH
			oC	oC		
Cacoal	ETA1	2	26	24	4,73	4,38
Ji-paraná	ETA2	2	26	25	6,04	4,90
Rolim de Moura	ETA3	2	26	26	6,01	7,70
Ministro Andreaza	ETA4	2	25	26	6,49	6,42
Pimenta Bueno	ETA5	2	26	26	4,57	4,91
Alta Floresta	ETA6	2	26	26	3,84	5,21
Espigão do Oeste	ETA7	2	25	26	5,26	5,85
Presidente Médice	ETA8	2	26	26	4,57	5,40
Média			25,75	25,63	5,19	5,60
Desvio Padrão			0,46	0,74	0,92	1,06
Teste t de student			0,3568		1,2466	
Ponto de Amostragem 3 - Água Tratada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		Estiagem	chuvoso	estiagem	chuvoso
			Temperatura	Temperatura	pH	pH
			oC	oC		
Cacoal	ETA1	3	26	24	4,68	4,53
Ji-paraná	ETA2	3	26	25	6,50	5,25
Rolim de Moura	ETA3	3	26	26	5,98	7,63
Ministro Andreaza	ETA4	3	25	26	6,38	6,48
Pimenta Bueno	ETA5	3	26	26	4,28	4,43
Alta Floresta	ETA6	3	26	26	4,25	5,49
Espigão do Oeste	ETA7	3	25	26	5,01	6,03
Presidente Médice	ETA8	3	26	24	4,47	4,90
Média			25,75	25,38	5,19	5,59
Desvio Padrão			0,46	0,92	0,95	1,08
Teste t de student			0,8930		1,2357	
Ponto de Amostragem 4 - Água Tratada Distribuição						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		Estiagem	chuvoso	estiagem	chuvoso
			Temperatura	Temperatura	pH	pH
			oC	oC		
Cacoal	ETA1	4	26	25	4,65	4,60
Ji-paraná	ETA2	4	26	24	6,84	5,30
Média			26,00	24,50	5,75	4,95
Desvio Padrão			0,00	0,71	1,55	0,49
Teste t com relação aos pontos 1 e 2					4,9890	4,2055
Teste t com relação aos pontos 2 e 3					0,0504	0,0325

Tabela 11: Resultados de medidas de Condutividade e Turbidez.

MUNICÍPIO		Ponto de Amostragem	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Condutividade	Condutividade	turbidez	turbidez
			uS/cm	uS/cm	NTU	NTU
Cacoal	1ETA	1	27,64	26,41	48,80	90,30
		2	45,80	48,47	6,30	1,15
		3	44,68	42,44	10,90	1,70
		4	46,15	46,00	10,90	2,70
Ji-Paraná	ETA2	1	81,78	42,10	10,50	23,10
		2	88,18	66,40	0,44	0,25
		3	97,40	64,20	0,71	0,26
		4	103,70	67,40	0,53	0,45
Rolim de Moura	ETA3	1	50,47	33,44	25,80	12,40
		2	61,63	41,32	0,25	0,45
		3	57,36	48,25	0,29	0,46
Ministro Andreazza	ETA4	1	43,10	29,58	8,10	9,66
		2	53,10	38,13	3,10	6,11
		3	51,59	34,48	3,25	0,80
Pimenta Bueno	ETA5	1	26,75	27,64	20,40	35,60
		2	43,15	42,00	0,34	2,45
		3	51,66	54,20	0,64	0,74
Alta Floresta d'Oeste	ETA6	1	83,45	71,40	14,80	5,55
		2	124,20	63,97	4,19	4,85
		3	73,83	59,11	4,74	5,84
Espigão d'Oeste	ETA7	1	54,20	19,40	22,50	19,50
		2	73,32	22,31	0,80	0,86
		3	72,59	31,46	0,90	0,22
Presidente Médici	ETA8	1	28,75	30,50	27,60	63,40
		2	44,15	37,40	0,10	0,15
		3	49,77	42,11	0,10	0,20
Médias e Desvios	Média Total		65,10	38,28	7,62	11,88
	Desvio Padrão total		28,80	16,16	10,99	21,81
	Média água bruta		49,52	35,06	22,31	32,44
	Desvio Padrão água bruta		20,33	15,60	11,27	26,84
	Média água clorada		66,69	45,00	1,94	2,03
	Desvio Padrão água clorada		28,09	14,50	2,32	2,27
	Média água tratada		62,36	47,03	2,69	1,28
	Desvio padrão água tratada		17,69	11,58	3,70	1,91

**Tabela 12 – Resultados de medidas de Condutividade e Turbidez separados por ponto de amostragem.**

Ponto de Amostragem 1 - Água Bruta						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Condutividade	Condutividade	turbidez	turbidez
			uS/cm	uS/cm	NTU	NTU
Cacoal	ETA1	1	27.640	26.41	48.80	90.30
Ji-paraná	ETA2	1	81.780	42.10	10.50	23.10
Rolim de Moura	ETA3	1	50.470	33.44	25.80	12.40
Ministro Andreaza	ETA4	1	43.100	29.58	8.10	9.66
Pimenta Bueno	ETA5	1	26.750	27.64	20.40	35.60
Alta Floresta	ETA6	1	52.920	71.40	14.80	5.55
Espigão do Oeste	ETA7	1	54.200	19.40	22.50	19.50
Presidente Médice	ETA8	1	28.750	30.50	27.60	63.40
Média			45.70	35.06	22.31	32.44
Desvio Padrão			18.62	16.03	12.78	29.80
Teste t de student			1.5329		1.4195	
Ponto de Amostragem 2 - Água Clorada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		Estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Condutividade	Condutividade	turbidez	turbidez
			uS/cm	uS/cm	NTU	NTU
Cacoal	ETA1	2	45.80	48.47	6.30	1.15
Ji-paraná	ETA2	2	88.18	66.40	0.44	0.25
Rolim de Moura	ETA3	2	61.63	41.32	0.25	0.45
Ministro Andreaza	ETA4	2	53.10	38.13	3.10	6.11
Pimenta Bueno	ETA5	2	43.15	42.00	0.34	2.45
Alta Floresta	ETA6	2	124.20	63.97	4.19	4.85
Espigão do Oeste	ETA7	2	73.32	22.31	0.80	0.86
Presidente Médice	ETA8	2	44.15	37.40	0.10	0.15
Média			66.69	45.00	1.94	2.03
Desvio Padrão			28.09	14.50	2.32	2.27
Teste t de student			2.6940		0.1123	
Ponto de Amostragem 3 - Água Tratada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		Estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Condutividade	Condutividade	turbidez	turbidez
			uS/cm	uS/cm	NTU	NTU
Cacoal	ETA1	3	44.68	42.44	10.90	1.70
Ji-paraná	ETA2	3	97.40	64.20	0.71	0.26
Rolim de Moura	ETA3	3	57.36	48.25	0.29	0.46
Ministro Andreaza	ETA4	3	51.59	34.48	3.25	0.80
Pimenta Bueno	ETA5	3	51.66	54.20	0.64	0.74
Alta Floresta	ETA6	3	73.83	59.11	4.74	5.84
Espigão do Oeste	ETA7	3	72.59	31.46	0.90	0.22
Presidente Médice	ETA8	3	49.77	42.11	0.10	0.20
Média			62.36	47.03	2.69	1.28
Desvio Padrão			17.69	11.58	3.70	1.91
Teste t de student			2.8888		1.2090	
Ponto de Amostragem 4 - Água Tratada Distribuição						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Condutividade	Condutividade	turbidez	turbidez
			uS/cm	uS/cm	NTU	NTU
Cacoal	ETA1	4	46.15	46.00	10.90	2.70
Ji-Paraná	ETA2	4	103.70	67.40	0.53	0.45
Média			74.93	56.70	5.72	1.58
Desvio Padrão			40.69	15.13	7.33	1.59
Teste t com relação aos pontos 1 e 2			2,6568	2,7362	4,8041	2,7845
Teste t com relação aos pontos 2 e 3			0,6359	0,8149	1,3577	1,0649

**Tabela 13: Resultados de medidas de Cor (transmitância) e Alcalinidade Total.**

MUNICÍPIO	Ponto de Amostragem	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	
		cor	cor	Alcalinidade Total	Alcalinidade Total	
		(T%)	(T%)	ppm CaCO <sub>3</sub>	Ppm CaCO <sub>3</sub>	
Cacoal	ETA1	1	78	59	4,50	5,00
		2	98	99	8,01	42,03
		3	97	97	7,00	29,02
		4	97	97	15,01	30,02
Ji-Paraná	ETA2	1	94	82	30,02	13,01
		2	100	100	5,00	5,00
		3	100	100	14,01	6,00
		4	98	98	17,01	7,00
Rolim de Moura	ETA3	1	88	71	12,01	13,01
		2	96	100	10,01	6,00
		3	96	100	11,01	6,00
Ministro Andreazza	ETA4	1	86	78	55,03	48,03
		2	96	98	52,03	40,03
		3	96	98	54,03	41,03
Pimenta Bueno	ETA5	1	85	75	30,02	31,02
		2	96	96	32,02	34,02
		3	98	98	30,02	30,02
Alta Floresta d'Oeste	ETA6	1	86	78	25,02	23,51
		2	97	81	19,01	3,00
		3	95	83	14,01	6,00
Espigão d'Oeste	ETA7	1	85	77	14,01	13,01
		2	97	100	15,01	14,01
		3	96	100	15,01	14,01
Presidente Médici	ETA8	1	78	60	21,01	23,01
		2	96	100	24,02	26,02
		3	96	100	25,02	26,02
Médias e Desvios	Média Total	92,50	87,63	18,39	15,63	
	Desvio Padrão total	7,07	14,90	4,54	8,74	
	Média água bruta	85,00	72,50	23,95	21,20	
	Desvio Padrão água bruta	4,59	7,82	14,25	12,45	
	Média água clorada	97,00	96,75	20,64	21,26	
	Desvio Padrão água clorada	1,41	6,52	15,48	16,26	
	Média água tratada	96,75	97,00	21,26	19,76	
	Desvio padrão água tratada	1,58	5,78	15,20	13,54	

**Tabela 14 – Resultados de medidas de Cor e Alcalinidade total separados por ponto de amostragem.**

Ponto de Amostragem 1 - Água Bruta						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cor	Cor	Alcalinidade Total ppm CaCO <sub>3</sub>	Alcalinidade Total ppm CaCO <sub>3</sub>
			(T%-420nm)	(T%-420nm)		
Cacoal	ETA1	1	78	59	4,50	5,00
Ji-paraná	ETA2	1	94	82	30,02	13,01
Rolim de Moura	ETA3	1	71	71	12,01	13,01
Ministro Andreaza	ETA4	1	86	78	55,03	48,03
Pimenta Bueno	ETA5	1	85	75	30,02	31,02
Alta Floresta	ETA6	1	86	78	25,02	23,51
Espigão do Oeste	ETA7	1	77	77	14,01	13,01
Presidente Médice	ETA8	1	78	60	21,01	23,01
Média			81,88	72,5	23,95	21,20
Desvio Padrão			7,2	8,6	15,44	13,57
Teste t de student			3,7294		1,2153	
Ponto de Amostragem 2 - Água Clorada						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cor	Cor	Alcalinidade Total ppm CaCO <sub>3</sub>	Alcalinidade Total ppm CaCO <sub>3</sub>
			(T%-420nm)	(T%-420nm)		
Cacoal	ETA1	2	98	99	8,01	42,03
Ji-paraná	ETA2	2	100	100	5,00	5,00
Rolim de Moura	ETA3	2	96	100	10,01	6,00
Ministro Andreaza	ETA4	2	96	98	52,03	40,03
Pimenta Bueno	ETA5	2	96	96	32,02	34,02
Alta Floresta	ETA6	2	97	81	19,01	3,00
Espigão do Oeste	ETA7	2	97	100	15,01	14,01
Presidente Médice	ETA8	2	96	100	24,02	26,02
Média			97	96,75	20,64	21,26
Desvio Padrão			1,41	6,52	15,48	16,26
Teste t de student			0,1077		0,1177	
Ponto de Amostragem 3 - Água Tratada						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cor	Cor	Alcalinidade Total ppm CaCO <sub>3</sub>	Alcalinidade Total ppm CaCO <sub>3</sub>
			(T%-420nm)	(T%-420nm)		
Cacoal	ETA1	3	97	97	7,00	29,02
Ji-paraná	ETA2	3	100	100	14,01	6,00
Rolim de Moura	ETA3	3	96	100	11,01	6,00
Ministro Andreaza	ETA4	3	96	98	54,03	41,03
Pimenta Bueno	ETA5	3	98	98	30,02	30,02
Alta Floresta	ETA6	3	95	83	14,01	6,00
Espigão do Oeste	ETA7	3	96	100	15,01	14,01
Presidente Médice	ETA8	3	96	100	25,02	26,02
Média			96,75	97	21,26	19,76
Desvio Padrão			1,58	5,78	15,2	13,54
Teste t de student			0,1338		0,3994	
Ponto de Amostragem 4 - Água Tratada Distribuição						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cor	Cor	Alcalinidade Total ppm CaCO <sub>3</sub>	Alcalinidade Total ppm CaCO <sub>3</sub>
			(T%-420nm)	(T%-420nm)		
Cacoal	ETA1	3	97	97	15,01	30,02
Ji-Paraná	ETA2	3	98	98	17,01	7,00
Média			97,5	97,5	16,01	18,51
Desvio Padrão			0,71	0,71	1,42	16,27
Teste t com relação aos pontos 1 e 2			6,5691	5,6285	1,0010	0,0107
Teste t com relação aos pontos 2 e 3			0,6070	0,5517	0,4379	0,8415



**Tabela 15** – Resultados de medidas de alcalinidade sódica e bicarbonatos separados por ponto de amostragem.

MUNICÍPIO	Ponto de Amostragem	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso	
		Alcalinidade sódica	Alcalinidade sódica	bicarbonato	bicarbonato	
		ppm CaCO <sub>3</sub>	Ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm HCO <sub>3</sub>	ppm HCO <sub>3</sub>	
Cacoal	1ETA	1	25,50	5,00	5,49	6,10
		2	16,00	24,03	9,77	51,27
		3	17,00	22,02	8,55	35,40
		4	12,99	0,98	18,31	36,62
Ji-Paraná	ETA2	1	14,02	2,99	36,62	15,87
		2	2,00	12,00	6,10	6,10
		3	5,01	5,00	17,09	7,32
		4	6,01	3,00	20,75	8,55
Rolim de Moura	ETA3	1	1,99	2,99	14,65	15,87
		2	1,01	12,00	12,21	7,32
		3	0,99	13,00	13,43	7,32
Ministro Andreazza	ETA4	1	45,03	37,03	67,14	58,60
		2	34,03	22,03	63,48	48,83
		3	39,03	27,03	65,92	50,05
Pimenta Bueno	ETA5	1	1,98	1,02	36,62	37,84
		2	1,98	2,02	39,06	41,51
		3	3,98	1,98	36,62	36,62
Alta Floresta d'Oeste	ETA6	1	2,98	2,51	30,52	28,69
		2	11,99	22,00	23,19	3,66
		3	13,99	15,00	17,09	7,32
Espigão d'Oeste	ETA7	1	12,99	14,99	17,09	15,87
		2	8,99	8,99	18,31	17,09
		3	8,99	8,99	18,31	17,09
Presidente Médici	ETA8	1	8,99	10,99	25,64	28,08
		2	6,99	9,98	29,30	31,74
		3	5,98	9,98	30,52	31,74
Médias e Desvios	Média Total		9,86	12,62	22,43	19,07
	Desvio Padrão total		2,85	4,51	5,53	10,66
	Média água bruta		14,19	9,69	29,22	25,86
	Desvio Padrão água bruta		13,05	10,86	17,38	15,19
	Média água clorada		10,37	14,13	25,18	25,94
	Desvio Padrão água clorada		10,93	7,76	18,89	19,84
	Média água tratada		11,87	12,87	25,94	24,11
	Desvio padrão água tratada		12,18	8,39	18,55	16,52

**Tabela 16** – Resultados de medidas de alcalinidade sódica e bicarbonato separados por ponto de amostragem.

Ponto de Amostragem 1 - Água Bruta						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Alcalinidade Sódica	Alcalinidade Sódica	bicarbonato	bicarbonato
			ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm HCO <sub>3</sub>	ppm HCO <sub>3</sub>
Cacoal	ETA1	1	25.50	5.00	5.49	6.10
Ji-paraná	ETA2	1	14.02	2.99	36.62	15.87
Rolim de Moura	ETA3	1	1.99	2.99	14.65	15.87
Ministro Andreaza	ETA4	1	45.03	37.03	67.14	58.60
Pimenta Bueno	ETA5	1	1.98	1.02	36.62	37.84
Alta Floresta	ETA6	1	2.98	2.51	30.52	28.69
Espigão do Oeste	ETA7	1	12.99	14.99	17.09	15.87
Presidente Médice	ETA8	1	8.99	10.99	25.64	28.08
Média			14.19	9.69	29.22	25.86
Desvio Padrão			14.79	12.05	18.84	16.55
Teste t de student			1.5780		1.2147	
Ponto de Amostragem 2 - Água Clorada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Alcalinidade Sódica	Alcalinidade Sódica	bicarbonato	bicarbonato
			ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm HCO <sub>3</sub>	ppm HCO <sub>3</sub>
Cacoal	ETA1	2	16.00	24.03	9.77	51.27
Ji-paraná	ETA2	2	2.00	12.00	6.10	6.10
Rolim de Moura	ETA3	2	1.01	12.00	12.21	7.32
Ministro Andreaza	ETA4	2	34.03	22.03	63.48	48.83
Pimenta Bueno	ETA5	2	1.98	2.02	39.06	41.51
Alta Floresta	ETA6	2	11.99	22.00	23.19	3.66
Espigão do Oeste	ETA7	2	8.99	8.99	18.31	17.09
Presidente Médice	ETA8	2	6.99	9.98	29.30	31.74
Média			10.37	14.13	25.18	25.94
Desvio Padrão			10.93	7.76	18.89	19.84
Teste t de student			1.3632		0.1177	
Ponto de Amostragem 3 - Água Tratada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Alcalinidade Sódica	Alcalinidade Sódica	bicarbonato	bicarbonato
			ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm HCO <sub>3</sub>	ppm HCO <sub>3</sub>
Cacoal	ETA1	3	17.00	22.02	8.55	35.40
Ji-paraná	ETA2	3	5.01	5.00	17.09	7.32
Rolim de Moura	ETA3	3	0.99	13.00	13.43	7.32
Ministro Andreaza	ETA4	3	39.03	27.03	65.92	50.05
Pimenta Bueno	ETA5	3	3.98	1.98	36.62	36.62
Alta Floresta	ETA6	3	13.99	15.00	17.09	7.32
Espigão do Oeste	ETA7	3	8.99	8.99	18.31	17.09
Presidente Médice	ETA8	3	5.98	9.98	30.52	31.74
Média			11.87	12.87	25.94	24.11
Desvio Padrão			12.18	8.39	18.55	16.52
Teste t de student			0,4178		1.8338	
Ponto de Amostragem 4 - Água Tratada Distribuição						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Alcalinidade Sódica	Alcalinidade Sódica	bicarbonato	bicarbonato
			ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm HCO <sub>3</sub>	ppm HCO <sub>3</sub>
Cacoal	ETA1	4	12.99	0.98	18.31	36.62
Ji-Paraná	ETA2	4	6.01	3.00	20.75	8.55
Média			9.50	1.99	19.53	22.58
Desvio Padrão			4.94	1.42	1.73	19.85
Teste t com relação aos pontos 1 e 2			1.5430	1.0443	1.0015	0,0103
Teste t com relação aos pontos 2 e 3			2.1918	0,8751	0,4387	0,8420

**Tabela 17 – Resultados de medidas de dureza total e dureza cálcica separados por ponto de amostragem.**

MUNICÍPIO		Ponto de Amostragem	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Dureza total	Dureza total	Dureza cálcica	Dureza cálcica
			ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	Ppm CaCO <sub>3</sub>
Cacoal	1ETA	1	30	10	5	8
		2	24	18	3	8
		3	24	7	2	11
		4	28	31	4	7
Ji-Paraná	ETA2	1	16	16	11	11
		2	7	17	8	8
		3	9	11	14	12
		4	11	10	20	16
Rolim de Moura	ETA3	1	14	16	8	8
		2	9	18	7	9
		3	12	19	8	3
Ministro Andreazza	ETA4	1	10	11	5	4
		2	18	18	7	8
		3	15	14	8	9
Pimenta Bueno	ETA5	1	32	30	6	6
		2	34	32	7	8
		3	34	32	6	6
Alta Floresta d'Oeste	ETA6	1	28	21	9	13
		2	31	25	10	13
		3	28	21	8	12
Espigão d'Oeste	ETA7	1	27	28	12	10
		2	24	23	11	10
		3	24	23	10	11
Presidente Médici	ETA8	1	30	34	14	15
		2	31	36	16	16
		3	31	36	17	18
Médias e Desvios	Média Total		28,25	28,25	12,25	13,13
	Desvio Padrão total		3,01	6,23	3,15	2,95
	Média água bruta		23,38	20,75	8,75	9,38
	Desvio Padrão água bruta		7,74	8,52	3,27	3,21
	Média água clorada		22,25	23,38	8,63	10,00
	Desvio Padrão água clorada		10,17	7,21	3,81	2,98
	Média água tratada		22,13	20,38	9,13	10,25
	Desvio padrão água tratada		9,16	9,97	4,64	4,46

**Tabela 18 – Resultados de medidas de dureza total e dureza cálcica separados por ponto de amostragem.**

Ponto de Amostragem 1 - Água Bruta						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Dureza Total	Dureza Total	Dureza cálcica	Dureza Cálcica
			ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>
Cacoal	ETA1	1	30.00	10.00	5.00	8.00
Ji-paraná	ETA2	1	16.00	16.00	11.00	11.00
Rolim de Moura	ETA3	1	14.00	16.00	8.00	8.00
Ministro Andreaza	ETA4	1	10.00	11.00	5.00	4.00
Pimenta Bueno	ETA5	1	32.00	30.00	6.00	6.00
Alta Floresta	ETA6	1	28.00	21.00	9.00	13.00
Espigão do Oeste	ETA7	1	27.00	28.00	12.00	10.00
Presidente Médice	ETA8	1	30.00	34.00	14.00	15.00
Média			23.38	20.75	8.75	9.38
Desvio Padrão			8.60	9.02	3.37	3.62
Teste t de student			0,9587		0,8859	
Ponto de Amostragem 2 - Água Clorada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Dureza Total	Dureza Total	Dureza cálcica	Dureza cálcica
			ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>
Cacoal	ETA1	2	24.00	18.00	3.00	8.00
Ji-paraná	ETA2	2	7.00	17.00	8.00	8.00
Rolim de Moura	ETA3	2	9.00	18.00	7.00	9.00
Ministro Andreaza	ETA4	2	18.00	18.00	7.00	8.00
Pimenta Bueno	ETA5	2	34.00	32.00	7.00	8.00
Alta Floresta	ETA6	2	31.00	25.00	10.00	13.00
Espigão do Oeste	ETA7	2	24.00	23.00	11.00	10.00
Presidente Médice	ETA8	2	31.00	36.00	16.00	16.00
Média			22.25	23.38	8.63	10.00
Desvio Padrão			10.17	7.21	3.81	2.98
Teste t de student			0,5096		2,0228	
Ponto de Amostragem 3 - Água Tratada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Dureza Total	Dureza Total	Dureza cálcica	Dureza cálcica
			ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>
Cacoal	ETA1	3	24.00	7.00	2.00	11.00
Ji-paraná	ETA2	3	9.00	11.00	14.00	12.00
Rolim de Moura	ETA3	3	12.00	19.00	8.00	3.00
Ministro Andreaza	ETA4	3	15.00	14.00	8.00	9.00
Pimenta Bueno	ETA5	3	34.00	32.00	6.00	6.00
Alta Floresta	ETA6	3	28.00	21.00	8.00	12.00
Espigão do Oeste	ETA7	3	24.00	23.00	10.00	11.00
Presidente Médice	ETA8	3	31.00	36.00	17.00	18.00
Média			22.13	20.38	9.13	10.25
Desvio Padrão			9.16	9.97	4.64	4.46
Teste t de student			0.6568		0.7721	
Ponto de Amostragem 4 - Água Tratada Distribuição						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Dureza Total	Dureza Total	Dureza cálcica	Dureza cálcica
			ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>	ppm CaCO <sub>3</sub>
Cacoal	ETA1	4	28.00	31.00	4.00	7.00
Ji-Paraná	ETA2	4	11.00	10.00	20.00	16.00
Média			19.50	20.50	12.00	11.50
Desvio Padrão			12.02	14.85	11.31	6.36
Teste t com relação aos pontos 1 e 2			0,5690	1.8572	0,1876	0,8859
Teste t com relação aos pontos 2 e 3			0,1683	2.0667	0,5641	0,2212

**Tabela 19 – Resultados de medidas de Cálcio e Magnésio separados por ponto de amostragem.**

MUNICÍPIO		Ponto de Amostragem	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Ca	Ca	Mg	Mg
			ppm Ca <sup>+2</sup>	ppm Ca <sup>+2</sup>	ppm Mg <sup>+2</sup>	ppm Mg <sup>+2</sup>
Cacoal	1ETA	1	2,00	3,20	6,08	0,49
		2	1,20	3,20	5,10	2,43
		3	0,80	4,40	5,35	0,97
		4	1,60	2,80	5,83	5,83
Ji-Paraná	ETA2	1	4,40	4,40	1,22	1,22
		2	3,20	3,20	0,24	2,19
		3	5,60	4,80	1,22	0,24
		4	8,00	6,40	2,19	1,46
Rolim de Moura	ETA3	1	3,20	3,20	1,46	1,94
		2	2,80	3,60	0,49	2,19
		3	3,20	1,20	0,97	3,89
Ministro Andreazza	ETA4	1	2,00	1,60	1,22	1,70
		2	2,80	3,20	2,67	2,43
		3	3,20	3,60	1,70	1,22
Pimenta Bueno	ETA5	1	2,40	2,40	6,32	5,83
		2	2,80	3,20	6,56	5,83
		3	2,40	2,40	6,80	6,32
Alta Floresta d'Oeste	ETA6	1	3,60	5,20	4,62	1,94
		2	4,00	5,20	5,10	2,92
		3	3,20	4,80	4,86	2,19
Espigão d'Oeste	ETA7	1	4,80	4,00	3,65	4,37
		2	4,40	4,00	3,16	3,16
		3	4,00	4,40	3,40	2,92
Presidente Médici	ETA8	1	5,60	6,00	3,89	4,62
		2	6,40	6,40	3,65	4,86
		3	6,80	7,20	3,40	4,37
Médias e Desvios	Média Total		4,90	5,25	3,89	3,68
	Desvio Padrão total		1,26	1,18	0,71	0,99
	Média água bruta		3,50	3,75	3,55	2,76
	Desvio Padrão água bruta		1,31	1,28	1,84	1,82
	Média água clorada		3,45	4,00	3,37	3,25
	Desvio Padrão água clorada		1,53	1,19	2,23	1,36
	Média água tratada		3,65	4,10	3,46	2,76
	Desvio padrão água tratada		1,86	1,79	2,11	2,03

**Tabela 20** – Resultados de medidas de Cálcio e Magnésio separados por ponto de amostragem.

Ponto de Amostragem 1 - Água Bruta						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cálcio	Cálcio	Magnésio	Magnésio
			ppm Ca <sup>+2</sup>	ppm Ca <sup>+2</sup>	ppm Mg <sup>+2</sup>	ppm Mg <sup>+2</sup>
Cacoal	ETA1	1	2.00	3.20	6.08	0.49
Ji-paraná	ETA2	1	4.40	4.40	1.22	1.22
Rolim de Moura	ETA3	1	3.20	3.20	1.46	1.94
Ministro Andreaza	ETA4	1	2.00	1.60	1.22	1.70
Pimenta Bueno	ETA5	1	2.40	2.40	6.32	5.83
Alta Floresta	ETA6	1	3.60	5.20	4.62	1.94
Espigão do Oeste	ETA7	1	4.80	4.00	3.65	4.37
Presidente Médice	ETA8	1	5.60	6.00	3.89	4.62
Média			3.50	3.75	3.55	2.76
Desvio Padrão			1.35	1.45	2.09	1.91
Teste t de student			0,8859		1,002	
Ponto de Amostragem 2 - Água Clorada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cálcio	Cálcio	Magnésio	Magnésio
			ppm Ca <sup>+2</sup>	ppm Ca <sup>+2</sup>	ppm Mg <sup>+2</sup>	ppm Mg <sup>+2</sup>
Cacoal	ETA1	2	1.20	3.20	5.10	2.43
Ji-paraná	ETA2	2	3.20	3.20	0.24	2.19
Rolim de Moura	ETA3	2	2.80	3.60	0.49	2.19
Ministro Andreaza	ETA4	2	2.80	3.20	2.67	2.43
Pimenta Bueno	ETA5	2	2.80	3.20	6.56	5.83
Alta Floresta	ETA6	2	4.00	5.20	5.10	2.92
Espigão do Oeste	ETA7	2	4.40	4.00	3.16	3.16
Presidente Médice	ETA8	2	6.40	6.40	3.65	4.86
Média			3.45	4.00	3.37	3.25
Desvio Padrão			1.53	1.19	2.23	1.36
Teste t de student			2,0228		0,1983	
Ponto de Amostragem 3 - Água Tratada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cálcio	Cálcio	Magnésio	Magnésio
			ppm Ca <sup>+2</sup>	ppm Ca <sup>+2</sup>	ppm Mg <sup>+2</sup>	ppm Mg <sup>+2</sup>
Cacoal	ETA1	3	0.80	4.40	5.35	0.97
Ji-paraná	ETA2	3	5.60	4.80	1.22	0.24
Rolim de Moura	ETA3	3	3.20	1.20	0.97	3.89
Ministro Andreaza	ETA4	3	3.20	3.60	1.70	1.22
Pimenta Bueno	ETA5	3	2.40	2.40	6.80	6.32
Alta Floresta	ETA6	3	3.20	4.80	4.86	2.19
Espigão do Oeste	ETA7	3	4.00	4.40	3.40	2.92
Presidente Médice	ETA8	3	6.80	7.20	3.40	4.37
Média			3.65	4.10	3.46	2.76
Desvio Padrão			1.86	1.79	2.11	2.03
Teste t de student			0,7721		0,9013	
Ponto de Amostragem 4 - Água Tratada Distribuição						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cálcio	Cálcio	Magnésio	Magnésio
			ppm Ca <sup>+2</sup>	ppm Ca <sup>+2</sup>	ppm Mg <sup>+2</sup>	ppm Mg <sup>+2</sup>
Cacoal	ETA1	4	1.60	2.80	5.83	5.83
Ji-Paraná	ETA2	4	8.00	6.40	2.19	1.46
Média			4.80	4.60	4.01	3.65
Desvio Padrão			4.53	2.55	2.58	3.09
Teste t com relação aos pontos 1 e 2			0,1876	0,8859	0,6070	1,5044
Teste t com relação aos pontos 2 e 3			0,5641	0,2212	0,4442	1,1826

**Tabela 21** – Resultados de medidas de cloretos e gás carbônico livre (CO<sub>2</sub>), separados por ponto de amostragem.

MUNICÍPIO		Ponto de Amostragem	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cloretos	Cloretos	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
			ppm Cl <sup>-</sup>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>
Cacoal	1ETA	1	8,36	1,76	11,50	11,00
		2	4,84	2,20	13,50	24,00
		3	4,84	2,20	12,50	11,00
		4	5,28	2,64	14,00	14,00
Ji-Paraná	ETA2	1	7,48	1,32	9,00	13,00
		2	12,77	3,52	10,00	13,00
		3	13,65	3,65	8,00	16,00
		4	13,65	3,52	7,50	15,00
Rolim de Moura	ETA3	1	7,92	1,98	7,50	11,00
		2	8,80	2,20	8,00	13,00
		3	9,24	1,32	8,00	14,00
Ministro Andreazza	ETA4	1	6,16	7,04	6,00	8,00
		2	7,92	9,24	6,50	8,00
		3	7,92	11,01	8,00	9,00
Pimenta Bueno	ETA5	1	9,68	9,68	10,00	9,00
		2	9,24	8,80	12,00	13,00
		3	9,24	9,24	12,00	13,00
Alta Floresta d'Oeste	ETA6	1	7,48	7,48	8,50	14,00
		2	12,55	9,68	25,50	25,00
		3	12,55	9,24	16,50	15,00
Espigão d'Oeste	ETA7	1	7,92	9,24	10,00	13,00
		2	8,36	9,68	11,50	13,00
		3	9,24	11,01	12,00	14,00
Presidente Médici	ETA8	1	6,16	10,56	14,00	15,00
		2	8,36	11,01	12,00	13,00
		3	8,36	9,24	12,00	16,00
Médias e Desvios	Média Total		9,19	9,96	14,19	15,50
	Desvio Padrão total		2,25	0,78	4,96	4,00
	Média água bruta		7,65	6,14	9,56	11,75
	Desvio Padrão água bruta		1,02	3,64	2,17	2,21
	Média água clorada		9,11	7,04	12,38	15,25
	Desvio Padrão água clorada		2,56	3,72	5,78	5,97
	Média água tratada		9,38	7,11	11,13	13,50
	Desvio padrão água tratada		2,73	4,03	2,99	2,45

**Tabela 22 – Resultados de medidas de cloretos e gás carbônico (CO<sub>2</sub>) separados por ponto de amostragem.**

Ponto de Amostragem 1 - Água Bruta						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cloretos	Cloretos	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
			ppm Cl <sup>-</sup>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>
Cacoal	ETA1	1	8.36	1.76	11.50	11.00
Ji-paraná	ETA2	1	7.48	1.32	9.00	13.00
Rolim de Moura	ETA3	1	7.92	1.98	7.50	11.00
Ministro Andreaza	ETA4	1	6.16	7.04	6.00	8.00
Pimenta Bueno	ETA5	1	9.68	9.68	10.00	9.00
Alta Floresta	ETA6	1	7.48	7.48	8.50	14.00
Espigão do Oeste	ETA7	1	7.92	9.24	10.00	13.00
Presidente Médice	ETA8	1	6.16	10.56	14.00	15.00
Média			7.65	6.14	9.56	11.75
Desvio Padrão			1.15	3.86	2.46	2.43
Teste t de student			1.0317		2.7486	
Ponto de Amostragem 2 - Água Clorada						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cloretos	Cloretos	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
			ppm Cl <sup>-</sup>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>
Cacoal	ETA1	2	4.84	2.20	13.50	24.00
Ji-paraná	ETA2	2	12.77	3.52	10.00	13.00
Rolim de Moura	ETA3	2	8.80	2.20	8.00	13.00
Ministro Andreaza	ETA4	2	7.92	9.24	6.50	8.00
Pimenta Bueno	ETA5	2	9.24	8.80	12.00	13.00
Alta Floresta	ETA6	2	12.55	9.68	25.50	25.00
Espigão do Oeste	ETA7	2	8.36	9.68	11.50	13.00
Presidente Médice	ETA8	2	8.36	11.01	12.00	13.00
Média			9.11	7.04	12.38	15.25
Desvio Padrão			2.56	3.72	5.78	5.97
Teste t de student			1.4042		2.3353	
Ponto de Amostragem 3 - Água Tratada						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cloretos	Cloretos	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
			ppm Cl <sup>-</sup>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>
Cacoal	ETA1	3	4.84	2.20	12.50	11.00
Ji-paraná	ETA2	3	13.65	3.65	8.00	16.00
Rolim de Moura	ETA3	3	9.24	1.32	8.00	14.00
Ministro Andreaza	ETA4	3	7.92	11.01	8.00	9.00
Pimenta Bueno	ETA5	3	9.24	9.24	12.00	13.00
Alta Floresta	ETA6	3	12.55	9.24	16.50	15.00
Espigão do Oeste	ETA7	3	9.24	11.01	12.00	14.00
Presidente Médice	ETA8	3	8.36	9.24	12.00	16.00
Média			9.38	7.11	11.13	13.50
Desvio Padrão			2.73	4.03	2.99	2.45
Teste t de student			1.3710		1.9702	
Ponto de Amostragem 4 - Água Tratada Distribuição						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			Cloretos	Cloretos	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
			ppm Cl <sup>-</sup>	ppm Cl <sup>-</sup>	ppm CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>
Cacoal	ETA1	4	5.28	2.64	14.00	14.00
Ji-Paraná	ETA2	4	13.65	3.52	7.50	15.00
Média			9.46	3.08	10.75	14.50
Desvio Padrão			5.91	0.62	4.60	0.71
Teste t com relação aos pontos 1 e 2			1.4331	2.2269	1.3544	1.7821
Teste t com relação aos pontos 2 e 3			1.9296	0,1792	1.0730	0,8037



**Tabela 23** – Resultados de medidas de CO<sub>2</sub> total e cloro livre separados por ponto de amostragem.

MUNICÍPIO		Ponto de Amostragem	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			CO <sub>2</sub> total	CO <sub>2</sub> total	Cloro residual	Cloro residual
			ppm CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>	ppm Cl	ppm Cl
Cacoal	1ETA	1	18,32	18,57	Nd	Nd
		2	25,62	87,61	1,80	2,30
		3	23,10	54,92	1,50	1,70
		4	36,72	59,44	1,20	1,60
Ji-Paraná	ETA2	1	54,44	32,69	nd	Nd
		2	17,57	20,57	1,90	2,10
		3	29,20	25,09	1,20	1,70
		4	33,25	25,60	1,10	1,60
Rolim de Moura	ETA3	1	25,67	30,69	nd	nd
		2	23,15	22,09	1,60	2,00
		3	24,66	23,09	1,60	1,90
Ministro Andreazza	ETA4	1	89,30	80,70	nd	nd
		2	85,26	68,58	1,80	2,10
		3	89,79	71,10	1,80	1,80
Pimenta Bueno	ETA5	1	55,44	55,95	nd	nd
		2	60,47	64,49	1,80	2,30
		3	57,44	58,44	1,70	1,40
Alta Floresta d'Oeste	ETA6	1	46,36	49,59	nd	nd
		2	54,28	29,54	2,10	2,30
		3	37,70	24,09	1,50	1,70
Espigão d'Oeste	ETA7	1	31,20	32,69	nd	nd
		2	34,22	34,20	1,50	2,10
		3	34,72	35,20	1,50	1,80
Presidente Médici	ETA8	1	45,81	49,83	nd	nd
		2	48,35	52,38	1,60	2,40
		3	49,86	55,38	1,50	1,90
Médias e Desvios	Média Total		42,02	39,16	1,62	2,03
	Desvio Padrão total		8,59	11,67	0,24	0,28
	Média água bruta		45,82	43,84	nd	nd
	Desvio Padrão água bruta		20,48	17,74	nd	nd
	Média água clorada		43,61	47,43	1,76	2,20
	Desvio Padrão água clorada		22,88	24,60	0,19	0,14
	Média água tratada		43,31	43,41	1,54	1,74
	Desvio padrão água tratada		22,24	18,74	0,18	0,16

**Tabela 24 – Resultados de medidas de CO<sub>2</sub> total e cloro livre separados por ponto de amostragem.**

Ponto de Amostragem 1 - Água Bruta						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			CO <sub>2</sub> - Total	CO <sub>2</sub> - Total	cloro residual	cloro residual
			ppm CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>	ppm Cl	ppm Cl
Cacoal	ETA1	1	18.32	18.57	nd	nd
Ji-paraná	ETA2	1	54.44	32.69	nd	nd
Rolim de Moura	ETA3	1	25.67	30.69	nd	nd
Ministro Andreaza	ETA4	1	89.30	80.70	nd	nd
Pimenta Bueno	ETA5	1	55.44	55.95	nd	nd
Alta Floresta	ETA6	1	46.36	49.59	nd	nd
Espigão do Oeste	ETA7	1	31.20	32.69	nd	nd
Presidente Médice	ETA8	1	45.81	49.83	nd	nd
Média			45.82	43.84		
Desvio Padrão			22.15	19.40		
Teste t de student			0.6202			
Ponto de Amostragem 2 - Água Clorada						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			CO <sub>2</sub> - Total	CO <sub>2</sub> - Total	cloro residual	cloro residual
			ppm CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>	ppm Cl	ppm Cl
Cacoal	ETA1	2	25.62	87.61	1.80	2.30
Ji-paraná	ETA2	2	17.57	20.57	1.90	2.10
Rolim de Moura	ETA3	2	23.15	22.09	2.10	2.20
Ministro Andreaza	ETA4	2	85.26	68.58	2.00	2.10
Pimenta Bueno	ETA5	2	60.47	64.49	1.90	2.30
Alta Floresta	ETA6	2	54.28	29.54	2.10	0.40
Espigão do Oeste	ETA7	2	34.22	34.20	1.90	2.10
Presidente Médice	ETA8	2	48.35	52.38	1.80	2.40
Média			43.61	47.43	1.94	1.99
Desvio Padrão			22.88	24.60	0.12	0.65
Teste t de student			0.4185	0.1935		
Ponto de Amostragem 3 - Água Tratada						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			CO <sub>2</sub> - Total	CO <sub>2</sub> - Total	cloro residual	cloro residual
			ppm CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>	ppm Cl	ppm Cl
Cacoal	ETA1	3	23.10	54.92	1.50	1.70
Ji-paraná	ETA2	3	29.20	25.09	1.20	1.70
Rolim de Moura	ETA3	3	24.66	23.09	1.60	1.70
Ministro Andreaza	ETA4	3	89.79	71.10	1.60	1.60
Pimenta Bueno	ETA5	3	57.44	58.44	1.70	1.40
Alta Floresta	ETA6	3	37.70	24.09	1.50	0.30
Espigão do Oeste	ETA7	3	34.72	35.20	1.50	1.70
Presidente Médice	ETA8	3	49.86	55.38	1.50	1.60
Média			43.31	43.41	1.51	1.46
Desvio Padrão			22.24	18.74	0.15	0.48
Teste t de student			0.0197	0.2744		
Ponto de Amostragem 4 - Água Tratada Distribuição						
MUNICÍPIO		Ponto amostral	estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			CO <sub>2</sub> - Total	CO <sub>2</sub> - Total	cloro residual	cloro residual
			ppm CO <sub>2</sub>	ppm CO <sub>2</sub>	ppm Cl	ppm Cl
Cacoal	ETA1	4	36.72	59.44	1.20	1.50
Ji-Paraná	ETA2	4	33.25	25.60	1.10	1.40
Média			34.98	42.52	1.15	1.45
Desvio Padrão			2.45	23.92	0.07	0.07
Teste t com relação aos pontos 1 e 2			0,4255	0,3621		
Teste t com relação aos pontos 2 e 3			0,1080	0,9310	7.2022	5.9567

**Tabela 25** – Resultados de medidas de TAM total e Absorbância separados por ponto de amostragem.

MUNICÍPIO		Ponto de Amostragem	Estiagem	Chuvoso	Estiagem	Chuvoso
			TAM	TAM	Absorbância	Absorbância
			µg/L	µg/L	420 nm	420 nm
Cacoal	1ETA	1	0,22	0,27	0,11	0,23
		2	11,47	4,20	0,01	0,00
		3	32,11	16,00	0,01	0,01
		4	26,31	36,00	0,01	0,01
Ji-Paraná	ETA2	1	35,27	18,00	0,03	0,09
		2	101,52	64,00	0,00	0,00
		3	115,51	65,00	0,00	0,00
		4	78,24	60,00	0,01	0,01
Rolim de Moura	ETA3	1	1,06	1,12	0,06	0,15
		2	54,02	51,00	0,02	0,00
		3	60,35	56,00	0,02	0,00
Ministro Andreazza	ETA4	1	0,54	0,34	0,07	0,11
		2	44,07	2,40	0,02	0,01
		3	41,79	5,70	0,02	0,01
Pimenta Bueno	ETA5	1	0,91	0,80	0,07	0,12
		2	4,34	13,00	0,02	0,02
		3	31,16	22,00	0,01	0,01
Alta Floresta d'Oeste	ETA6	1	1,80	1,70	0,07	0,11
		2	133,85	55,00	0,01	0,09
		3	88,64	14,00	0,02	0,08
Espigão d'Oeste	ETA7	1	1,30	1,20	0,07	0,11
		2	28,96	nd	0,01	0,00
		3	38,50	47,00	0,02	0,00
Presidente Médici	ETA8	1	0,98	0,87	0,11	0,22
		2	36,66	29,00	0,02	0,00
		3	36,99	23,00	0,02	0,00
Médias e Desvios	Média Total		45,74	24,30	0,04	0,06
	Desvio Padrão total		44,84	21,10	0,04	0,08
	Média água bruta		5,26	3,04	0,07	0,14
	Desvio Padrão água bruta		10,83	5,40	0,02	0,05
	Média água clorada		51,86	31,23	0,01	0,02
	Desvio Padrão água clorada		44,56	25,59	0,01	0,03
	Média água tratada		55,63	31,09	0,01	0,01
	Desvio padrão água tratada		30,90	21,83	0,01	0,03

**Tabela 26** – Resultados de medidas de TAM total e absorvância separados por ponto de amostragem.

Ponto de Amostragem 1 - Água Bruta						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	estiagem	chuvoso
			TAM	TAM	Absorvância	Absorvância
			ug/L	ug/L	420nm	420nm
Cacoal	ETA1	1	0.22	0.27	0.11	0.23
Ji-paraná	ETA2	1	35.27	18.00	0.03	0.09
Rolim de Moura	ETA3	1	1.06	1.12	0.15	0.15
Ministro Andrezza	ETA4	1	0.54	0.34	0.07	0.11
Pimenta Bueno	ETA5	1	0.91	0.80	0.07	0.12
Alta Floresta	ETA6	1	1.80	1.70	0.07	0.11
Espigão do Oeste	ETA7	1	1.30	1.20	0.11	0.11
Presidente Médice	ETA8	1	0.98	0.87	0.11	0.22
Média			5.26	3.04	0.09	0.14
Desvio Padrão			12.14	6.06	0.04	0.05
Teste t de student			1.0338		3.3504	
Ponto de Amostragem 2 - Água Clorada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	estiagem	chuvoso
			TAM	TAM	Absorvância	Absorvância
			ug/L	ug/L	420nm	420nm
Cacoal	ETA1	2	11.47	4.20	0.01	0.00
Ji-paraná	ETA2	2	101.52	64.00	0.00	0.00
Rolim de Moura	ETA3	2	54.02	51.00	0.02	0.00
Ministro Andrezza	ETA4	2	44.07	2.40	0.02	0.01
Pimenta Bueno	ETA5	2	4.34	13.00	0.02	0.02
Alta Floresta	ETA6	2	133.85	55.00	0.01	0.09
Espigão do Oeste	ETA7	2	28.96	0.00	0.01	0.00
Presidente Médice	ETA8	2	36.66	29.00	0.02	0.00
Média			51.86	27.33	0.01	0.02
Desvio Padrão			44.56	26.14	0.01	0.03
Teste t de student			2.4581		0.1081	
Ponto de Amostragem 3 - Água Tratada						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	estiagem	chuvoso
			TAM	TAM	Absorvância	Absorvância
			ug/L	ug/L	420nm	420nm
Cacoal	ETA1	3	32.11	16.00	0.01	0.01
Ji-paraná	ETA2	3	115.51	65.00	0.00	0.00
Rolim de Moura	ETA3	3	60.35	56.00	0.02	0.00
Ministro Andrezza	ETA4	3	41.79	5.70	0.02	0.01
Pimenta Bueno	ETA5	3	31.16	22.00	0.01	0.01
Alta Floresta	ETA6	3	88.64	14.00	0.02	0.08
Espigão do Oeste	ETA7	3	38.50	47.00	0.02	0.00
Presidente Médice	ETA8	3	36.99	23.00	0.02	0.00
Média			55.63	31.09	0.01	0.01
Desvio Padrão			30.90	21.83	0.01	0.03
Teste t de student			2.5382		0.1338	
Ponto de Amostragem 4 - Água Tratada Distribuição						
MUNICÍPIO	Ponto amostral		estiagem	chuvoso	estiagem	chuvoso
			TAM	TAM	Absorvância	Absorvância
			ug/L	ug/L	420nm	420nm
Cacoal	ETA1	4	26.31	36.00	0.01	0.01
Ji-Paraná	ETA2	4	78.24	60.00	0.01	0.01
Média			52.27	48.00	0.01	0.01
Desvio Padrão			36.72	16.97	0.00	0.00
Teste t com relação aos pontos 1 e 2			3.2764	2.9932	6.3845	5.1480
Teste t com relação aos pontos 2 e 3			0,4833	0,4413	0,5517	0,5517

ANEXO B - FOTOS COLETA DE AMOSTRAS E ETA



Foto 1 – Recipientes de 20 mL contendo Tiosulfato de Sódio para coleta de amostras de água para análise de THMs. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 2 – Garrafa de Van Dorn de 2 litros de capacidade para coleta de água nas estações de tratamento. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 3 – Preparação de equipamento (garrafa de Van Dorn) para coleta de água. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 4 – Recepção de água bruta e adição de coagulante. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 5 – Sistema de floculação e cloração. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 6 – Recepção de água bruta. (foto: Vonivaldo G. Leão)





Foto 7 – Sistema de coagulação. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 8 – Adição de agentes de coagulação. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 9 – Recepção de água bruta. (foto: Vonivaldo G. Leão)

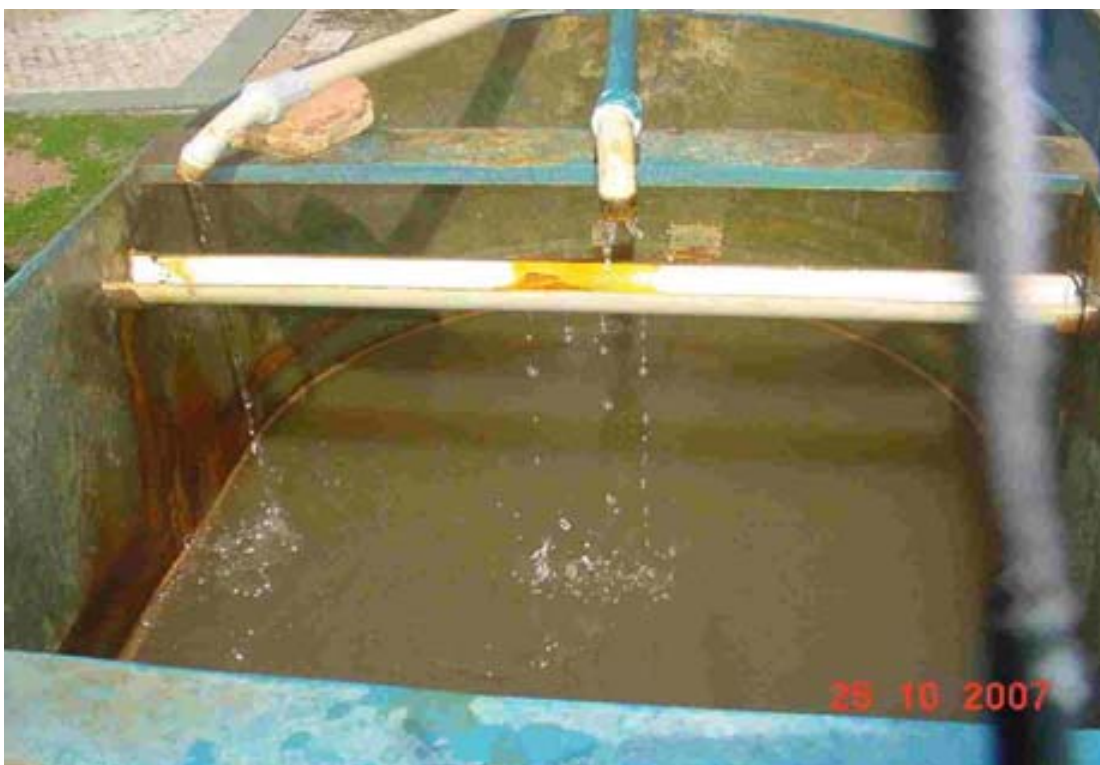


Foto 10 – Adição de agentes coagulantes. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 11 – Sistema de Filtração. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 12 – Coleta de água bruta. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 13 – Adição de coagulante. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 14 – Sistema de Filtração. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 15 – Reservatório de água tratada. (foto: Vonivaldo G. Leão)



Foto 16 – Coleta de água clorada. (foto: Vonivaldo G. Leão)

ANEXO C – COMITÊ DE ÉTICA