

AValiação DA RELEVância DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL COMO PARâMETRO DE CARACTERIZAÇÃO DE ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

Marcelo Libânio, Paulo Augusto Cunha Libânio, Bruno Maia Pyramo Costa

Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG

Eduardo von Sperling

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG

Av. Contorno, 842 - 8º andar - Centro - Belo Horizonte, MG - CEP 30110-060

Fone: (031) 238 1004 - Fax: (031) 238 1870

mllibanio@ehr.ufmg.br

RESUMO

O presente trabalho visa apresentar os principais resultados de uma pesquisa realizada, no período de abril/98 a março/99, enfocando a avaliação da relevância do carbono orgânico total como parâmetro de qualidade de água. Para tal fim, efetuaram-se revisão da literatura técnica e a acurada análise dos dados operacionais da estação de tratamento de água da cidade de Ituiutaba (MG), referentes aos meses de agosto e janeiro característicos dos períodos de estiagem e de chuva. Adicionalmente, o trabalho tece uma série de recomendações à rotina operacional da respectiva unidade potabilizadora e passíveis de serem também aplicadas a outra estação que realize o monitoramento do carbono orgânico total.

INTRODUÇÃO

Embora o primeiro sistema de abastecimento de água na América, empregando tubos de madeira, date de 1799, na cidade de Philadelphia, a preocupação com o padrão de potabilidade iniciou-se somente em 1914, referenciando-se à contaminação bacteriológica. Tal provavelmente ocorreu devido à constatação empírica realizada pelo médico inglês John Snow em 1855, comprovando a associação entre uma epidemia de cólera em Londres, que vitimou 521 pessoas, e o abastecimento de água. Snow constatou que a população atingida pela moléstia se abastecia por intermédio de um poço, contaminado por esgotos, situado no centro de uma área da ordem de 3 hectares. A partir daí, com o intervalo médio da ordem de 15 anos, diversos padrões de potabilidade foram sucedendo-se elevando progressivamente as restrições quanto às características físicas, químicas e biológicas das águas de abastecimento (Cotruvo, 1990; Branco, 1986).

Em contrapartida a padrões de potabilidade mais restritivos, sucede-se a progressiva deterioração da qualidade dos mananciais de abastecimento, ma-

ximizada parcialmente pela aumento da concentração de compostos orgânicos. Tais compostos orgânicos presentes nas águas naturais são provenientes basicamente de duas fontes:

- i. substâncias húmicas oriundas da decomposição de matéria orgânica de origem predominantemente vegetal, que normalmente conferem cor verdadeira às águas; um exemplo internacionalmente conhecido de águas naturalmente coloridas é o Rio Negro, situado na Planície Amazônica;
- ii. atividades antrópicas, tais como, descargas de efluentes domésticos ou industriais, lixiviação de vias urbanas e solos agriculturáveis.

Pesquisa realizada no rio Mississipi (EUA), em 1977, apontou um percentual da ordem de 80% da matéria orgânica presente devido às substâncias húmicas e 15% decorrente das atividades antrópicas.

Vale ressaltar que o termo *substâncias húmicas* refere-se a um conjunto de compostos orgânicos de elevado peso molecular, de origem predominantemente vegetal e de dimensões coloidais, cuja constituição em média apresenta 87% de ácidos fúlvicos, 11% de ácidos himatomelânicos e 2% de ácidos húmicos, propriamente ditos.

A aferição do teor de matéria orgânica presente nas águas naturais efetua-se, além naturalmente da avaliação da DBO, também por intermédio do carbono orgânico total (COT). Em águas superficiais o teor de COT varia de 1 a 20 mg/l, elevando-se para até 1000 mg/l nas águas residuárias. Desta forma, uma alteração significativa deste parâmetro constitui-se em indicativo de novas fontes poluidoras e balizador das análises a serem realizadas, tais como, cor verdadeira, clorofila a, fósforo total etc.

Embora a Portaria 36/90 não faça menção ao COT, o uso extensivo dos compostos de cloro como desinfetantes passou a conferir maior importância a esse parâmetro, pois os ácidos fúlvicos, assim como a biomassa de algas verdes e azuis, são importantes precursores da formação dos trihalometanos ao reagirem como o cloro livre presente na água.

CARBONO ORGÂNICO TOTAL E OS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO

A referida evolução dos padrões de potabilidade culminou com a inserção, a partir do final da década de 70, dos trihalometanos (THM) como parâmetros de qualidade de água para consumo humano, em função das propriedades carcinogênicas dos mesmos. Estes compostos consistem nas seguintes espécies químicas principais: clorofórmio (triclorometano), bromodichlorometano, dibromoclorometano e bromofórmio (tribromometano). Constituem-se de subprodutos da cloração de águas com teor de matéria orgânica, consubstanciado na concentração de COT, DBO e, para maioria das águas naturais, cor verdadeira. Vale ressaltar que os THM não são os únicos subprodutos da desinfecção, mas, principalmente, verifica-se maior prevalência na formação de espécies halogenadas do que de outros subprodutos e seus efeitos na saúde têm sido avaliados há mais de duas décadas.

A partir do início da década de setenta, diversos estudos toxicológicos e epidemiológicos realizados nos Estados Unidos comprovaram a correlação entre o emprego de compostos de cloro e as propriedades carcinogênicas dos subprodutos da desinfecção. Conforme anteriormente assinalado, tais pesquisas culminaram com a inserção, em 1979 pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), da concentração máxima permissível de 100 µg/l, posteriormente reduzida para 80 µg/l, dos compostos trihalometanos nas águas de abastecimento. Na Tabela 1 são apresentadas as concentrações máximas permissíveis de trihalometanos – somatório das concentrações das espécies já mencionadas - para águas de abastecimento público em alguns países.

Uma pesquisa realizada com águas sintéticas, objetivou avaliar os riscos de câncer – à razão de número de casos anuais por milhão de pessoas - decorrentes da formação de trihalometanos. Inicialmente, aferiu-se a formação individual das espécies em função da concentração de COT.

Os ensaios foram realizados a temperatura de 25 °C, tempo de contato de 3 horas, concentração de brometo de 0,2 mg/l e dosagens de cloro de 0,5 a 1,5 mg/l. A Figura 1 apresenta os principais resultados destes ensaios.

Da análise dos resultados apresentados na Figura 1 depreende-se que a concentração total de THM – somatório das quatro espécies - supera os limites máximos permissíveis no Brasil (100 µg/l) para teor de COT superior a 3 mg/l. Embora as águas naturais usualmente apresentem baixas concentrações de íon brometo – concentrações

Tabela 1. Concentração máxima permissível de trihalometanos em águas de abastecimento de alguns países (adaptado de Macêdo, 1997).

País	Concentração Máxima de Trihalometanos (µg/L)
Alemanha	25
Brasil	100
Canadá	350
EUA	80
França	10
Holanda	75

mais elevadas sucedem-se em áreas costeiras -, que favorece a significativa formação de compostos bromados, o limite de 3,0 mg/l de COT pode ser superado para outras águas sem acarretar concentrações elevadas de THMs.

A partir das concentrações aferidas de COT nas águas brutas estudadas, pôde-se estimar, com razoável precisão, as concentrações de THMFP, indicador da formação potencial de THMs ao longo do processo de tratamento. Posteriormente, diversos pesquisadores demonstraram boas correlações entre THMFP e COT para águas naturais potabilizáveis. Em estudo mais recente, determinou-se a Equação de Correlação (1) – com coeficiente de 0,828 – entre tais variáveis obtidas por meio da análise das 59 seqüências de amostras de água bruta.

$$\text{THMFP}[\mu\text{g/l}] = 54,0 [+4,8] \text{ COT} [\text{mg/l}] + 46,6 [\pm 76,5] \quad (1)$$

Na Figura 2 estão representados os pontos amostrais e o modelo ajustado por intermédio da análise de regressão linear.

CARBONO ORGÂNICO TOTAL COMO INDICADOR DA PRESENÇA DE ALGAS

O COT, principalmente na forma dissolvida, assume papel preponderante no desenvolvimento da comunidade algal no ecossistema aquático. Além de se inserir na cadeia trófica de bactérias e algas - como agente precipitador de nutrientes na camada bentônica para produção primária -, o COT atua também no processo de fotossíntese, por intermédio da interferência na penetração das radiações solares no corpo d'água. Por fim, alguns compostos orgânicos excretados por algumas espécies de algas podem conferir odor e sabor e, em

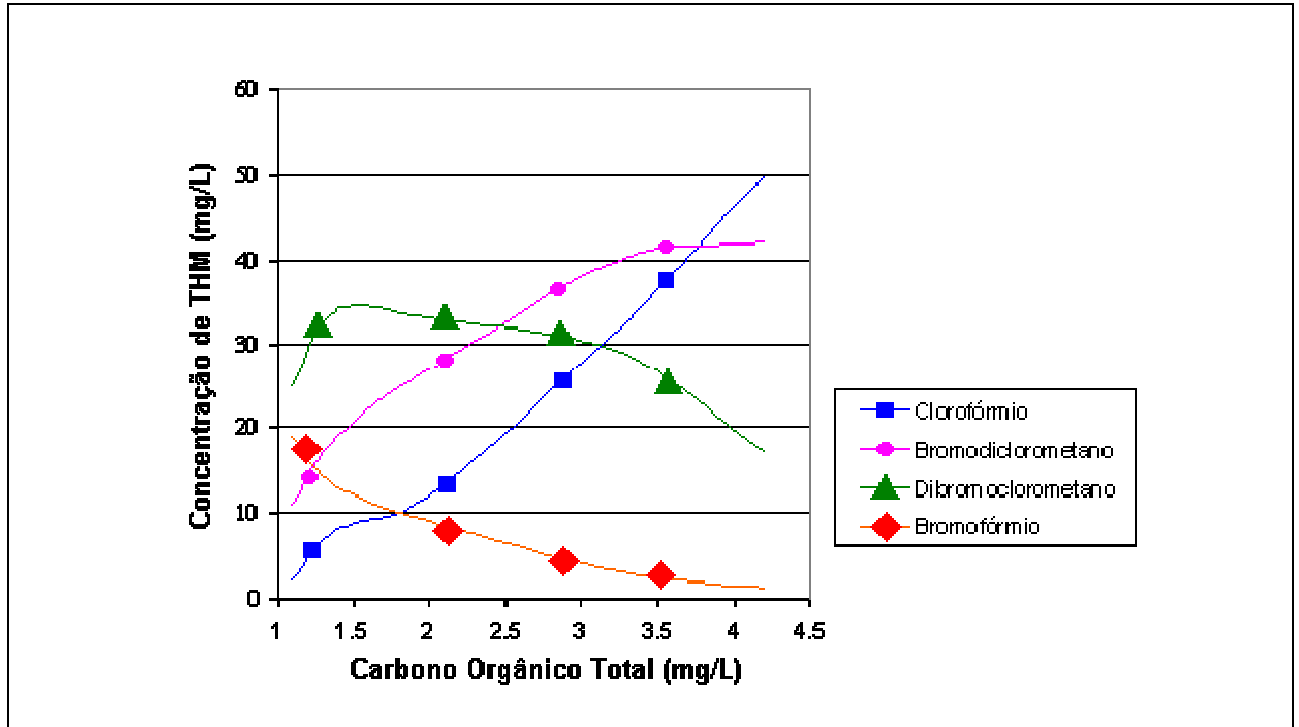


Figura 1. Concentrações das espécies de THM resultantes da cloração de águas sintéticas (adaptado de Black et al., 1996).

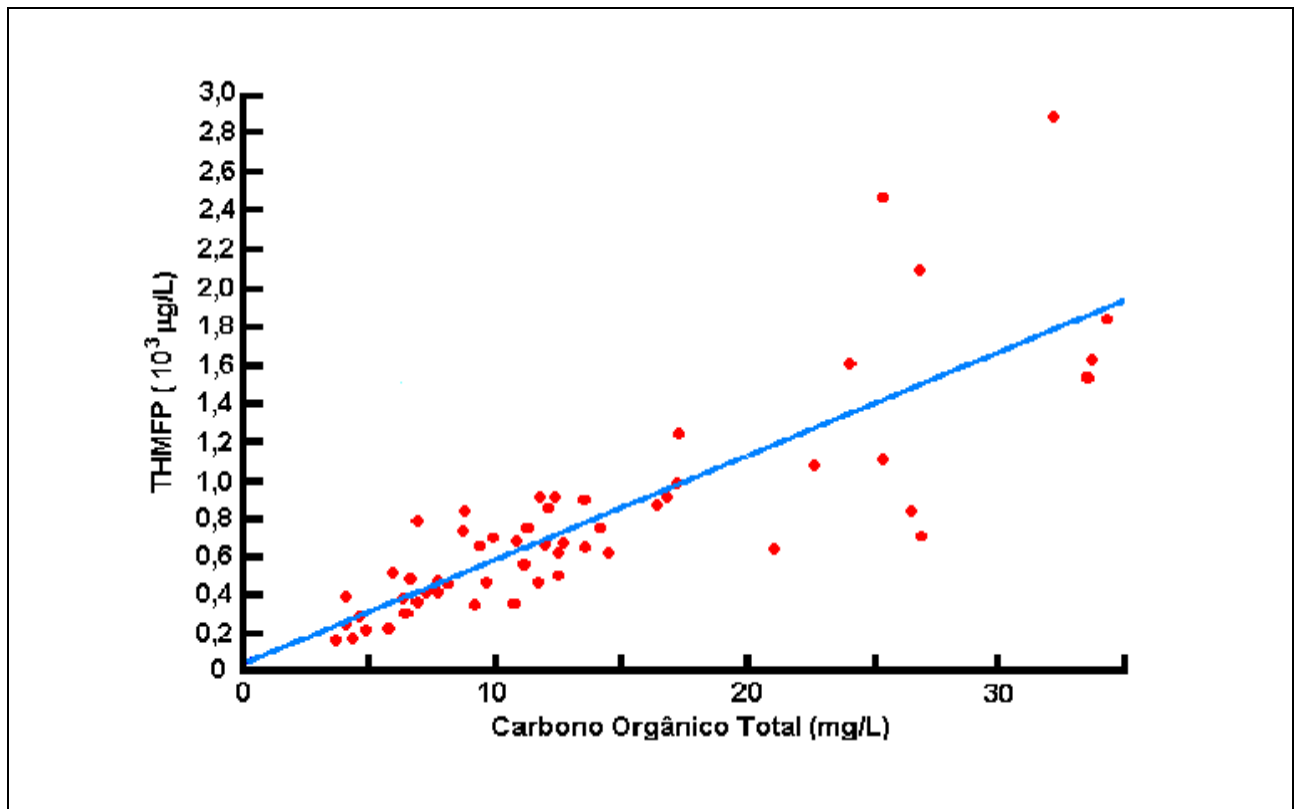


Figura 2. Correlação entre as concentrações de THMFP e COT referentes às análises do aflente de doze estações de tratamento localizadas em seis estados norte-americanos (Singer et al., 1989).

maiores concentrações, toxicidade às águas. Segundo o seu modo de ação as toxinas produzidas por algas podem ser divididas nos seguintes grupos: hepatotoxinas, neurotoxinas, endotoxinas e toxinas irritantes da pele. A ingestão de água contaminada por toxinas pode acarretar distúrbios orgânicos de distintas naturezas. Em caso de acesso direto à corrente sanguínea a sua atuação é geralmente fatal, como demonstrou o conhecido caso dos pacientes de uma clínica de hemodiálise na cidade de Caruaru, Pernambuco (Jardim, 1999).

A interferência da presença de algas na potabilização das águas descortina-se em várias vertentes de acordo com o(s) grupo(s) predominante(s). Alguns grupos de algas interferem no tratamento das águas de diferentes formas. Usualmente ocorre o aumento do consumo de produtos químicos, a redução da sedimentabilidade dos flocos e das carreiras de filtração, a elevação da demanda de cloro na desinfecção, com maior possibilidade de formação de THMs, ocasionando maiores riscos à saúde humana.

Nesta última vertente, apesar das substâncias húmicas constituírem-se nos principais precursores de THMs em águas cloradas, pesquisas em laboratório confirmaram a relação entre a presença das algas e dos seus subprodutos metabólicos com a concentração de THMs. Constatou-se que os compostos orgânicos excretados por algumas espécies apresentam igual importância na formação de clorofórmio (CHCl_3), por unidade de COT, quanto os ácidos fúlvicos e húmicos.

A importância destes compostos como precursores de THMs evidenciou-se significativamente, em populações predominantemente jovens, nos períodos de elevada atividade metabólica da comunidade algal - meses de maior insolação, última fase exponencial de crescimento. No gráfico da Figura 3 é apresentada a relação entre a concentração total de THM e clorofila a.

Por outro lado, alguns subprodutos metabólicos das algas - MIB e geosmina - podem também conferir sabor e odor às águas de abastecimento, por si só ou em associação com compostos de cloro, e a presença das algas pode favorecer desenvolvimento de bactérias no sistema de distribuição (Ferreira Filho, 1996).

A associação da presença de algas ao COT, referenciada anteriormente, consubstancia-se parcialmente no gráfico da Figura 4, que contempla a relação entre as concentrações de fósforo e clorofila a - usual indicador do florescimento algal - e o teor de COT, verificada em diversos reservatórios nos EUA.

A intrínseca relação entre a concentração média de fósforo e o COT, evidenciada pelo alto

coeficiente de correlação, é indicador da magnitude da comunidade algal. Tal se deve pelo fato do fósforo ser um dos principais fatores limitantes do crescimento da população de algas, juntamente com o nitrogênio. Este, por sua vez, abundante no ar atmosférico, é fixado no meio aquoso por algumas espécies - principalmente cianobactérias -, contribuindo ainda mais para a floração algal. A relação entre a concentração de nutrientes e a formação de biomassa algal não é no entanto linear, adquirindo usualmente uma configuração exponencial.

Atenua parcialmente a baixa correlação obtida entre o teor de clorofila a e o COT, o fato de pesquisas anteriores apontarem para um coeficiente de correlação não muito elevado - $R = 0,80$ - entre esse parâmetro e a concentração total de algas.

Uma das alternativas de controle da floração de algas consiste na pré-cloração ou aplicação de algicidas, tais como compostos de cobre, sulfato de cobre em maior escala, e permanganato de potássio. Também são usados em menor frequência compostos de prata, sais orgânicos de zinco, ozônio, solventes aromáticos e peróxido de hidrogênio (água oxigenada). Nestas circunstâncias, o rompimento da parede celular das algas ou das cianobactérias (algas azuis) pode acarretar a liberação de diversas toxinas deletérias à saúde humana e outros animais. Adicionalmente, pode ocorrer o aproveitamento do material celular das algas mortas como substrato para outros microrganismos, também passíveis de conferir sabor e odor às águas (Raman, 1985).

MECANISMOS DE REMOÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL

Nos itens que se seguem serão abordadas a coagulação química e a adsorção com carvão ativado, principais mecanismos de redução do teor de COT na água bruta empregados, em estações de tratamento de água, para abastecimento público. Com o mesmo intento, tem sido extensivamente utilizada nos EUA, principalmente em unidades industriais, a filtração em membrana.

Coagulação

Diversos tipos de partículas de argila são capazes de adsorver substâncias húmicas, bem como pesticidas e metais pesados (Cd, Zn, Hg, Pb, Cr etc.) associados a estas, tornando ainda mais estreita a relação do COT com a turbidez para

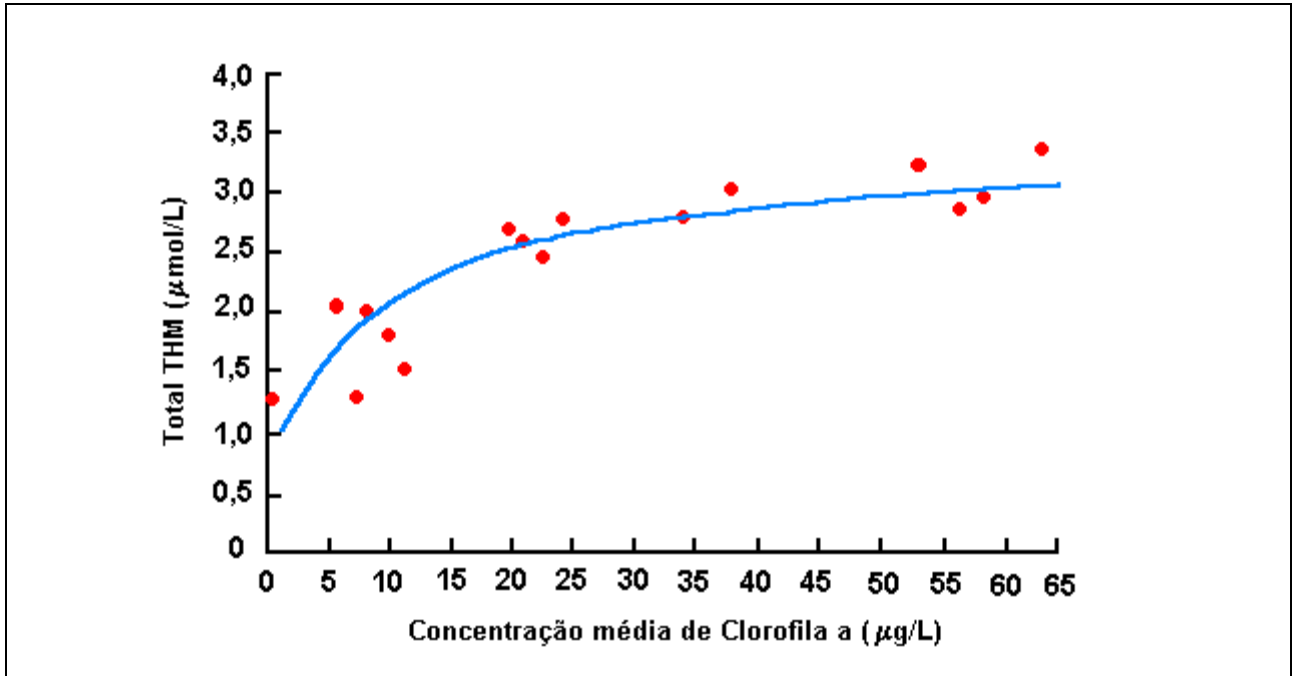


Figura 3. Correlação entre as concentrações médias de clorofila a e THMs na água tratada, observada no reservatório de Occoquan (Occoquan, Virginia) no período de maio a novembro de 1975 (Hoehn et al., 1980).

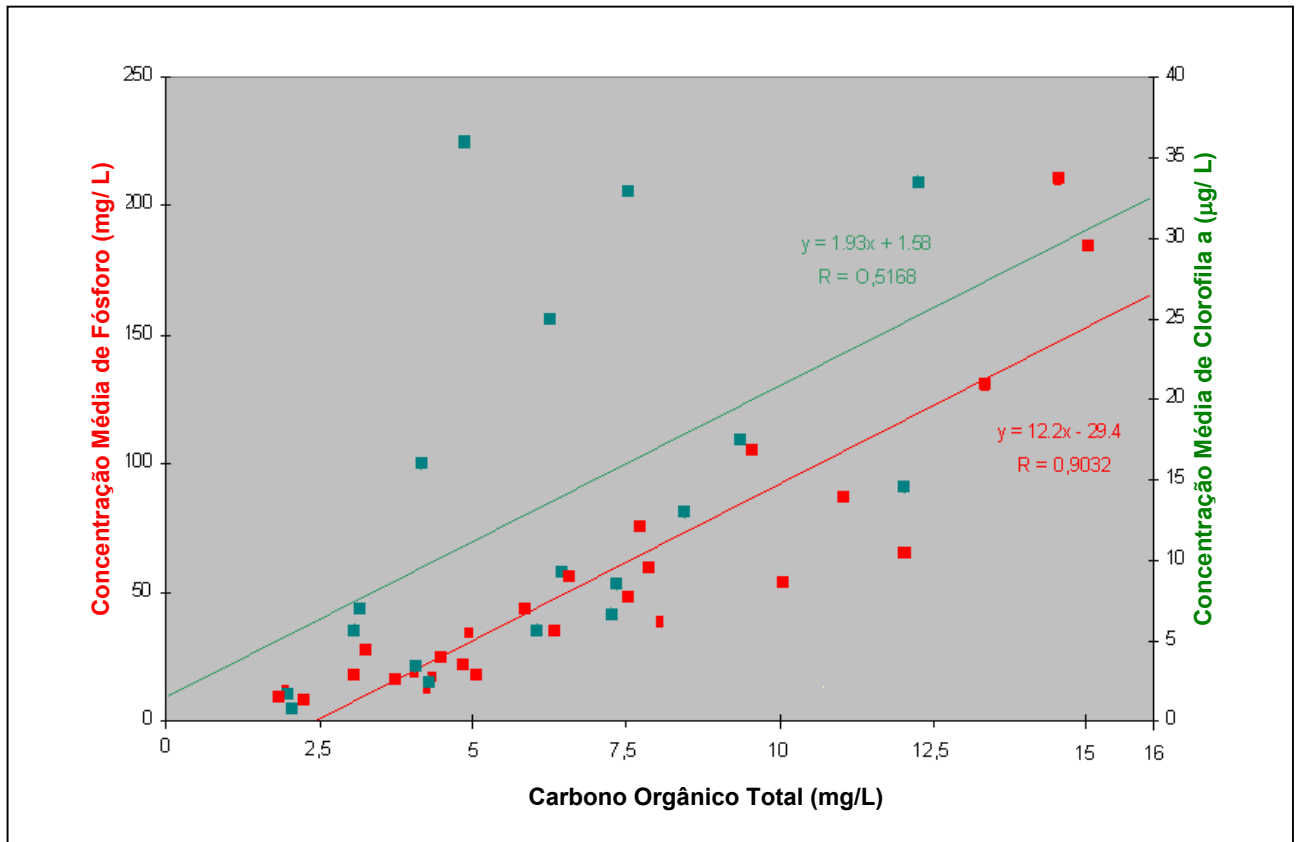


Figura 4. Avaliação da correlação das concentrações médias de fósforo e clorofila a com carbono orgânico total (adaptado de Walker, 1983; apud Di Bernardo, 1995).

estas águas naturais. A magnitude da adsorção de substâncias húmicas é governada pelo tipo de argila e pelo pH da água natural. Desta forma, a etapa de coagulação, floculação e decantação - principais responsáveis pela remoção da turbidez - também atuam para a redução do teor COT. Consequentemente, verifica-se também alguma remoção de pesticidas e metais pesados, eventualmente encontrados na água bruta.

No que tange a coagulação de águas de cor verdadeira elevada, a mesma é usualmente realizada com dosagens mais elevadas de coagulante e pH mais baixo. Estudos em águas naturais de cor elevada apontam para um pH ótimo variando de 5,2 a 5,7 e 4,0 a 4,6, para coagulação com sais de alumínio e ferro, respectivamente, e a maior eficiência na remoção da cor nas vizinhanças do ponto isoelétrico. A importância do pH testifica-se no controle do grau de ionização das substâncias húmicas e na formação das espécies hidrolisáveis do coagulante.

Quando a remoção da cor verdadeira se sucede nestas condições, algumas vantagens e desvantagens podem ocorrer. Baixos teores de COT no sistema de distribuição minimizam o recrudescimento bacteriano e, em função do pH da água filtrada, a relação *dosagem de cloro x tempo de contato*, tornando o processo de desinfecção mais econômico e igualmente eficaz.

Em contrapartida, dosagens mais elevadas de coagulantes acarretam aumento do custo unitário da água tratada e da produção de lodo. Para algumas águas naturais, não se obtém eficiente remoção de turbidez para o par *dosagem de coagulante x pH de coagulação* ótimo na remoção de cor verdadeira. Tal se sucede em função do pH mais elevado para remoção da turbidez. Nestas circunstâncias, a definição da dosagem ótima deve privilegiar o atendimento ao padrão de potabilidade vigente e, secundariamente, ao custo dos produtos químicos. Nas Figuras 5 e 6 estão apresentados resultados de ensaios de coagulação com sulfato de alumínio, em termos de remoção de COT e turbidez, para a água do rio Mississipi (EUA).

A análise dos gráficos das Figuras 5 e 6 suscita algumas constatações relevantes. Ao contrário do que ocorre para as dosagens de 25 e 100 mg/l, para as dosagens de sulfato de alumínio de 50 e 75 mg/l, a eficiência máxima na remoção de COT e turbidez realiza-se para um pH de coagulação de mesma magnitude. Uma segunda constatação decorre da existência de uma ampla faixa de pH - principalmente para as dosagens mais elevadas - para a qual obtém-se alta remoção de turbidez. Todavia, em termos de COT

há nitidamente um intervalo restrito de valores de pH para o qual a eficiência da coagulação é máxima.

No intuito de cotejar o desempenho de diferentes coagulantes, a maioria das pesquisas, enfatizando a remoção de COT por coagulação, apontam consistentemente para uma maior eficiência do cloreto férrico em relação ao sulfato de alumínio. Na Figura 7 são apresentados resultados para três águas naturais distintas que corroboram tal assertiva.

Embora as já referidas substâncias húmicas não apresentem efeito deletério à saúde humana, conforme já mencionado, as mesmas estão por vezes associadas à presença de pesticidas e metais pesados. Nesta vertente, ainda que não se disponha de dados referentes à presença de pesticidas na água distribuída de Ituiutaba - uma única detecção ocorreu em 1996, para o organofosforado Malation -, pesquisa realizada na cidade paulista de Bauru apresentou resultados comprovando a remoção destes compostos na própria estação de tratamento, sem o emprego de carvão ativado.

Durante um período de três meses, especificamente o verão de 1997/1998, foram coletadas amostras da água tratada em diversos pontos da rede de distribuição, da água bruta e do solo próximo às margens do rio Batalha, principal manancial da cidade. Os valores médios para os dois últimos estão apresentados na Figura 8.

Ao longo do período de monitoramento, as amostras da água tratada não apresentaram concentrações de pesticidas superiores às preconizadas pela Portaria 36/90, embora as concentrações de Dieldrin, Aldrin e Heptacloro fossem superiores aos limites da resolução Conama/86 para águas classe 3, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento convencional. Uma vez que não se aplica carvão ativado em qualquer etapa do tratamento, a remoção dos pesticidas efetuou-se pelo alto grau de associação dos mesmos com o material orgânico presente - para um pH ótimo variando de 4 a 5 e 5 a 6, utilizando-se sais de ferro e alumínio, respectivamente - e pela sua adsorção às partículas de argila, por sua vez removidas majoritariamente na decantação.

A redução das concentrações de pesticidas depende, entre outros fatores, das características do afluente e das dosagens de coagulantes utilizadas. Alguns estudos apresentam elevados percentuais de remoção de DDT utilizando-se sais de ferro e alumínio. Porém, menores índices de remoção de DDT foram aferidos, em investigações posteriores, com águas de maior dureza, demonstrando também a ineficiência da aplicação de dosagens crescentes de coagulantes em tais águas.

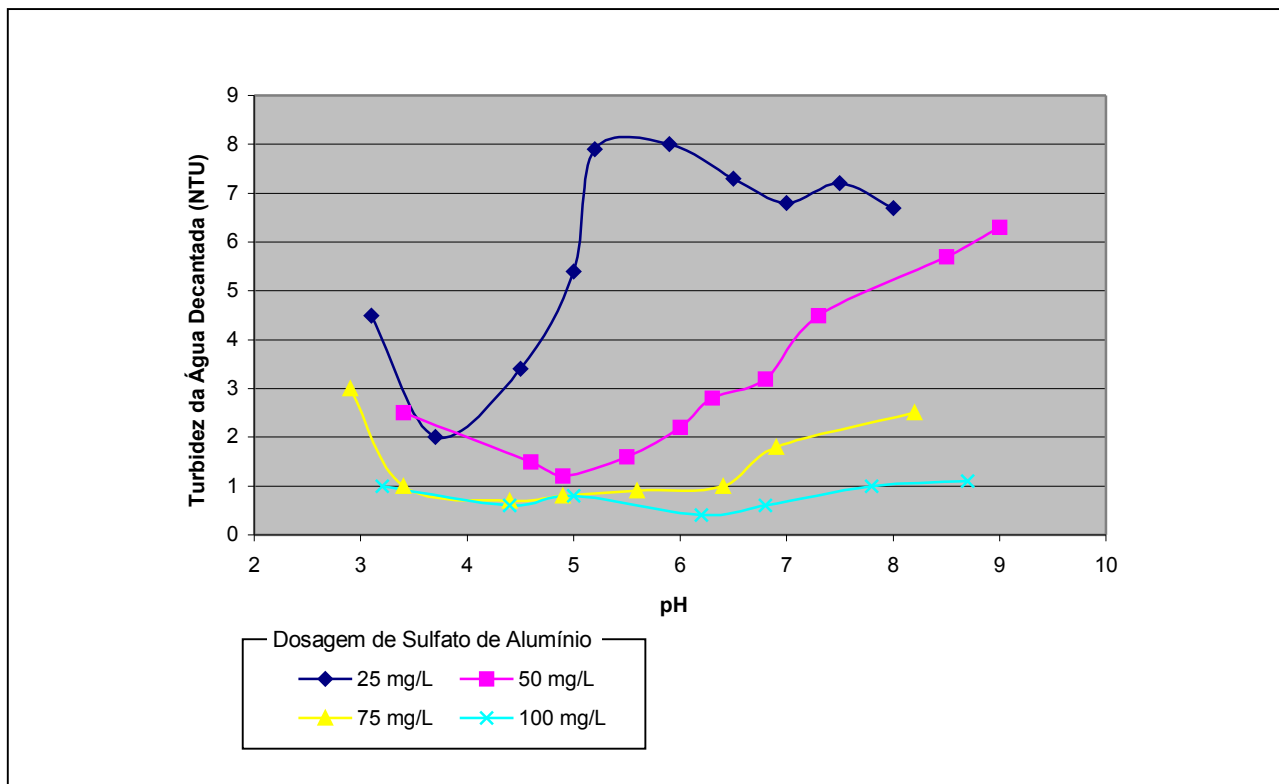


Figura 5. Turbidez da água decantada do rio Mississippi em função do pH e da dosagem de sulfato de alumínio (adaptado de AWWA - Committee Report, 1979).

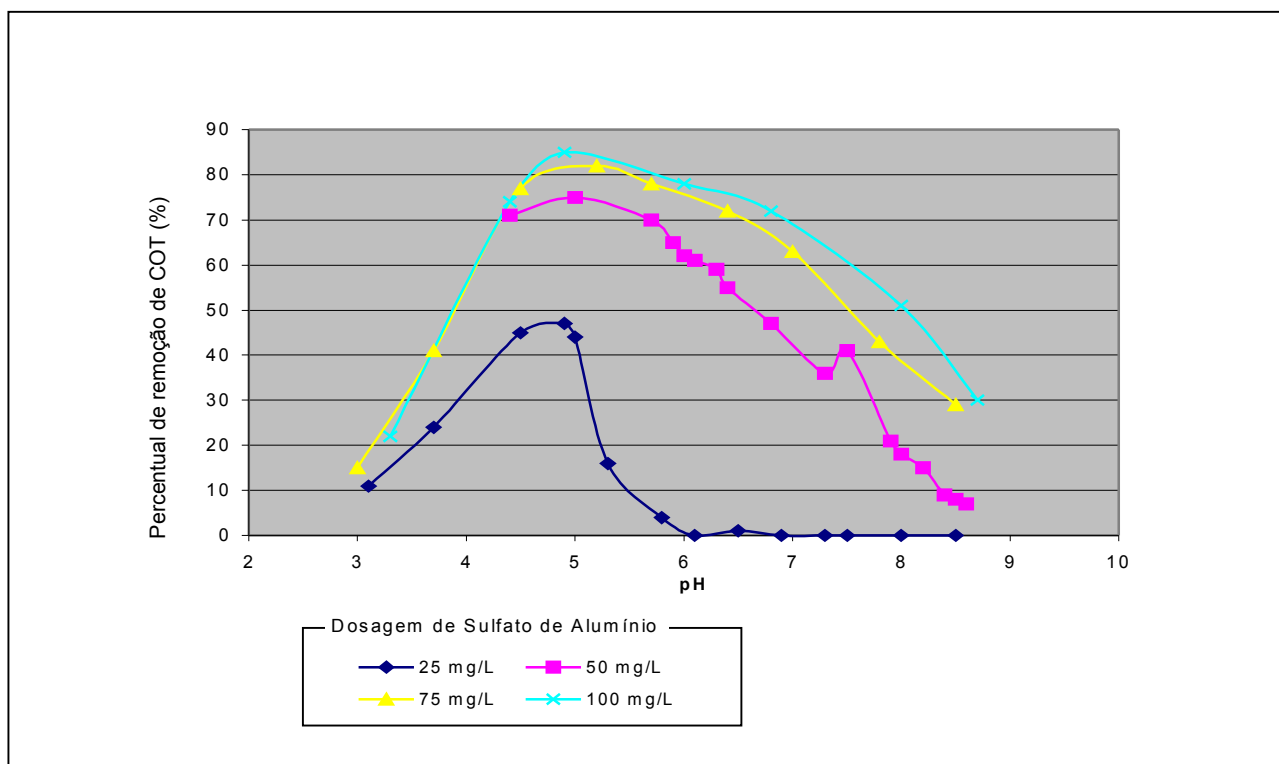


Figura 6. Remoção de COT das águas do rio Mississippi em função do pH e da dosagem de sulfato de alumínio, aferida após etapa de decantação (Adaptado de AWWA - Committee Report, 1979).

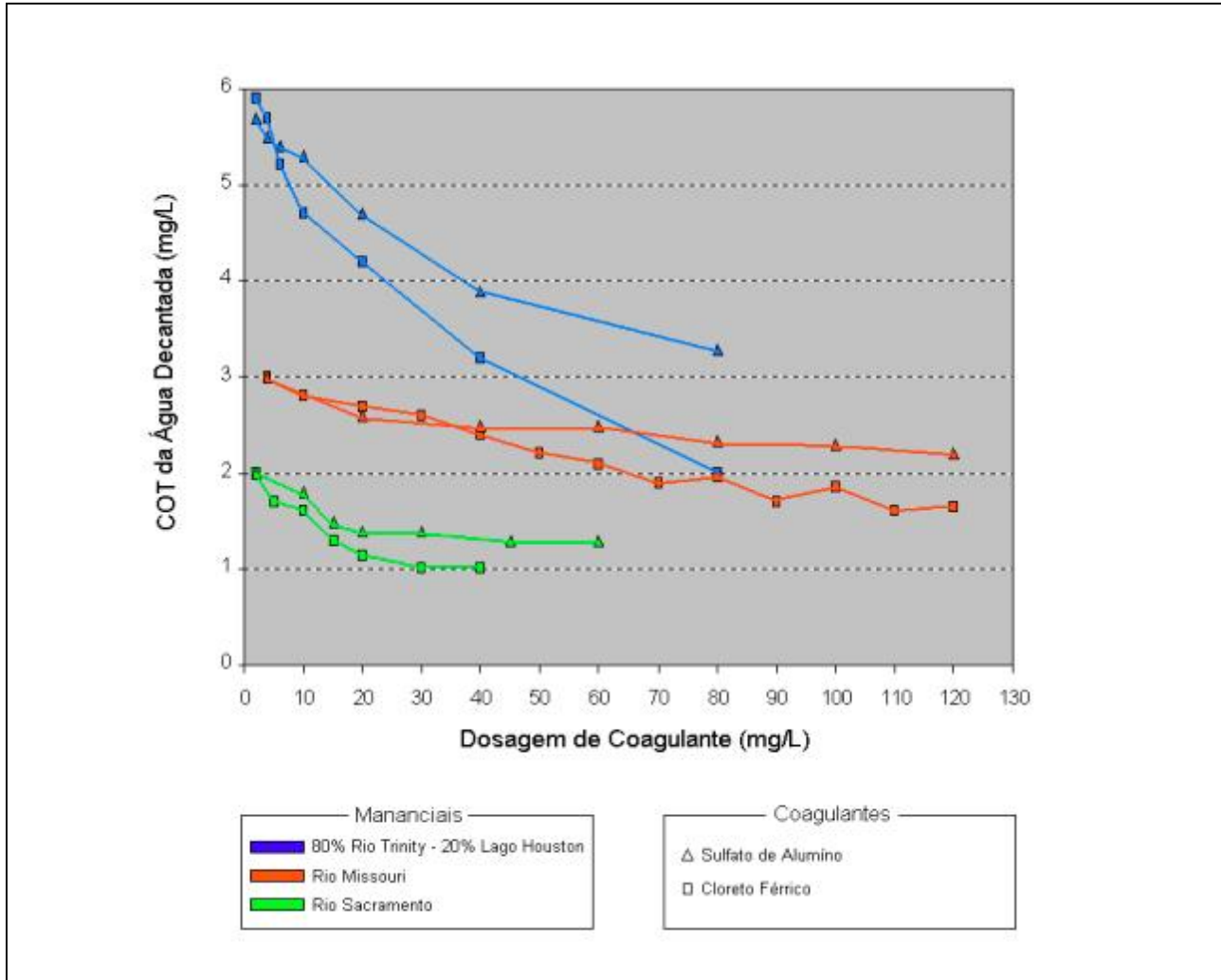


Figura 7. Avaliação da eficiência na remoção de COT para diferentes coagulantes em dosagens diversas (adaptado de Crozes et al., 1995).

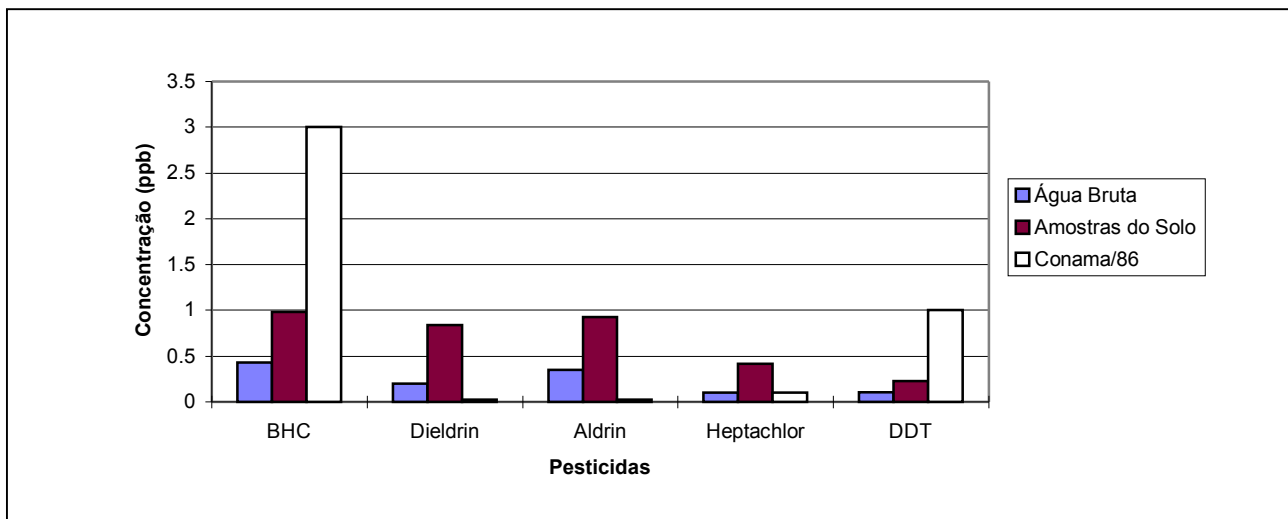


Figura 8. Concentração de pesticidas na água bruta e em amostras do solo da bacia do principal manancial da cidade de Bauru (Rissato et al., 1998).

Por sua vez, nas mesmas pesquisas, outros pesticidas como Aldrin, Dieldrin e Endrin não foram suficientemente removidos quando do emprego de sulfato de alumínio.

O COT também pode atuar como agente complexador de diversos metais pesados, maximizando sua remoção no tratamento convencional. Desta forma, mesmo mananciais severamente contaminados podem ser aproveitados para fins de abastecimento público (Rissato et al., 1998).

Adsorção com carvão ativado

A adsorção consiste em um mecanismo físico-químico de acumulação de uma ou mais substâncias, na forma líquida ou gasosa - denominada adsorvato -, na superfície de um sólido, denominado adsorvente. Tal processo, quando empregado em tratamento de água, usualmente objetiva a remoção de pesticidas, toxinas geradas por algas, trihalometanos e compostos orgânicos precursores dos mesmos.

O carvão ativado consiste no adsorvente mais usual, quer na forma granular ou em pó, capaz de adsorver substâncias em suspensão ou solução no meio aquoso, possibilitando a redução de cor verdadeira, toxidez, odor e sabor. Adicionalmente, o emprego do carvão ativado favorece a estabilização do lodo dos decantadores e a redução da demanda de cloro para desinfecção.

A definição pela forma do carvão ativado a ser empregada envolve fatores técnicos, econômicos e operacionais. O carvão ativado em pó tem sido usualmente empregado em estações existentes, com os objetivos mencionados, consequência da deterioração das características da água bruta dos mananciais.

Pesquisa enfocando a adsorção de substâncias húmicas apontou diversos fatores intervenientes na eficiência da adsorção, tais como, pH, teor de COT, dosagem e tamanho das partículas de carvão ativado em pó e tipo e concentração de íons inorgânicos na água. A hierarquização da relevância destes fatores é apresentada na Tabela 2. Desta forma, de acordo com as premissas contidas na Tabela 2, a influência da concentração de alguns cátions, principalmente Ca^{++} e Mg^{++} , na eficiência da adsorção assume particular importância para algumas operações usuais de tratamento que objetivem a redução da dureza da água bruta. Por outro lado, há maior eficiência da adsorção de compostos orgânicos com carvão ativado granular após a coagulação química em águas naturais e, em maior escala, para o sulfato de alumínio em relação ao cloreto férrico. Todavia, em tais situa-

ções pode ocorrer a redução da capacidade do carvão ativado de adsorver alguns compostos orgânicos similares às substâncias húmicas, o que pode ser comprovado pelo emprego de ácido tânico como adsorvato. Desta forma, a plena caracterização dos compostos orgânicos presentes balizará a sequência de aplicação dos produtos químicos e do carvão ativado.

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS DE ANÁLISE DO COT

A cidade de Ituiutaba, com população da ordem de 85 mil habitantes, é abastecida por duas unidades de tratamento contíguas que potabilizam uma vazão média diária de 300 l/s, atingindo 400 l/s durante 14 horas por dia. A água bruta aflui às estações por meio de duas adutoras e o caudal é dividido após o processo de coagulação, realizado em um medidor Parshall comum às duas unidades de tratamento. Por intermédio de dois vertedores retangulares afluem 285 l/s para estação objeto do trabalho e o restante para a outra unidade de tratamento.

A estação conta com um floculador mecanizado de eixo vertical dotado de cinco câmaras, três decantadores de escoamento horizontal e dois filtros de fluxo descendente, operados com taxa declinante variável em consonância com as seis unidades da outra estação, dispondo ainda de medidor de escoamento contínuo de COT, apto a aferir este parâmetro nas águas bruta e tratada. Todavia, usualmente as medições de COT realizam-se alternadamente a cada período de 12 horas, no afluente e efluente da estação. Desta forma, utilizaram-se as médias diárias, decorrentes de 12 observações, referentes aos meses de agosto e janeiro, característicos dos períodos de estiagem e de chuva.

No intuito de avaliar a magnitude do teor de COT na água bruta de Ituiutaba em relação a outros mananciais de abastecimento, os dados disponíveis foram comparados com amostras de águas naturais coletadas no rio Grasse (Canton, Nova York) e no reservatório Glenmore (Oneida, Nova York), nos Estados Unidos, durante o período de 1980-82. Ambos os mananciais apresentam características semelhantes a de muitos outros nos EUA e encontram-se protegidos de fontes poluidoras - descargas de esgotos domésticos e industriais, apresentando matéria orgânica e precursores de THM oriundos de processos naturais.

Comparativamente, as águas do rio Grasse apresentam maior concentração de COT, valor médio da ordem de 7 mg/l, sendo o mesmo majori-

Tabela 2. Fatores intervenientes na adsorção de substâncias húmicas com carvão ativado (baseado em Snoeyink, 1990).

Fator interveniente	Natureza do efeito	Relevância no processo
Tipo de carvão ativado	Maximiza a adsorção para os maiores tamanhos dos poros;	Significativa;
Tamanho das partículas	Maximiza a adsorção para as menores partículas;	Elevada;
pH	Maximiza a adsorção para baixos valores de pH;	Significativa para pH neutro, elevada para pH baixo;
Ca ⁺⁺	Maximiza a adsorção com o aumento da concentração;	Elevada;
Mg ⁺⁺	Maximiza a adsorção com o aumento da concentração;	Ligeiramente inferior à relevância do Ca ⁺⁺ ;
K ⁺	Maximiza a adsorção com o aumento da concentração;	Significativa, mas inferior à dos cátions Ca ⁺⁺ e Mg ⁺⁺ ;
Na ⁺	Maximiza a adsorção com o aumento da concentração;	Significativa, mas inferior à do cátion K ⁺ ;

tariamente constituído por substâncias húmicas carregadas ao longo da bacia hidrográfica. Por sua vez, o teor de COT aferido no reservatório protegido Glenmore, valor médio da ordem de 4 mg/l, é explicado principalmente pela produção biológica primária - crescimento algal. Nos gráficos das Figuras 9 a 14 apresentam-se os dados observados em agosto de 1998 e janeiro de 1999, referentes à estação de Ituiutaba. Nos gráficos das Figuras 10 e 12 estão relacionadas a turbidez da água bruta com o teor de COT. Os baixos índices de correlação entre os valores médios diários de turbidez e de COT apontam para uma pequena capacidade das partículas de argila, predominantes na bacia hidrográfica do manancial, de adsorver os compostos orgânicos. Desta forma, estima-se que o para o par de valores *dosagem de sulfato de alumínio x pH de coagulação*, para o qual é máxima a remoção de turbidez, não verificar-se-ão as condições ótimas de remoção do COT.

Posteriormente, objetivando inferir estatisticamente a magnitude do COT da água bruta afluente à estação de Ituiutaba, foram elaborados os gráficos das Figuras 13 e 14. Nas mesmas estão apresentados os histogramas de frequência e o percentual acumulado para os dois períodos amostrados.

A partir dos resultados apresentados, nas figuras mencionadas, constata-se o baixo teor de COT na água bruta, em ambos períodos amostrados, quando comparados aos observados nos mananciais americanos. Os teores de COT na água tratada, mesmo com a elevação verificada no período chuvoso, mantiveram-se consistentemente abaixo de 0,8 mg/l.

Nos meses de agosto de 1998 e janeiro de 1999, observa-se mais de 80% dos valores amostrados iguais ou inferiores a 1,0 mg/l de COT. Neste último mês, verifica-se uma elevação deste percentual para 90% das amostras. Assim, devido às baixas concentrações de material orgânico aferidas nos períodos chuvoso e seco, a possibilidade de acréscimos significativos do COT afluente à estação de tratamento de Ituiutaba indicará uma possível deterioração do manancial. Objetivando inferir a relevância do emprego do carvão ativado em pó (CAP) na adsorção das substâncias húmicas, para a estação de Ituiutaba, elaborou-se o gráfico da Figura 15.

RECOMENDAÇÕES

Constata-se que os padrões de potabilidade vigentes no Brasil, na Europa e na América do Norte, não mencionam o COT e a maioria absoluta das estações brasileiras não dispõem de equipamentos de detecção deste parâmetro. A despeito disto, o progressivo aumento na restrição dos padrões permite estimar a breve inserção do COT nos mesmos. Desta forma, o fato da estação de Ituiutaba dispor de um equipamento para tal fim permitirá mais facilmente adequá-la a uma futura inserção do COT, no padrão de potabilidade vigente no Brasil. Desta forma, em relação à unidade de potabilização de Ituiutaba as principais recomendações, passíveis de serem aplicadas a outras estações que efetuem o monitoramento deste parâmetro, estão arroladas a seguir.

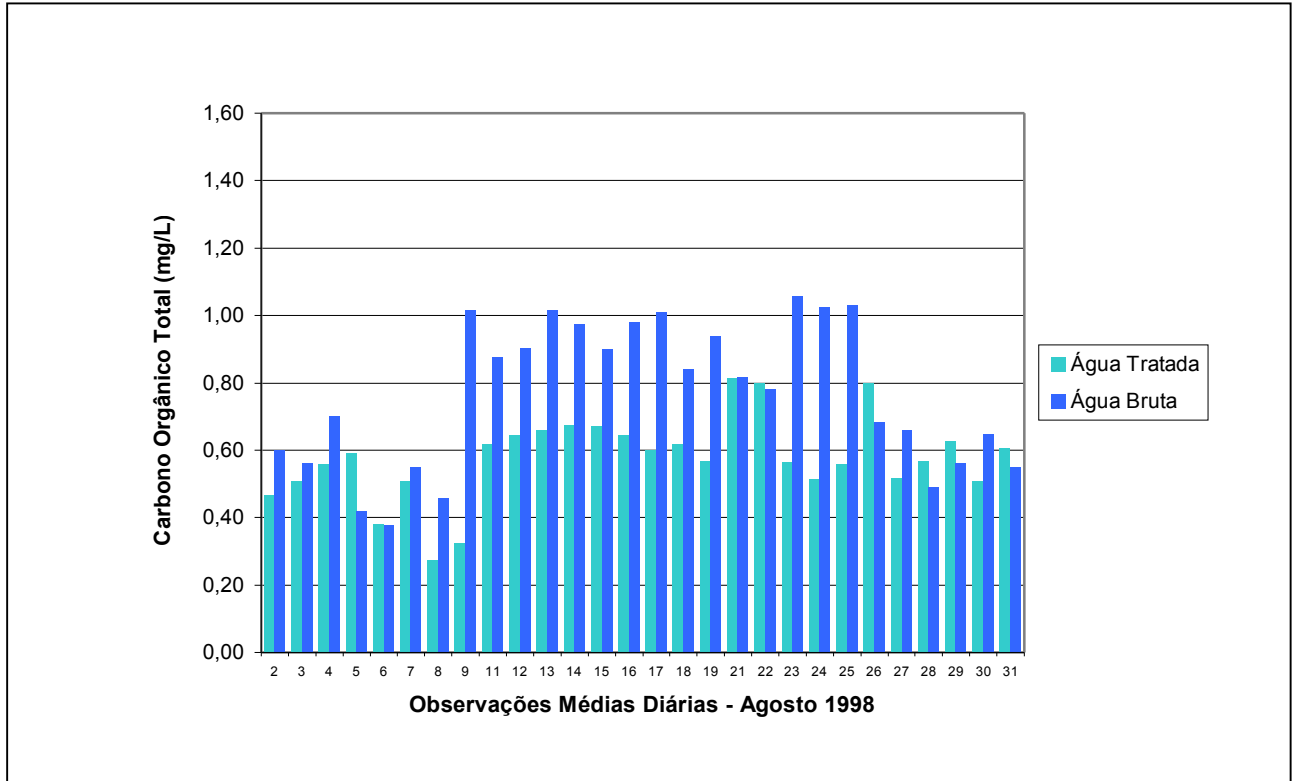


Figura 9. Médias diárias de COT nas águas bruta e tratada da estação de tratamento de Ituiutaba durante o mês de agosto de 1998.

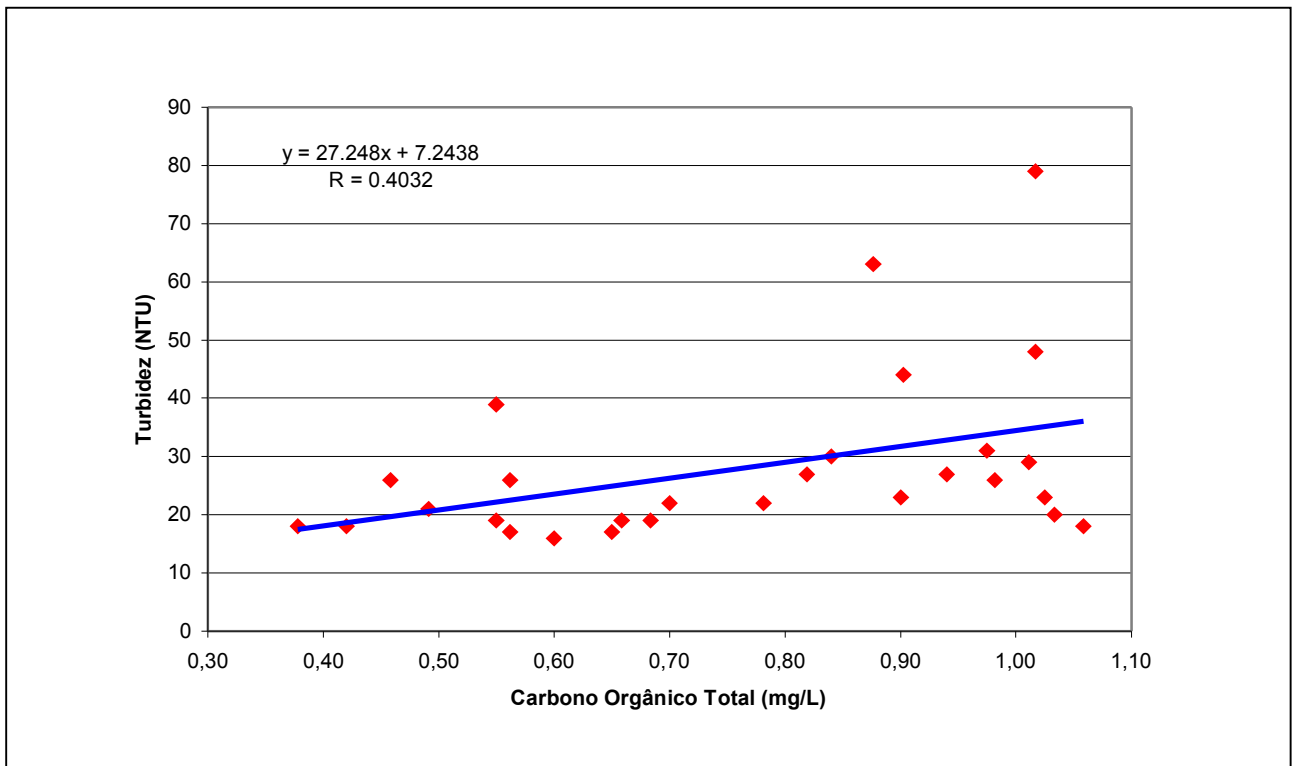


Figura 10. Correlação entre turbidez e COT aferida na água bruta da estação de Ituiutaba durante o mês de agosto 1998.

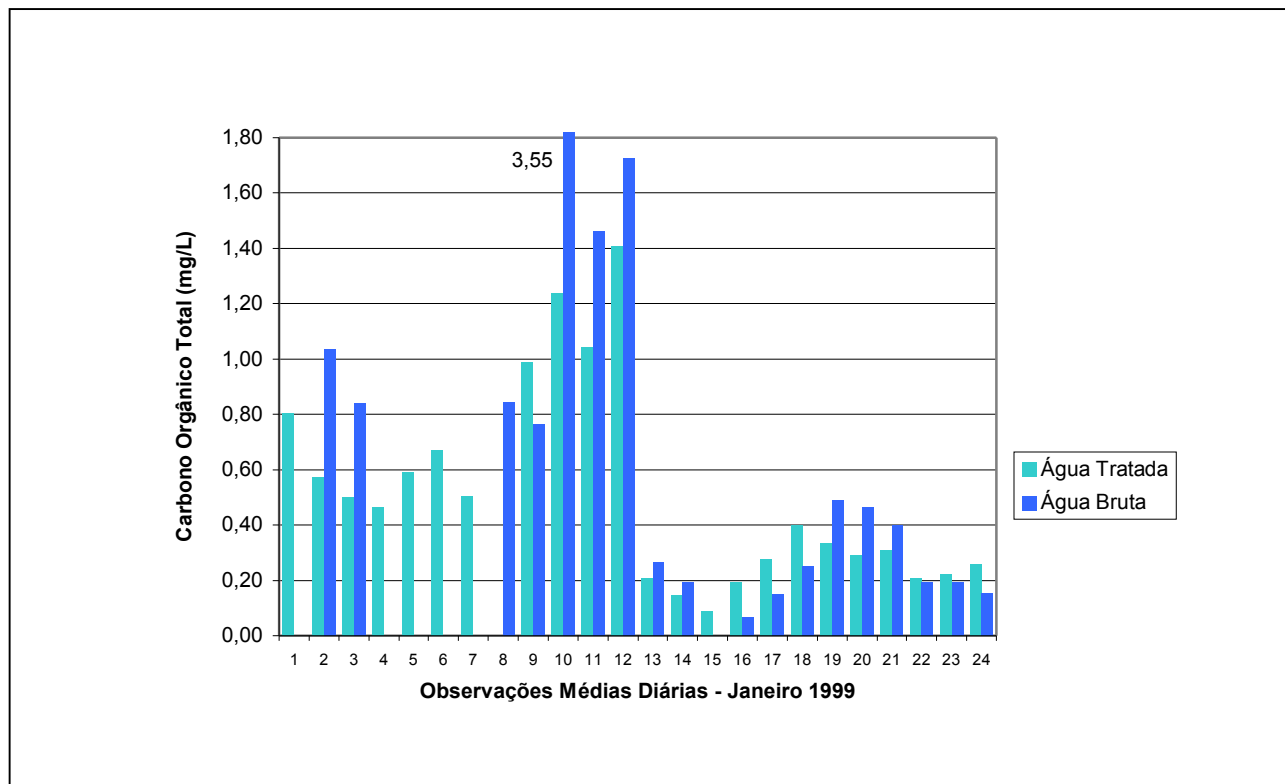


Figura 11. Médias diárias de COT nas águas bruta e tratada da estação de tratamento de Ituiutaba durante o mês de janeiro de 1999.

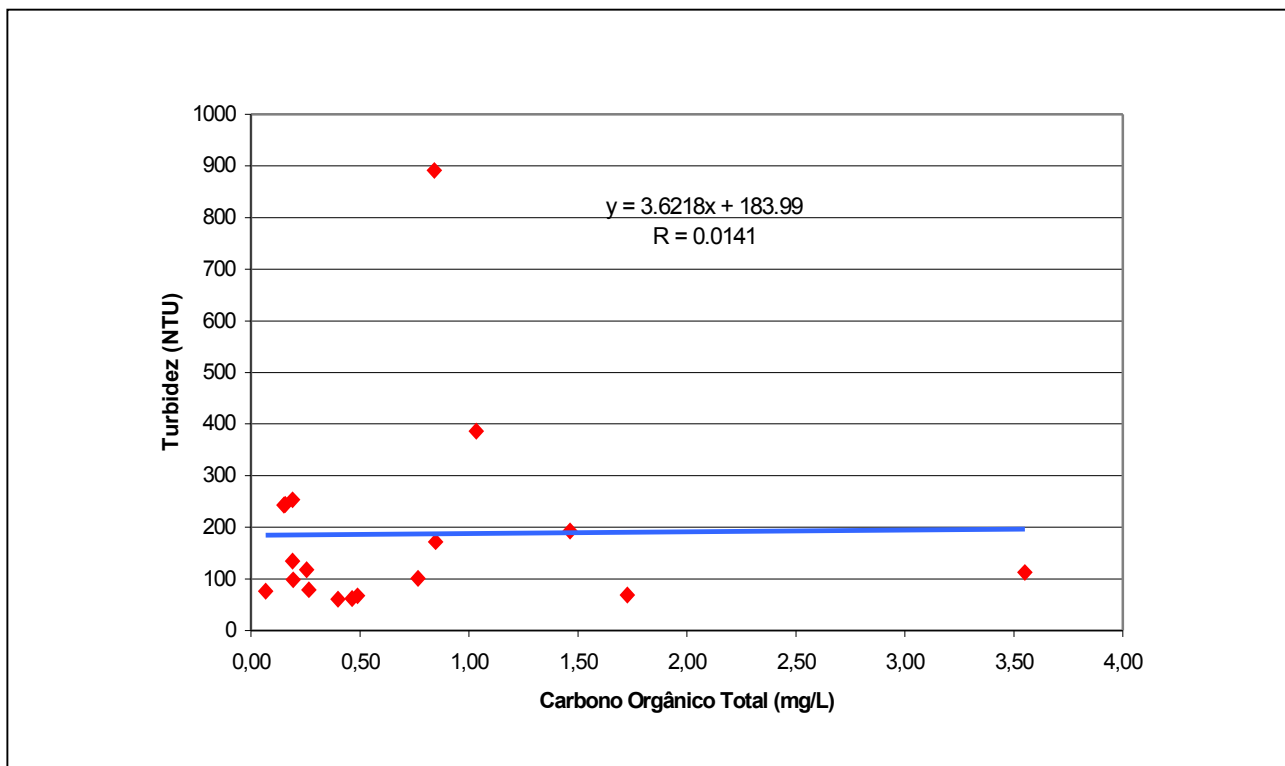


Figura 12. Correlação entre turbidez e COT aferida na água bruta afluenta à estação de Ituiutaba durante o mês de janeiro 1999.

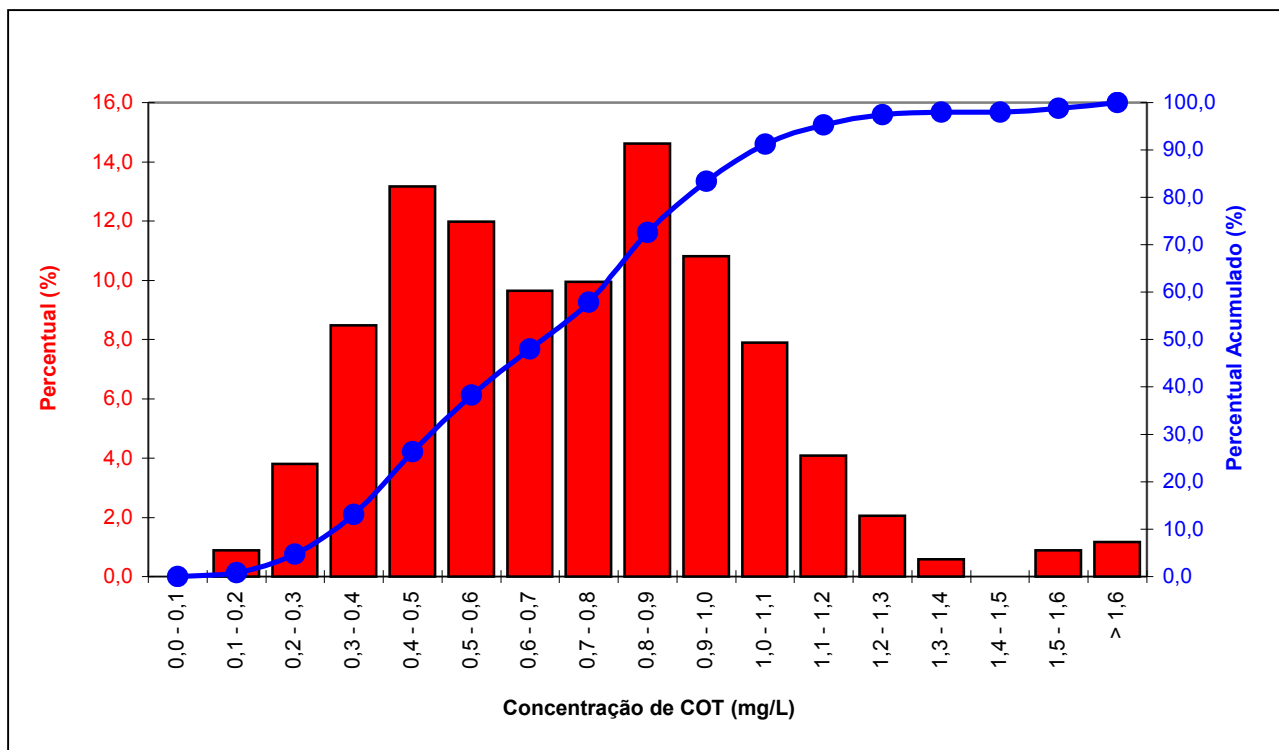


Figura 13. Histograma da concentração de COT e curva dos percentuais acumulados para a água bruta afluente à estação de Ituiutaba durante o mês de agosto 1998.

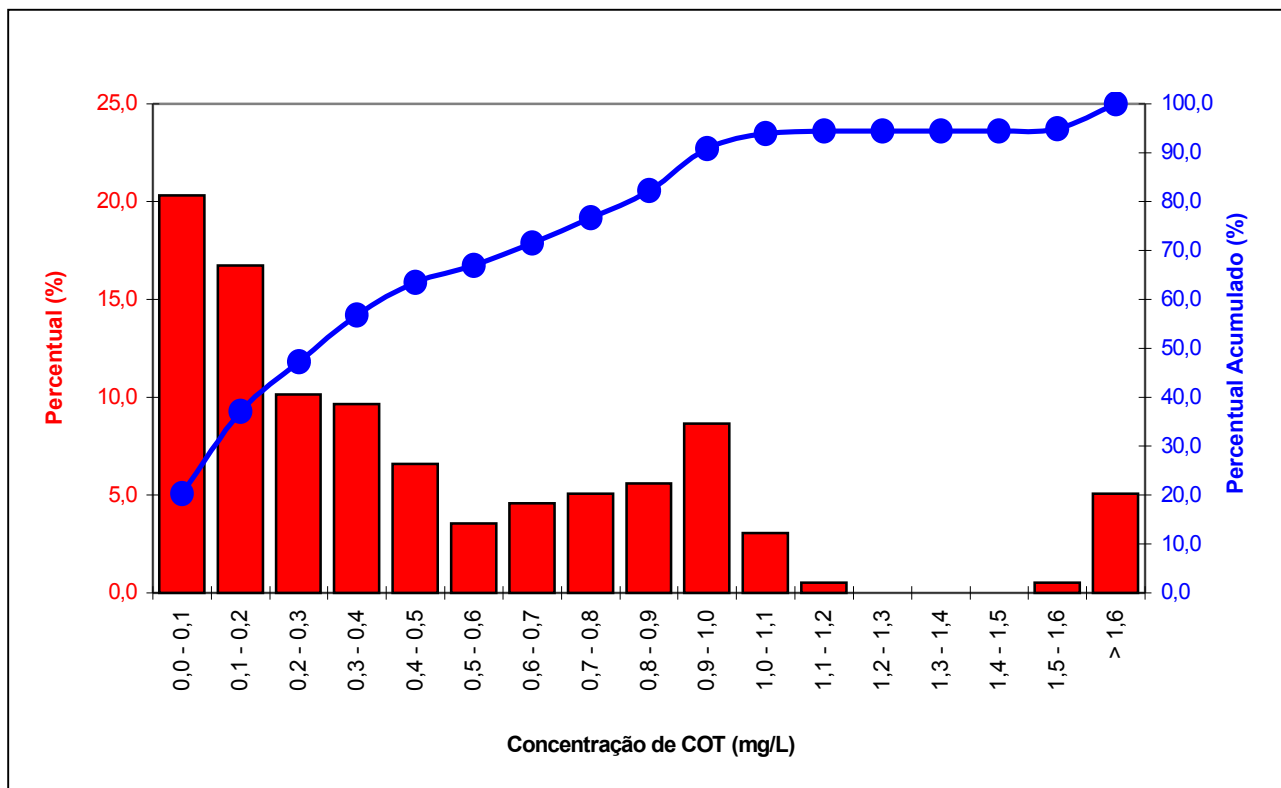


Figura 14. Histograma da concentração de COT e curva dos percentuais acumulados para a água bruta afluente à estação de Ituiutaba durante o mês de janeiro 1999.

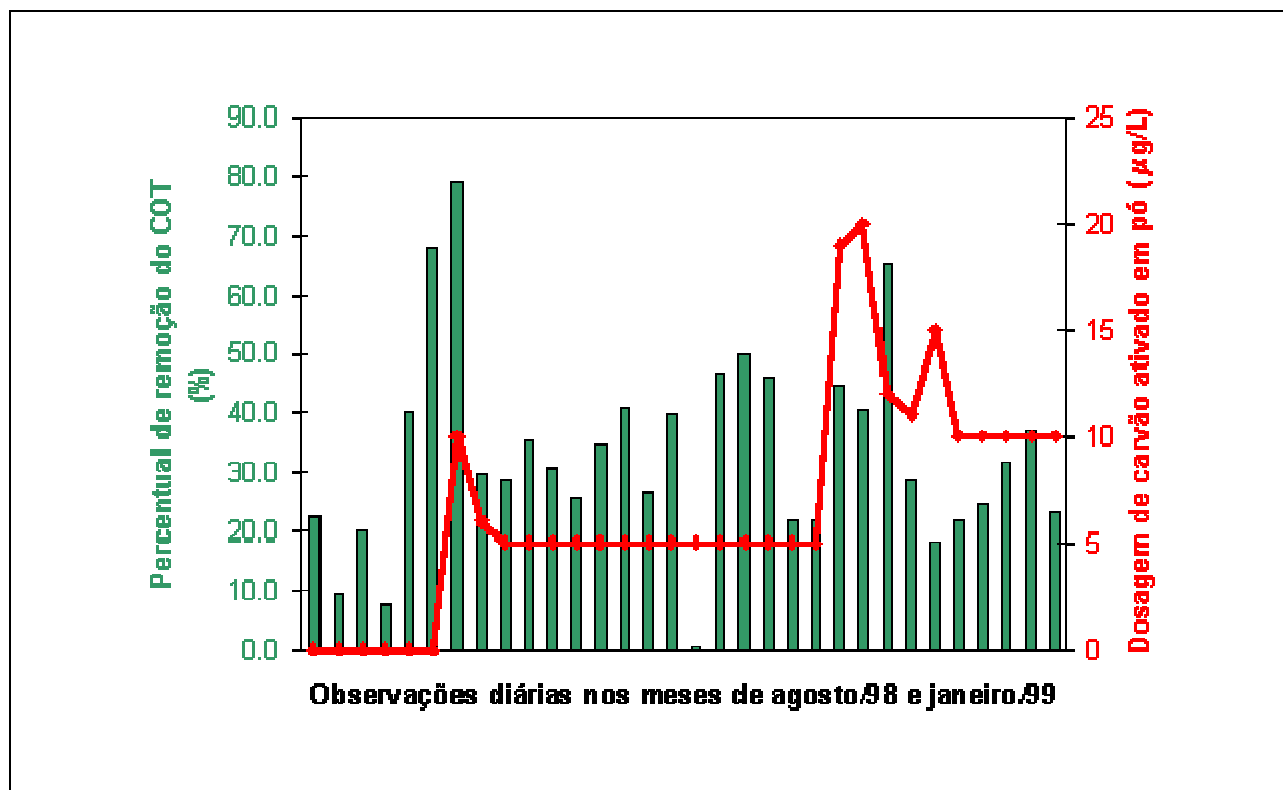


Figura 15. Remoção de COT e dosagens médias diárias de CAP nos meses de agosto de 1998 e janeiro de 1999.

- Inserir, na rotina operacional da estação de tratamento, a determinação da cor aparente e verdadeira das águas bruta e tratada. No que concerne à água tratada, tal procedimento objetiva atender as premissas contidas na Portaria 36/90 que preconiza o limite máximo de 5 uH para cor aparente. Em relação à água bruta, os resultados da cor aparente permitirão correlacionar a magnitude deste parâmetro à turbidez, balizadores das dosagens de sulfato de alumínio e polímero no processo de coagulação. A cor verdadeira, conforme exposto, está relacionada à concentração dos compostos orgânicos, precursores de trihalometanos. Será possível também tentar estabelecer a correlação – já identificada para diversas águas naturais - da cor verdadeira ao COT da água bruta.
- Ainda que tal recomendação não se alicerce nos dados de operação da própria estação, pode-se admitir um limite recomendável do COT da água tratada em 3,0 mg/l, desde que não ocorra a produção de odor e sabor. Vale mencionar que no período amostrado o teor máximo de COT foi de 1,4 mg/l.
- Efetuar análises de trihalometanos na água tratada, correlacionando os resultados ao cloro residual da água bruta, à dosagem de carvão ativado em pó, ao cloro residual e aos teores de COT da água bruta e tratada.
- Relacionar a possível geração de odor, verificada no tanque de contato, ao COT da água tratada e à dosagem de carvão ativado em pó. Desta forma, determinar-se-á a concentração máxima de COT para inobservância de odor e sabor na água tratada.
- Nas futuras análises de pesticidas na água distribuída, relacionar individualmente as concentrações dos pesticidas detectados às concentrações médias diárias do COT nas águas bruta e tratada e à dosagem de carvão ativado em pó.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Superintendência de Água e Esgoto de Ituiutaba, nas pessoas do diretor Luís Eduardo Martin e da responsável pela estação de tratamento Jane Roberta Martins Perdigão, pelo apoio à pesquisa e cessão dos dados operacionais, à Pró-Reitoria de Graduação da UFMG e à

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais pela concessão das bolsas aos segundo e terceiro autores e ao CNPq, pela concessão das bolsas de produtividade e pesquisa aos primeiro e quarto autores.

SINGER, P. C.; CHANG, S. D. (1989) Correlation between trihalomethanes and total organic halides formed during water treatment, *Journal American Water Works Association*, august.

SNOEYINK, V. L. (1990) *Adsorption of organic compounds in Water Quality and Treatment*, 4° ed.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (1979) Committee Report – Organics Removal by Coagulation: A Review and Research Needs, *Journal of American Water Works Association*, october.
- BLACK, B. D.; HARRINGTON, G. W.; SINGER, P. C. (1996) Reducing cancer risks by improving organic carbon removal, *Journal of American Water Works Association*, n° 6, p. 40-52, june.
- BRANCO, S. M. (1986) Problemas causados por organismos ao abastecimento de água in: *Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária*, cap. 6, p. 245-74, 3° ed. Ed. CETESB, São Paulo.
- COTRUVO, J. (1990) Rationale for Water Quality Standards and Goals in: *American Water Works Association - Water Quality and Treatment*, Ed. McGraw-Hill, Inc., chapter 1, p. 1-61.
- CROZES, G.; WHITE, P.; MARSHALL, M. (1995) Enhanced Coagulation: its Effect on NOM Removal and Chemical Costs, *Journal American Water Works Association*, january.
- DI BERNARDO, L. (1995) *Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento*, Ed. ABES, Rio de Janeiro, p. 127.
- FERREIRA FILHO, S. S. (1996) Otimização da Aplicação do Carvão Ativado em Pó no Tratamento de Água Visando a Redução de Compostos Orgânicos Causadores de Odor e Sabor em Águas de Abastecimento, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, ano I, vol. 4, p. 131-43, dezembro.
- HOEHN, R. C. et al. (1980) Algae as Sources of Trihalomethane Precursors, *Journal American Water Works Association*, june.
- JARDIM, F. A. (1999) *Implantação das Análises de Cianotoxinas e Avaliação do Potencial Tóxico em Estações de Tratamento de Água da Copasa - MG*, Dissertação de Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia da UFMG.
- MACÊDO, J. A. B. (1997) Determinação de trihalometanos em águas de abastecimento público e de indústria de alimentos, *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 3 n° 1, p. 7, março.
- RAMAN, K. R. (1985) Controlling Algae in Water Supply Impoundments, *Journal American Water Works Association*, august.
- RISSATO, S. R.; Galhiane, M. S.; LIBÂNIO, M.; VON SPERLING, E. (1998) Assessment of the presence of organochlorides in the water supply system of Bauru (Brazil), *Anais Eletrônicos do XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, Lima, novembro.

Assessment of the Importance of Total Organic Carbon as a Water Quality Parameter

ABSTRACT

This paper aims to present the primary results of an one-year experiment from April/98 to March/99, focusing on the evaluation of the importance of total organic carbon as a water quality parameter. Hence, a literature review and an accurate analysis of operational data from the Ituiutaba (MG) water treatment plant obtained in August/98 and January/99 were carried out - dry and rainy season respectively. Moreover, this study addresses a number of recommendations concerning the operational routine of the water facility which could be applied to other systems that monitor total organic carbon.