



XI SILUBESA

Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

28/03 a 02/04/2004 - Natal - Rio Grande do Norte - Brasil

I-008 - AVALIAÇÃO DA OZONIZAÇÃO COMO PRÉ-TRATAMENTO À FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE NO PROCESSO DE POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE MICROALGAS E CIANOBACTÉRIAS

Renata Iza Mondardo ⁽¹⁾

Química pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/1997. Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC/2003. Pesquisadora em doutoramento do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFSC.

Maurício Luiz Sens

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/1982. Doutor em Engenharia Ambiental - ENSC de Rennes/França. Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Luiz Carlos de Melo Filho

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC/1990. Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC/1997. Pesquisador em doutoramento do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da UFSC.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campus Universitário - Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil - CEP: 88.049 - 970 Tel/fax: (48) 331- 9029

 : mls@ens.ufsc.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo investigar o desempenho da ozonização utilizada na pré-oxidação de água, com grande concentração de microalgas e cianobactérias, a ser submetida à Filtração Direta Descendente seguida de desinfecção por cloro, avaliando a qualidade da água após tratamento completo, sobretudo no que se refere à formação de trihalometanos e a testes toxicológicos. As investigações experimentais foram conduzidas no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (L.A.L.P. /UFSC), e utilizaram água proveniente de lagoa com alta concentração de microalgas e cianobactérias. Os ensaios, em escala piloto, realizados com a pré-ozonização, apresentaram melhores resultados quando comparados aos realizados com a pré-cloração. Na formação de trihalometanos, por exemplo, a aplicação de 2 mgO₃/L reduziu em até 50% a formação destes compostos após o tratamento completo. Os resultados mostram também que não houve formação de micronúcleos nos peixes expostos à água bruta, à água após tratamento completo sem pré-oxidação (branco), e à água após tratamento completo com pré-ozonização. No entanto, os peixes mantidos nas amostras de água pré-cloradas apresentaram formação de micronúcleos, principalmente nos ensaios que utilizaram a dosagem de 3,5 mgCl₂/L. A ozonização demonstrou ser uma excelente alternativa para o pré-tratamento de água com altas concentrações de microalgas e cianobactérias que utiliza a técnica da filtração direta, produzindo água de melhor qualidade comparativamente à pré-cloração.

PALAVRAS-CHAVE: Pré-oxidação, Filtração Direta, Ozonização, Microalgas, Trihalometanos

INTRODUÇÃO

A utilização da filtração direta descendente é fortemente limitada pela qualidade da água a ser tratada, sendo recomendada para o tratamento de águas naturais com baixos valores de cor e turbidez. No Brasil, algumas estações de tratamento de água, que utilizam a tecnologia da filtração direta descendente, apresentam problemas operacionais, os quais podem levar à produção de água com qualidade imprópria para o consumo humano. Muito desses problemas são

decorrentes da escolha inadequada da tecnologia de tratamento face às características dos mananciais de água explorados.

Um sério problema enfrentado por ETAs com filtração direta descendente é a presença de microalgas e cianobactérias, que dependendo da espécie e do número de indivíduos, pode reduzir a duração das carreiras de filtração e comprometer a qualidade da água produzida.

A pré-cloração é uma prática realizada em muitos sistemas de tratamento de água visando a eliminação de microalgas e cianobactérias. Entretanto, alguns problemas foram observados na utilização deste pré-tratamento em mananciais com grandes concentrações desse fitoplâncton, sobretudo a formação de subprodutos clorados, como por exemplo, os Trihalometanos (THMs), os quais são considerados carcinogênicos, e a liberação de metabólicos que podem ser potencialmente tóxicos.

A necessidade do controle de Trihalometanos incentivou o desenvolvimento de pesquisas envolvendo outros oxidantes, objetivando a substituição do cloro na oxidação das águas de abastecimento público. Dentre os principais produtos investigados, o ozônio aparece como uma excelente alternativa como pré-oxidante em processos combinados utilizados no tratamento de água. Contudo, alguns estudos referentes à ruptura celular e a formação de subprodutos ainda se fazem necessários para a consolidação da tecnologia da ozonização para tal finalidade.

O presente trabalho tem como objetivo investigar o desempenho do ozônio, utilizado alternativamente na pré-oxidação de água, com grande concentração de microalgas e cianobactérias, a ser submetida à Filtração Direta Descendente seguida de desinfecção por cloro, avaliando a qualidade da água após tratamento completo, principalmente no que se refere à formação de Trihalometanos e liberação de toxinas.

MATERIAIS E MÉTODOS

As investigações experimentais foram realizadas no Laboratório de Águas da Lagoa do Peri (L.A.L.P.), situado na Estação de Tratamento de Água da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), e conduzidas em três etapas: *Caracterização da água do manancial; Ensaios em bancada objetivando as dosagens ótimas dos pré-oxidantes estudados [ozônio(objeto desta pesquisa) e cloro(para fim de comparação)], coagulante e auxiliar de coagulação; Ensaios em piloto contínuo utilizando as dosagens ótimas anteriormente determinadas.*

Descrição do Sistema Piloto

O sistema piloto é alimentado por gravidade, com água natural da Lagoa do Peri. Inicialmente, a água bruta é direcionada para uma câmara de carga de nível constante, dotada de um orifício calibrado modo a fornecer uma vazão de 400 L/h para as unidades de pré-oxidação. Registros permitem a alternância entre as unidades de pré-cloração e pré-ozonização.

Pré-cloração: Baseado nos ensaios de bancada (teste de jarros), a pré-cloração foi realizada com as dosagens de 2,5; 3,0 e 3,5 mg/L de cloro, num tempo de contado aproximado de 5 minutos, obtido através de um reator formado por mangueira de 11/4 polegadas e 50 metros de comprimento.

Pré-ozonização: Baseado nos ensaios de bancada (ensaios de coagulação com aparelho de teste de jarros), a pré-ozonização foi realizada com as dosagens de 1,5; 2,0 e 2,5 mg/L de ozônio. O gás contendo ozônio foi pro

duzido por um ozonizador de laboratório (modelo LABO-6LO/com capacidade média de produção de 22g O₃/hora) e transferido para a massa líquida numa coluna de bolhas, através de difusores porosos situados na base da coluna, formando um sistema de contato gás-líquido do tipo contra corrente. As concentrações de ozônio são determinadas pelo Método Iodométrico, e a eficiência de transferência obtida pela diferença entre as concentrações de ozônio na aplicação (feed-gás) e na saída da coluna (off-gás).

Mistura Rápida: A água pré-oxidada foi recalçada por bomba centrífuga (1/2cv) até uma segunda câmara de carga de nível constante, dotada de um orifício calibrado de modo a fornecer uma vazão de 317 L/h para a unidade de mistura rápida. A mistura rápida foi feita numa pequena câmara, onde as soluções de coagulante e auxiliar de coagulação são aplicados, através de bombas dosadoras, em concentrações determinadas nos ensaios de bancada. Como coagulante foi utilizada solução de sulfato de alumínio (2%) e solução auxiliar de óxido de cálcio (0,2%). A dispersão das soluções foi feita por um agitador mecânico, dotado de controle eletrônico de rotação e paletas recambiáveis, com gradiente (G)

de 1200 s-1.

Filtração Direta: Após receber a adição de coagulante, a água passou por um filtro de fluxo descendente, construído em aço inoxidável, com seção quadrada de 20cm de lado. O material filtrante granular é composto de camada única de antracito com 1,43m de espessura (diâmetro efetivo dos grãos igual a 3,0 mm com coeficiente de desuniformidade CD igual a 1,1, e camada suporte de 35cm de espessura com grãos de diâmetro variando entre 1,60 a 19 mm. A taxa de filtração foi constante, na ordem de 200 m³/m².dia, e a carga hidráulica variável.

Desinfecção: Após a filtração a água recebeu a adição de cloro para a simular a etapa de desinfecção, a qual foi realizada com uma dosagem de 1,0mg/L de cloro ativo e o tempo de contato de 30 minutos.

A descrição do sistema piloto deverá ser acompanhada de consulta à figura 1 que apresenta o esquema geral da instalação experimental construída no L.A.L.P., composta das unidades de pré-oxidação (cloração e ozonização) e filtração direta descendente.

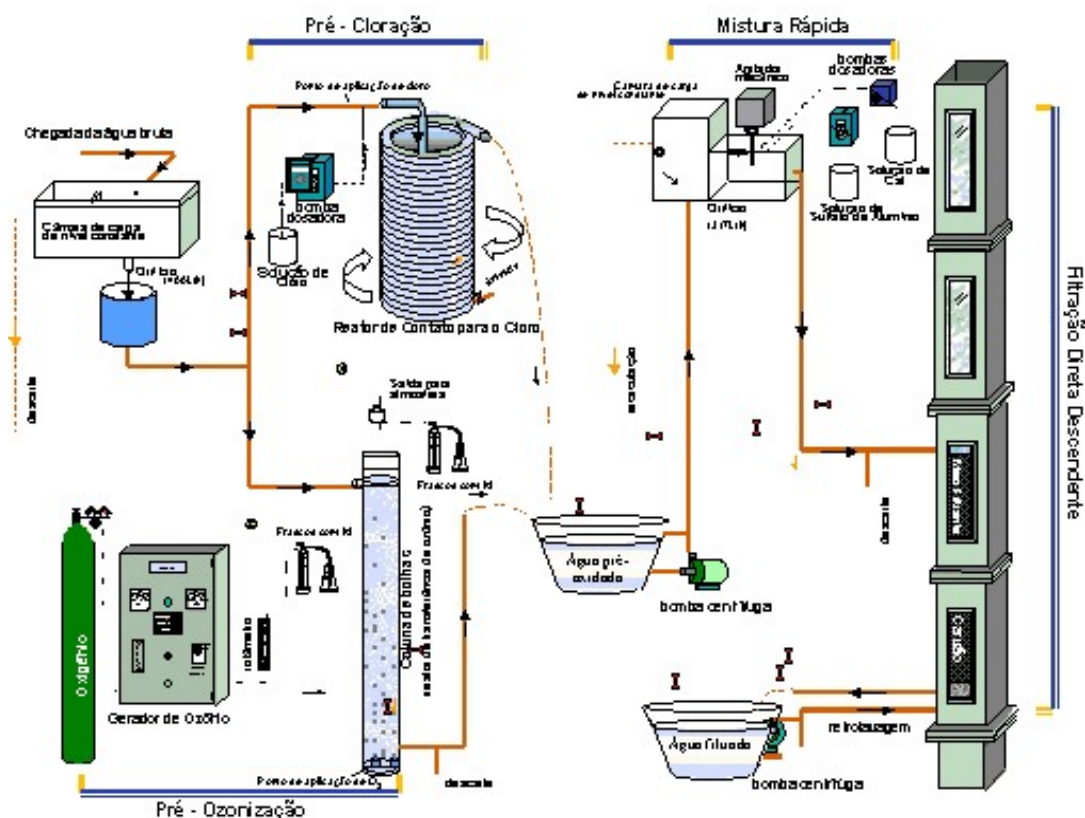


Figura 1: Esquema geral do Sistema Piloto

Parâmetros de Controle:

As carreiras de filtração foram executadas num período de 4 horas, objetivando a completa estabilização do filtro. Algumas carreiras sem pré-oxidação foram realizadas para efeito de comparação. Amostras da água bruta, e após tratamento completo, foram analisadas segundo os seguintes parâmetros de controle: pH (pHmetro HACH); Cor aparente, COT, THMs (espectrofotômetro HACH 2010); Clorofila-a /método de NUSCH (espectrofotômetro DR/4000 HACH); Fitoplâncton (microscópio invertido); Turbidez (turbidímetro HACH 2100P); Toxicidade - Compostos Halogenados Multagênicos (análise citogenética – microscopia óptica).

RESULTADOS

Qualidade da água da Lagoa do Peri

A água da Lagoa do Peri apresentou uma certa regularidade entre os parâmetros observados durante o período de monitoramento (abril de 2002 a março de 2003). As variações mais significativas aconteceram na turbidez, pH, cor e organismos fitoplancônicos, sobretudo a partir de outubro, o que causou dificuldades operacionais na E.T.A da Lagoa

do Peri. A tabela 1 apresenta os valores médios dos parâmetros analisados no período de monitoramento da qualidade das águas da Lagoa do Peri.

Tabela 1 – Característica da água bruta durante o período da investigação experimental

Parâmetro	Valor Mínimo	Valor Máximo	Parâmetro	Valor Mínimo	Valor Máximo
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	6,2	11,0	Nitrato (mg/L NO ₃ ⁻)	0,017	0,8
Cloretos (mg ⁻ /L Cl ⁻)	11,4	22,0	Nitrogênio (mg/L NH ₄)	0,01	0,16
Clorofila-a (µ g/L)	2,75	41,39	Ortofosfato (mg/L PO ₄ ³⁻)	0,02	0,07
Condutividade (uS/cm)	50	80	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,44	9,8
Cor aparente (uH)	50	85	Oxigênio Dissolvido (mg/L)	6,44	9,8
Cor verdadeira (uH)	03	10	pH	6,20	7,14
COT (mg/L)	5,5	7,1	Temperatura (° C)	23,0	31,0
Dureza total (mg/L CaCO ₃)	6,5	13,6	Trihalometanos (µ g/L)	32	52
Fitoplâncton Total (indivíduos/mL)	4129	273880	Turbidez (NTU)	3,2	7,8

As espécies dominantes de fitoplâncton na Lagoa do Peri no período de monitoramento foram *Cylindrospermopsis raciborskii* e *Pseudanabaena galeata* (cianobactérias filamentosas), produtoras de hepatoxinas (polipeptídeos) e neurotoxinas (alcalóides), toxinas estas que causam intoxicações agudas e crônicas, atingindo as células do Fígado e o Sistema Neuromuscular, podendo causar a morte de animais em minutos, horas e dias. O Fitoplâncton da Lagoa do Peri tem um comportamento sazonal. De acordo com o observado nas mostras analisadas, ocorre uma diminuição progressiva da densidade, que esta relacionada com a queda de temperatura no inverno. *Cylindrospermopsis raciborskii*, dominante na maior parte do ano, é limitada pelas baixas temperaturas. A queda da sua densidade, favorece o crescimento de *Pseudanabaena sp.*, suas prováveis competidoras. Embora as algas de diferentes grupos possam causar problemas variados à qualidade da água do manancial e à operação das Estações de Tratamento de Água, as cianobactérias encontradas nas águas da Lagoa do Peri são potencialmente tóxicas e podem representar sérios riscos à saúde do ser humano. A distribuição dos fitoplâncton na água bruta da Lagoa do Peri pode ser mais facilmente observada nos gráficos apresentados na figura 2.

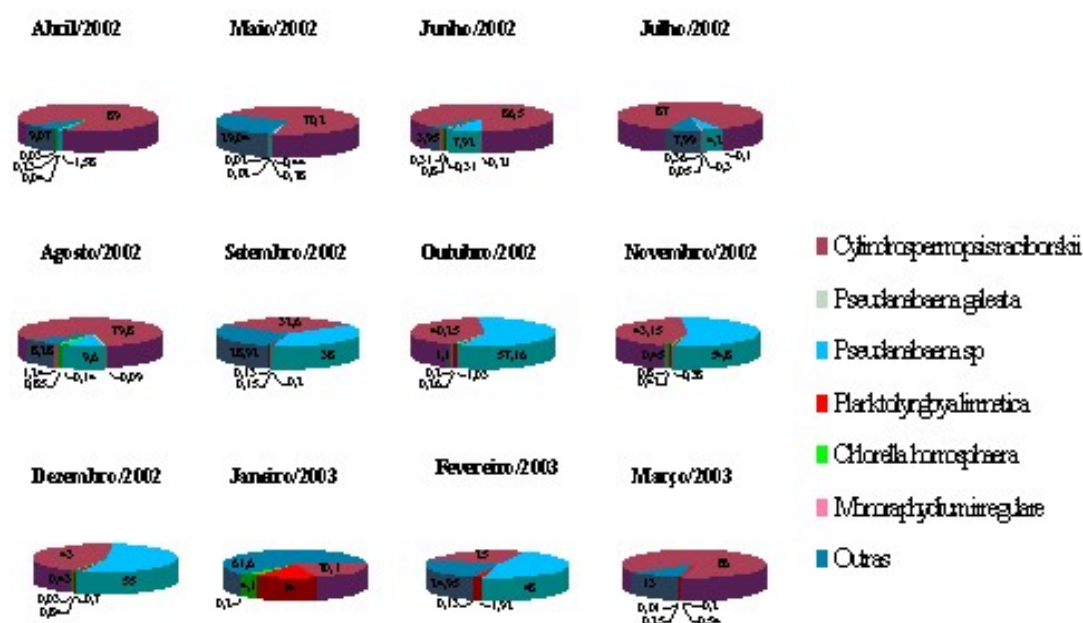


Figura 2: Distribuição (%) do Fitoplâncton na água da Lagoa do Peri durante o monitoramento.

Ensaio realizado no sistema piloto em contínuo

De posse dos resultados dos ensaios de bancada que determinaram as dosagens ótimas dos oxidantes investigados (cloro e ozônio), realizou-se os ensaios em escala piloto. O processo completo é composto das etapas de pré-oxidação, coagulação-química, filtração direta em filtro de fluxo descendente e desinfecção por cloro. A tabela 2 apresenta os valores médios dos ensaios realizados com pré-ozonização e pré-cloração no sistema piloto de filtração direta descendente.

Tabela 2: Valores médios dos principais parâmetros analisados após tratamento completo.

	Pré- Tratamento: OZONIZAÇÃO				Pré- Tratamento: CLORAÇÃO			
Condições de Coagulação	Dosagem $Al_2(SO_4)_3 = 20mg/L$ pH de Coagulação = 5,5 a 5,80				Dosagem $Al_2(SO_4)_3 = 30mg/L$ pH de Coagulação = 5,5 a 5,84			
Parâmetros	Água Bruta	Água com 1,5mgO ₃ /L	Água com 2,0mgO ₃ /L	Água com 2,5mgO ₃ /L	Água Bruta	Água com 2,5mgCl ₂ /L	Água com 3,0mgCl ₂ /L	Água com 3,5mgCl ₂ /L
Cor Aparente (uH)	80	2	0	0	70	12	11	10
Turbidez (NTU)	6,0	0,44	0,26	0,40	4,93	0,86	0,78	0,68
TTHMs (μ g/L)	39	43	38	40	37	52	83	98
Clorofila a (μ g/L)	40,88	2,94	ND	ND	36,77	4,04	3,73	3,30
COT (mg/L)	6,3	1,37	ND	ND	6,25	3,65	3,15	2,2
Fitoplâncton (Ind/mL)	208134	4321	572	645	229577	96865	83963	44628

ND : Não Detectado

As águas submetidas ao pré-tratamento com ozônio resultaram em águas de melhor qualidade comparada as águas dos ensaios que utilizaram a pré-cloração. Em relação à redução da concentração de clorofila a, COT e Fitoplâncton, por exemplo, a pré-ozonização realizada com a dosagem de 2,0 mgO₃/L, produziu água após tratamento completo com concentração de clorofila a e COT não detectados, e o número de Fitoplâncton inferior a 600 Ind./mL de amostra.

Desempenho dos pré-oxidantes em relação à remoção de fitoplâncton

A figura 3 apresenta o gráfico de remoção de Fitoplâncton dos ensaios realizados com e sem pré-oxidação para os dois oxidantes investigados.

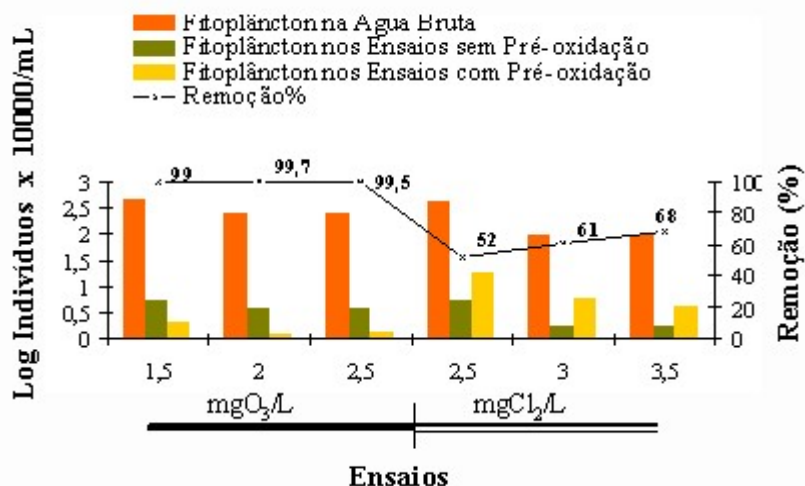


Figura 3: Gráfico de remoção de fitoplâncton com e sem pré-oxidação

Os resultados demonstraram que a realização da pré-ozonização com as dosagens de ozônio utilizadas nesta pesquisa (1,5; 2,0; 2,5 mgO₃/L) removeu o Fitoplâncton presente nas amostras da água bruta, em mais de 99%, superando em muito a pré-cloração, que com a dosagem de 2,5mgCl₂/L não alcançou a 55% de remoção. Observa-se também que o número de Fitoplâncton é menor nos ensaios que não realizaram a Pré-oxidação comparado aos ensaios com Pré-cloração. Tal resultado pode ser explicado por uma possível interferência do cloro no mecanismo de coagulação-química, prejudicando assim, a remoção de Fitoplâncton no processo de clarificação da água.

Desempenho dos pré-oxidantes em relação à remoção de trihalometanos

A figura 4 apresenta os resultados da concentração de trihalometanos dos ensaios utilizando os dois oxidantes investigados, com e sem desinfecção após o tratamento completo.

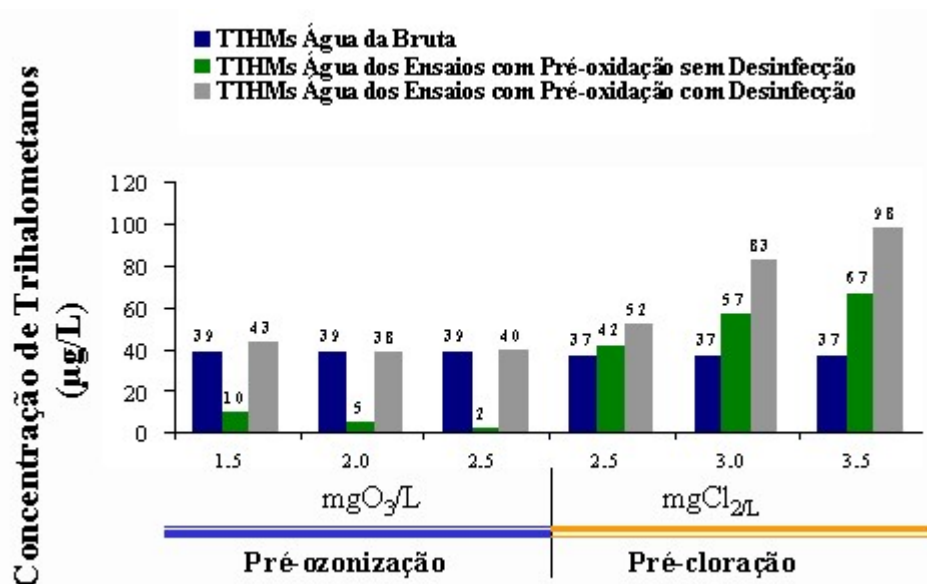


Figura 4: Gráfico da concentração de trihalometanos dos ensaios com e sem desinfecção.

Os resultados mostram que a água da Lagoa do Peri apresenta uma concentração significativa de Trihalometanos, isto é bastante interessante, já que estes compostos raramente existem na água bruta, sendo formado no tratamento após a cloração.

Segundo Macedo (1995), os precursores de Trihalometanos aparecem na água bruta devido à decomposição do material vegetal existente nos leitos de rios e lagos, sendo mais abundantes em mananciais protegidos e que possuem maior quantidade de vegetação em suas margens, condições estas encontradas no manancial estudado.

O desempenho dos ensaios realizados com pré-ozonização em relação à formação de Trihalometanos foi superior aos ensaios com pré-cloração, sendo que para todas as dosagens de ozônio a concentração de TTHMs após o tratamento completo foi inferior a 40 µg/L, o que vem ao encontro das tendências normativas futuras para tal composto.

No Brasil, a Portaria nº 1469 (Ministério da Saúde) estabeleceu o valor máximo permitido para a concentração de Trihalometanos em 100 µg/L. Essa legislação ressalta ainda que este valor poderá ser revisto, em função de estudos toxicológicos que ainda estão em período de conclusão. Em 1998, a EPA, reduziu em 20% os valores preconizados para TTHMs, passando para 80 µg/L, como concentração máxima aceitável. Segundo Ferreira Filho (2001), espera-se uma redução futura para 40 µg/L.

Os resultados também demonstraram que os ensaios com pré-ozonização e sem a realização da cloração na etapa da desinfecção obtiveram uma menor concentração de TTHMs, valores inferiores a 12 µg/L, bem menores que as concentrações dos mesmos ensaios realizados com desinfecção, o que mostra a importância do cloro na formação dos trihalometanos.

Avaliação da atividade genotóxica dos compostos formados após a desinfecção

Não houve formação de micronúcleos nos peixes expostos à água bruta, à água após tratamento completo sem pré-oxidação (branco), e à água após tratamento completo com pré-ozonização. No entanto, os peixes mantidos nas amostras de água pré-cloradas apresentaram formação de micronúcleos, principalmente nos ensaios que utilizaram a dosagem de 3,5 mgCl₂/L.

A presença de micronúcleos pode ser considerada como uma indicação de ocorrência prévia de alterações cromossômicas estruturais ou numéricas em algum momento do ciclo de vida das células dos peixes utilizados nos testes realizados com a água pré-clorada após tratamento completo.

CONCLUSÕES

Com base na pesquisa realizada, concluiu-se que:

A ozonização, utilizada como pré-tratamento à filtração direta descendente, proporcionou melhores resultados de remoção de turbidez, cor aparente, COT, clorofila a, números de Fitoplâncton e menor formação de Trihalometanos, comparados aos resultados dos ensaios com o emprego da pré-cloração. Na avaliação da atividade genotóxica dos compostos formados após a etapa de desinfecção, os testes demonstraram que houve formação de micronúcleos apenas nos peixes submetidos à água pré-clorada, podendo indicar ocorrência de aberrações cromossômicas estruturais nas células dos peixes, provocadas pelos compostos formados na pré-cloração.

A ozonização demonstrou ser uma excelente alternativa para o pré-tratamento de água com altas concentrações de microalgas e cianobactérias que utiliza a técnica da Filtração Direta Descendente, produzindo água de boa qualidade. Esta combinação de processos também se mostrou bastante eficiente em relação à concentração de Trihalometanos, mesmo após desinfecção por cloro, apresentando valores inferiores à tendência normativa futura para os referidos compostos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DI BERNADO, L. Algas e suas Influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento. ABES, Rio de Janeiro, 1995. COSTA, E. R. H. Metodologia para o uso combinado de polímeros naturais como auxiliares de coagulação. XVII CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA. 1993. Anais. Natal RN, 1993.
2. DI BERNADO, L.; CENTURIONE, P. L. F. Ozonização, Coagulação, Floculação, Flotação e Filtração para remoção de Algas, 2000.
3. ROSITANO J., NEWCOMBE G., NICHOLSON, B. e SZTAJNBOK, P. Ozonation of Nom and Algal Toxins in four Treated Waters, 2000.
4. SENS M.L. et al. Influência de Algas na Filtração Direta Ascendente e Descendente - Estudo de Caso, 2002.
5. MACEDO, J. A. B., ANDRADE, N.J., Formação de Trihalometanos em águas cloradas para abastecimento público e indústria de alimentos. In: CONGRESSO NACIONAL DE LATICÍNIOS, 13, 1995, Juiz de Fora, Anais... Juiz de Fora – MG: Centro de Pesquisa e Ensino Instituto Cândido Tostes, 1995. 324p. p.45-48.
6. FERREIRA FILHO, S.S., Remoção de compostos orgânicos precursores de subprodutos da desinfecção e seu impacto na formação de trihalometanos em águas de abastecimento. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.6, n1 e 2, p. 53-60, Jan/Junho 2001.