

A CLORAÇÃO E A FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS

Rebecca Manesco Paixão*
Luiz Henrique Biscaia Ribeiro da Silva**
Ricardo Andreola***

RESUMO: A vital dependência do ser humano com relação à água pressupõe que esta, além das características biológicas, deve apresentar características físicas, químicas e radioativas que não causem efeitos adversos à saúde. Com isso, a água captada pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs) deve passar por um processo de tratamento a fim de se tornar potável ao consumidor. A desinfecção é o processo que visa remover e/ou inativar microrganismos patogênicos. O cloro, em suas diversas formas, tornou-se o agente químico desinfetante mais difundido no tratamento de águas de abastecimento e residuárias em todo o planeta, devido à sua facilidade de obtenção, baixo custo e alta eficiência. Trialometanos (THMs) são subprodutos da cloração e sua formação ocorre quando o cloro utilizado no tratamento da água, objetivando sua desinfecção reage com a Matéria Orgânica Natural (MON) presente em águas naturais. Esta reação pode continuar a ocorrer por muito tempo, enquanto houver reagente disponível. THMs são facilmente absorvidos pelas células humanas, por meio da ingestão, inalação e/ou absorção dérmica e uma série de estudos epidemiológicos investigaram a relação entre a exposição aos subprodutos da cloração e o câncer, entre eles: de bexiga, cólon e reto.

PALAVRAS-CHAVE: Desinfecção; Efeitos Adversos à Saúde; Estações de Tratamento de Água; Subprodutos da Cloração.

CHLORINATION AND THE FORMATION OF TRIHALOMETHANES

ABSTRACT: The dependence of people on water presupposes that the later should have physical, chemical and radioactive characteristics, besides biological one, that would not cause any health-threatening factors. Water from Water Treatments Stations should undergo treatment so that it would become drinkable. Disinfection aims at removing and inactivating pathogenic microorganisms. Chlorine in its several forms is one of the most used disinfectants in the treatment of water worldwide due to its easy supply, low costs and high efficiency. Trihalomethanes (THMs) are byproducts of chlorination and they are formed when chlorine, used in water treatment for its disinfection, reacts with the Natural Organic Matter in natural waters. Reaction occurs for some time in so far as the reagent is available. THMs are easily absorbed by human cells through ingestion, inhalation and dermic absorption. Several epidemiological studies have investigated the relationship between the exposure of chlorination byproducts and bladder, colon and rectum cancer.

KEYWORDS: Disinfection; Unhealthy Effects; Water Treatment Stations; Chlorination Sub-products.

INTRODUÇÃO

Segundo Pereira (2007), a poluição da água está relacionada com a introdução de substâncias orgânicas, inorgânicas e de microrganismos, por meio de descargas de efluentes industriais e domésticos

sem tratamento prévio nos rios e nos oceanos, assim como o uso desenfreado de pesticidas em atividades agrícolas que lentamente atingem os lençóis freáticos.

A água captada pelas Estações de Tratamento de Água (ETAs) deve passar por um processo de tratamento a fim de se tornar potável ao consumidor,

* Graduanda do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR, Maringá (PR), Brasil; Bolsista do Programa de Bolsas de Iniciação Científica do Cesumar (PROBIC); E-mail: beccapaixao@hotmail.com

** Graduando do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR, Maringá (PR), Brasil.

*** Orientador, Docente Doutor do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Centro Universitário de Maringá – UNICESUMAR, Maringá (PR), Brasil.

com características organolépticas e, principalmente, físico-químicas que não causem efeitos adversos à saúde. No entanto, nesse processo de tratamento, podem ser introduzidos ou produzidos compostos potencialmente prejudiciais à saúde humana, os quais têm merecido destaque e são alvo de pesquisa.

No Brasil, a Portaria MS nº 2914/2011 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Segundo a mesma, as águas devem ser submetidas a um processo de desinfecção para inativação de microrganismos patogênicos.

Durante o tratamento de água, podem ser utilizados diferentes agentes oxidantes, a exemplo dos mais utilizados: cloro, cloraminas, dióxido de cloro, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio e ozônio, os quais objetivam a oxidação do ferro e manganês e sua posterior remoção por processos de separação sólido-líquido e oxidação de compostos orgânicos sintéticos específicos, controle de sabor, odor, remoção de cor, desinfecção, controle do crescimento e desenvolvimento de biofilmes nas unidades componentes do processo de tratamento, entre outras (FERREIRA FILHO; SAKAGUTI, 2008).

Devido às reações entre desinfetantes e a Matéria Orgânica Natural (MON) são formados os subprodutos em algumas etapas do tratamento de água realizado na Estação de Tratamento de Água (MALLIAROU et al., 2005). Para Alvarenga (2010), são diversos os subprodutos provenientes da cloração da água, e os principais são: trihalometanos, ácidos haloacéticos, haloacetoneitrilas, haletos cianogênicos, halopicrinas, haloacetonas, cloro hidrato, haloaldeídos e halofenóis.

Verificou-se que a exposição humana aos subprodutos da cloração não ocorre somente pela ingestão de água de abastecimento clorada, mas também na lavagem de roupas e louças, no banho ou em qualquer outra atividade que utilize água tratada, além da usada no banho de piscina (TOMINAGA; MIDIO, 1999).

Segundo a United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2008) desde a descoberta

dos subprodutos da cloração em água potável em 1974, uma série de estudos epidemiológicos investigou a relação entre a exposição aos subprodutos da desinfecção e o câncer. Meyer (1994) menciona que alguns estudos realizados no Canadá, considerando a cloração da água bruta, indicaram uma associação entre a dosagem de cloro e o câncer de estômago e entre a quantidade de Carbono Orgânico Total (COT) e o câncer de intestino grosso em homens, além de associações entre clorofórmio na água tratada e câncer de cólon e câncer de estômago e, também, entre a dosagem de cloro e câncer retal.

2 TRATAMENTO DE ÁGUA

Para atender aos padrões de qualidade da água, existe o sistema de tratamento e abastecimento de água para consumo humano, o qual é composto por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, destinadas à produção e ao fornecimento coletivo de água potável (BRASIL, 2011).

O tratamento da água visa à remoção de partículas suspensas e coloidais, matéria orgânica, microrganismos e outras substâncias presentes na água, que possam causar efeitos adversos à saúde humana (LIBÂNIO, 2010). O processo de tratamento de água, a fim de torná-la potável, é composto por cinco processos unitários: Coagulação e Floculação, Sedimentação, Filtração, Desinfecção e Fluoretação (TELLES, 2013).

2.1 DESINFECÇÃO

A desinfecção é um processo pelo qual se deseja inativar ou destruir os organismos patogênicos e outros microrganismos indesejáveis. Esses organismos podem sobreviver por várias semanas, em temperaturas próximas a 21 °C, e até por vários meses em baixas temperaturas. Além da temperatura, a sobrevivência dos organismos em água depende também do pH, turbidez, concentração de oxigênio,

nutrientes, competição com outros organismos, resistência a substâncias tóxicas e outros. Além disso, quando os microrganismos são inativados pela ação do desinfetante, esses tornam-se incapazes de se reproduzir, ou de transmitir qualquer tipo de doença (CUBILLOS, 1981 apud MEYER, 1994; LEÃO 2008; LIBÂNIO, 2010).

Entretanto, além da inativação de microrganismos, os desinfetantes podem ser aplicados na ETA com objetivo de oxidar compostos inorgânicos, remover compostos orgânicos que conferem cor à água, controlar sabor e odor, prevenir o crescimento de algas nos equipamentos, manutenção da estabilidade biológica nos sistemas de reservação e distribuição de água (ALVARENGA, 2010).

Para Di Bernardo e Dantas (2005) e Libânio (2010), para serem usados nas ETAs, os desinfetantes devem apresentar algumas características, como:

- Destruir, em tempo razoável, os organismos patogênicos na quantidade em que se apresentam e nas condições das águas;
- Menor susceptibilidade às variações de temperatura e de outras características da água;
- Não ser tóxicos ao ser humano e aos animais domésticos e, nas dosagens usuais, não causar sabor e odor nas águas;
- Ser disponível a custo razoável e oferecer condições seguras de transporte, armazenamento, manuseio e aplicação na água;
- Ter sua concentração medida de forma rápida por meio de métodos simples e confiáveis;
- Capacidade de conferir residual que favoreça o monitoramento da qualidade da água e minimize a concentração de microrganismos na água.

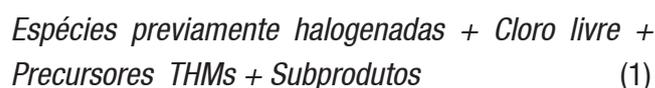
Segundo Telles (2013), na etapa de desinfecção, pode-se utilizar como desinfetante os seguintes produtos: ozônio, peróxido de hidrogênio, permanganato de potássio, cloro, radiação ultravioleta, entre outros.

3 SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO: TRIALOMETANOS

Segundo Pádua et al. (2007), as primeiras experiências com a aplicação de cloro na água, para fins de desinfecção, aconteceram em 1894 e, este se tornou o oxidante mais utilizado nas ETAs devido à sua facilidade de obtenção, baixo custo e alta eficiência. Diversos estudos demonstram seus benefícios, não sendo realizados estudos contra seus pontos negativos até 1974, com a publicação do trabalho de Rook J. J. na *Water Treatment and Examination (Tratamento de Água e Análise)*, demonstrando que a aplicação de cloro poderia levar à formação de trialometanos (THMs).

A formação dos subprodutos da cloração ocorre quando o cloro reage com a Matéria Orgânica Natural (MON), também denominadas como precursores de THMs, presentes em águas naturais, e pode continuar ocorrendo por muito tempo, enquanto houver reagente disponível. A MON pode ser derivada da decomposição da vegetação terrestre, resultando de ácidos húmicos e fúlvicos, da decomposição de vegetais aquáticos e algas e de efluentes industriais. A maioria desses ácidos contém radicais cetona, que podem causar a formação de halofórmios após a reação com o cloro. Em geral, esses precursores, nas concentrações encontradas na água para consumo, são provavelmente não tóxicos ou nocivos à saúde humana (BECKER, 2010; MEYER, 1994; PÁDUA et al., 2007).

Symons et al. (1981) descrevem a seguinte equação para a formação dos subprodutos da cloração:



Segundo Leite (2009), os THMs são compostos trissubstituídos de metano, em que três átomos de hidrogênio são trocados por três átomos de halogênio. $\text{CH}_4 - \text{CH}_3$, onde X é um halogênio, podendo ser cloro, bromo, iodo, ou combinações a partir dos mesmos.

São denominados de trialometanos totais (THMt) a soma algébrica dos trialometanos encontrados com maior frequência na água tratada, a saber: clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio. Os trialometanos formados durante o processo de cloração estão descritos no Quadro 1.

Quadro 1. Composição química dos THMs

Denominação	Fórmula química
triclorometano, clorofórmio	CHCl_3
bromodiclorometano	CHBrCl_2
dibromoclorometano	CHBr_2Cl
tribromometano, bromofórmio	CHBr_3
dicloroiodometano	CHCl_2I
bromocloroiodometano	CHClBrI
clorodiiodometano	CHClI_2
dibromoiodometano	CHBr_2I
bromodiiodometano	CHBrI_2
triiodometano, iodofórmio	CHI_3

Fonte: Adaptado de Alvarenga (2010).

Em um estudo feito pela USEPA, onde foram analisadas amostras de água provenientes de 113 ETAs, detectou-se a presença de 27 compostos orgânicos com probabilidade de serem causadores de doenças em seres humanos. Dentre esses compostos, os THMt foram considerados importantes, uma vez que surgiram com frequência nas análises. Através deste estudo, a USEPA propôs em 1978, o VMP de 100 $\mu\text{g/L}$ (média de concentração anual) para trialometanos em água de abastecimento, o qual foi regulamentado em 1979, apesar de haver evidências de carcinogenicidade apenas em estudos com cobaias de laboratório (KHORDAGUI; MANCY, 1983).

A Tabela 1 traz a comparação da legislação de alguns países com relação ao Valor Máximo Permissível (VMP) de trialometanos na água de abastecimento.

Tabela 1. Valores Máximos Permissíveis para Trialometanos

País	VMP para THMs ($\mu\text{g/L}$)
Alemanha	25
Brasil	100
Canadá	100
Estados Unidos	80
França	10
México	200
União Europeia	100

Fonte: Alvarenga (2010); Becker (2010); Leão (2008).

De acordo com a Tabela 1, pode-se observar diferenças significativas quanto ao VMP estabelecido para THMs, existindo países bem restritivos como a França, e outros não tanto exigentes, como o México.

Tal fato também pode ser explicado por Leão (2008), uma vez que os níveis de THMs presentes na água clorada refletem as práticas adotadas no tratamento e na distribuição de água nos países. O autor ainda cita que na Alemanha, a qual limita os níveis de THM a um VMP de 25 $\mu\text{g/L}$, conforme observado na Tabela 1, a fonte de água utilizada possui níveis de Carbono Orgânico Total (COT) reduzidos, de 2 mg/L , e a dosagem de cloro é limitada a menos de 1 mg/l , fato que possibilita os níveis de THM serem bem mais baixos que nos Estados Unidos da América, onde os processos de pré-cloração levam a níveis mais altos de THM na água.

3.1 FATORES QUE INTERFEREM NA FORMAÇÃO DOS TRIALOMETANOS

São vários os fatores que interferem na formação dos subprodutos da cloração, como: tempo de contato, temperatura, pH, concentração de brometo, características e concentrações dos precursores e dosagem de cloro e residual livre.

Com um maior tempo de contato e altas temperaturas, ocorre um incremento na reação dos precursores orgânicos com o cloro. A formação dos THMs aumenta com a elevação do pH, devido à sua ação catalítica sobre o halofórmio (BECKER, 2010; MEYER, 1994).

Quanto à concentração de brometo, a relação entre a concentração deste íon com o cloro influencia na formação dos THMs, visto que o cloro poderá oxidá-lo a ácido hipobromoso, o qual reagirá com a MON presente, produzindo subprodutos clorados e bromados (BLACK; HARRINGTON; SINGER, 1996; SINGER, 1999).

Já para a concentração de precursores, García (2005) cita que a formação de THMs pode ser influenciada pelas características e concentrações de MON de duas formas:

1) O aumento da concentração de MON na água aumenta o nível de precursores de THMs, ocasionando a formação de THMs;

2) O aumento de MON na água aumenta a demanda de cloro para se obter o cloro residual, e assim aumenta-se a formação de THM.

Ainda, quanto maior a dosagem de cloro, maior será a formação de THM, sendo que o cloro livre tem maior poder de formação de THM do que o cloro combinado (MEYER, 1994; PÁDUA et al., 2007).

4 EFEITOS ADVERSOS À SAÚDE HUMANA DECORRENTES DOS TRIALOMETANOS

Segundo Pádua et al. (2007), a avaliação do potencial toxicológico dos subprodutos da cloração ocorreu nos Estados Unidos da América, quando começaram a aparecer casos de debilitação física aguda, como vômitos, em pessoas que foram expostas à presença de contaminantes químicos na água potável.

A exposição humana aos subprodutos da cloração pode acontecer não somente pela ingestão direta da água, mas também por meio de inalação, após a transferência dos subprodutos para o ar, absorção dérmica durante o banho, na lavagem de roupas e louças, ou em qualquer outra atividade que utilize água clorada. Alguns estudos também indicaram a presença de trialometanos em alimentos e bebidas preparados com água clorada, como sorvetes, sucos e refrigerantes (JO et al., 2005 apud PEREIRA, 2007; TOMINAGA; MIDIO, 1999). Um estudo realizado por Bloemen e Burn (1993) indicou que a exposição

ao clorofórmio, por inalação, durante um banho de 8 minutos, pode ser até 6 vezes maior do que pela ingestão da água, por um período de 24 horas.

Tominaga e Midio (1999) citam que a exposição humana aos THMs, por meio da água clorada, pode levar ao aparecimento de efeitos tóxicos sistêmicos decorrentes da alta frequência, tempo prolongado e baixas concentrações, sendo considerados como principais efeitos: mutagênicos, carcinogênicos e teratogênicos.

Quanto aos efeitos mutagênicos, Richardson (1996) cita que o clorofórmio induziu a aberrações cromossômicas nas células da medula óssea de ratos *in vivo*. Ainda, segundo o mesmo autor, o clorofórmio apresentou efeitos teratogênicos, em ratos e camundongos, via administração pulmonar, além da fetotoxicidade.

De acordo com a United States Environmental Protection Agency (USEPA, 2008) desde a descoberta dos subprodutos da cloração em água potável em 1974, uma série de estudos epidemiológicos investigaram a relação entre a exposição aos subprodutos da desinfecção e o câncer. Meyer (1994) menciona que alguns estudos realizados no Canadá, considerando a cloração da água bruta, indicaram uma associação entre a dosagem de cloro e o câncer de estômago, e entre a quantidade de Carbono Orgânico Total (COT) e o câncer de intestino grosso em homens. Além de associações entre clorofórmio na água tratada e o risco de morte por câncer de cólon, para homens e mulheres, câncer de estômago e também, entre a dosagem de cloro e câncer retal, para homens e mulheres, e câncer de tórax. Para mulheres também houve a relação entre a dosagem de água clorada sujeita a contaminação por substâncias orgânicas e câncer de cólon e cérebro.

A USEPA (1999) classificou os seguintes THMs como prováveis carcinogênicos para humanos (Grupo 2B): clorofórmio, bromofórmio e bromodiclorometano, e dibromoclorometano como um possível carcinogênico humano (Grupo C). O Quadro 2 traz a relação entre os THMt, a classificação dada pela USEPA e os efeitos nocivos que podem ser causados aos seres humanos, quando do contato com trialometanos provenientes da cloração da água.

Quadro 2. Classificação dos trialometanos conforme o potencial carcinogênico e seus efeitos na saúde

Trialometanos	Classificação	Efeitos nocivos
Bromodiclorometano	B2	Câncer de fígado, câncer de rim e consequências na reprodução
Bromofórmio	B2	Câncer de fígado, câncer de rim e consequências no sistema nervoso
Clorofórmio	B2	Câncer de fígado, câncer de rim e consequências na reprodução
Dibromoclorometano	C	Câncer de fígado, câncer de rim, consequências na reprodução e no sistema nervoso

Fonte: Adaptado de Rodríguez (2007); USEPA, (1999).

Ainda, o IARC (2009) classifica os subprodutos quanto aos seus potenciais carcinogênicos em 5 grupos: Grupo 1 – subprodutos carcinogênicos ao ser humano; Grupo 2A – subprodutos provavelmente carcinogênicos ao ser humano; Grupo 2B – subprodutos possivelmente carcinogênicos ao ser humano; Grupo 3 – subprodutos não classificados quanto à carcinogenicidade ao ser humano; Grupo 4 – subprodutos provavelmente não carcinogênicos ao ser humano.

Para Cesco (2007), o IARC classificou o clorofórmio como 2A, ou conforme a USEPA, como demonstrado no Quadro 4, B2, uma vez que há evidências de carcinogenicidade em experiências com animais, causando principalmente tumores, porém as evidências em seres humanos são limitadas. O autor ainda comenta que o segundo composto formado em maior proporção, é o bromodiclorometano, o qual tem a mesma classificação que o clorofórmio, e em vários testes realizados, o bromodiclorometano causou tumores nos rins em ratos machos, tumor de fígado e intestino em ratos dos dois sexos.

Segundo Alvarenga (2010) ainda não está claro se o principal subproduto carcinogênico é o THM, ou algum outro não-volátil de maior massa molar, presente em concentrações menores. E para a autora, apesar das autoridades reconhecerem as incertezas de dados quantitativos quanto aos efeitos adversos à saúde da população, há uma grande preocupação proveniente da quantidade de água potável consumida pela população, resultante de desinfecção com cloro.

Porém, Pádua et al. (2007) ressaltam a dificuldade da realização de estudos epidemiológicos

que associam a presença de trialometanos em água clorada provinda de abastecimento público e o câncer, por exemplo, uma vez que os possíveis danos causados por esses subprodutos, podem estar relacionados com outros fatores como hábitos alimentares da população e tabagismo. Cesco (2007) também considera outros fatores, como: tamanho da população exposta ao risco, método de tratamento utilizado, consumo de água e concentração dos subprodutos na água para consumo humano.

Nieuwenhuijsen et al. (2010) concluem que apesar de haver muitos estudos sobre os efeitos adversos na saúde humana, como as anomalias congênitas e a carcinogenicidade, as evidências desses associados aos subprodutos da cloração é limitada, porém a desinfecção da água potável é de extrema importância para a saúde pública e muitas pessoas estão expostas aos subprodutos da cloração, assim, a vigilância destes e de seus possíveis efeitos adversos à saúde humana, deve ser contínua, mesmo que os riscos relativos sejam baixos.

5 CONTROLE DA FORMAÇÃO DE TRIALOMETANOS

Segundo WHO (2008), o controle da formação dos trialometanos está relacionado com a redução de seus precursores e, ainda que em águas superficiais que apresentem concentração elevada de MON e necessitam de pré-oxidação, devem ser utilizados desinfetantes alternativos, a exemplo dos já citados anteriormente.

Os métodos de controle dos trialometanos podem variar de pequenas alterações nos tipos de

tratamento existentes, até mudanças de alto custo nos sistemas de tratamento, desde que não acarrete deterioração da qualidade da água para consumo humano. Estes métodos podem ser classificados em: redução da concentração dos precursores, uso de processos alternativos de desinfecção e também a retirada de THMs já formados (MEYER, 1994). O primeiro e o segundo método envolvem técnicas de controle dos THMs, enquanto a última envolve a remoção deles.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que a adoção de técnicas de tratamento de água de abastecimento público, com a desinfecção para destruição ou inativação de organismos causadores de enfermidades em seres humanos, é eficiente, porém por meio do uso dos desinfetantes, como o cloro, podem ser produzidos os subprodutos da cloração.

Os trialometanos são carcinogênicos, quando expostos em concentrações elevadas ao encontrado na água de abastecimento público, em experimentos com cobaias de laboratório, mas as evidências em seres humanos são limitadas.

Apesar de os trialometanos aparecerem em maiores concentrações, eles não representam o único risco existente relacionado à cloração de águas de abastecimento público, uma vez que podem ser formados outros subprodutos, como ácidos haloacéticos e halopicrinas, os quais, muitas vezes, não possuem Valores Máximos Permissíveis estipulados pela legislação.

A eliminação dos subprodutos da cloração da água para consumo humano, sem que seja perdida sua qualidade, gera um custo elevado, sendo um problema que necessita estudos mais aprofundados.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, J. A. **Avaliação da formação de subprodutos da cloração em água para consumo**

humano. 2010. 120f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2010.

BECKER, B. R. **Proposta de teste para verificação da formação de trialometanos (TAM) em ETAs**. 2010. 71f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2010.

BLACK, B. D.; HARRINGTON, G. W.; SINGER, P. C. Reducing cancer risks by improving organic carbon removal. **Journal AWWA**, USA, v. 88, n. 6, p.40–52, 1996.

BLOEMEN, H. J.; BURN J. **Chemistry and analysis of volatile organic compounds in the environment**. London: Chapman & Hall, 1993.

BRASIL. Portaria MS nº 2914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2011.

CESCO, D. D. **Avaliação em escala real da formação de THMs em águas de abastecimento**. 2007. 85f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP, 2007.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2005. v. 2, 729p.

FERREIRA FILHO, S. S. F.; SAKAGUTI, M. Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. **Eng. Sanit. Ambient**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 198–206, 2008.

GARCÍA, I. **Removal of natural organic matter by enhanced coagulation in Nicaragua**. 2005. 68f. Licentiate Thesis – Chemical Engineering and Technology, Department of Chemical Engineering And Technology, Royal Institute Of Technology, Stockholm, 2005.

- IARC. **Overall evaluations of carcinogenicity to humans:** list of all agents, mixtures and exposures evaluated to date. International Agency for Research on Cancer. WHO: 2009. Disponível em: <<http://monographs.iarc.fr>>. Acesso em: 06 abr. 2014.
- KHORDAGUI, H. K.; MANCY, H. K. Formation of trihalomethanes during disinfection of drinking water. **Water Quality Bulletin**, USA, v. 8, p.37–43, 1983.
- LEÃO, V. G. **Água tratada:** formação de trihalometanos pelo uso do cloro e os riscos potenciais à saúde pública em cidades da mesorregião do leste rondoniense. 2008. 126f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2008.
- LEITE, R. W. **Validação de um método de extração gás-líquido “headspace” acoplado a um CG-EM para determinação de THM em água potável da região de Maringá.** 2009. 96f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, PR, 2009.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água.** 3. ed. Campinas: Átomo, 2010. 494 p
- MALLIAROU, E. et al. Haloacetic acids in drinking water in the United Kingdom. **Elsevier**, London, UK, v. 39, p.2722–2730, 2005.
- MEYER, S. T. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os riscos Potenciais à Saúde Pública. **Cad. Saúde Públ.**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 10, p.99–110, 1994.
- NIEUWENHUIJSEN, M. J. et al. Chlorination disinfection by-products in drinking water and congenital anomalies: review and meta-analyses. **Ciênc. saúde coletiva**, v. 15, p. 3109–3123, 2010.
- PÁDUA, V. L. et al. **Potenciais fatores de risco à saúde decorrentes da presença de subprodutos de cloração na água utilizada para consumo humano.** Brasília: Funasa, 2007. 12 p.
- PEREIRA, D. D. C. F. **Detecção de subprodutos da desinfecção com cloro em água dessalinizada.** 2007. 118f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2007.
- RICHARDSON, M. L. **The dictionary of substances and their effects.** Cambridge: Royal Society of Chemistry; 1996.
- RODRÍGUEZ, M. J. et al. Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. **Interciencia**, v. 32, n. 11, p.749–756, 2007.
- SINGER, P. C. Humic substances as precursors for potentially harmful disinfection by-products. **Water Science and Technology**, v.40, n.9, p.25–30, 1999.
- SYMONS, J. M. et al. **Treatment techniques for controlling trihalomethanes in drinking water.** Cincinnati: EPA, 1981.
- TELLES, D. D. **Ciclo ambiental da água:** da chuva à gestão. São Paulo: Edgar Blücher, 2013. 504p.
- TOMINAGA, M.; MIDIO, A. F. Exposição humana a trihalometanos presentes. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 33, n. 4, p.413–421, 1999.
- USEPA. **Disinfection byproduct health effects.** US Environmental Protection Agency, 2008. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: 16 out. 2013.
- USEPA. **Microbial and disinfection byproduct rules simultaneous compliance guidance manual.** US Environmental Protection Agency. Doc. EPA 815–R–99–015, 1999. 150p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **Guidelines for drinking-water quality:** recommendations. 3. ed. Geneva, 2008. 668p.

*Recebido em: 14 de agosto de 2014
Aceito em: 06 de novembro de 2014*