

I-041 - APLICAÇÃO DE MODELOS MATEMÁTICOS NO CONTROLO DA FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS EM ÁGUAS DE ABASTECIMENTO

António A. L. Sampaio Duarte⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Portugal. Doutor em Engenharia Civil, ramo Hidráulica e Ambiente, pela Universidade do Minho, Braga, Portugal. Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Braga, Portugal.

João A. Silva Pinto

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia da Universidade do Minho, Braga, Portugal.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Campus de Gualtar, 4710-057 Braga, Portugal. Telefone: (+351) 253 604 728 ; correio-e: aduarte@civil.uminho.pt

RESUMO

No tratamento de água para abastecimento, a desinfecção química através da adição de compostos clorados inorgânicos tem sido o paradigma mais comum no controlo de qualidade microbiológica das águas de abastecimento e, por vezes, nas de recreio com contacto directo, pela sua capacidade de inactivação de bactérias patogénicas transmissíveis por via hídrica.

Nos últimos anos, têm-se operado várias mudanças neste paradigma, em virtude do progressivo conhecimento de diversos microrganismos cloro-resistentes, incluindo algumas bactérias presentes nos biofilmes aderentes às paredes das condutas das redes de abastecimento, e que têm justificado a investigação de métodos alternativos de desinfecção baseados na utilização de produtos clorados orgânicos ou em processos de oxidação e de filtração avançados. Contudo, os avultados custos envolvidos na consolidação e instalação destas tecnologias emergentes de desinfecção não facilitam a sua aplicação generalizada em estações de tratamento de água (ETA) e o reconhecimento da elevada toxicidade de subprodutos da desinfecção (SPD) com compostos clorados exige que se proceda a um controlo adequado da sua formação, nomeadamente a dos trihalometanos (THM).

Esta comunicação insere-se no âmbito do estudo de estratégias de minimização da formação de THM em águas de abastecimento e de recreio e tem como principal objectivo a descrição dos fundamentos e dos procedimentos efectuados no desenvolvimento de uma ferramenta informática (o *THMControl*) para gestão da qualidade da água relativa ao controlo da formação de trihalometanos (THM) em águas de abastecimento.

O *THMControl* permite modelar a formação de THM em paralelo com o decaimento da concentração de cloro residual, através da incorporação de cinéticas adequadas e da consideração dos parâmetros de qualidade da água com influência comprovada nestes processos – temperatura, *pH* e carbono orgânico total. Além disso, o *THMControl* fornece algumas recomendações operacionais e de gestão, sempre que os resultados do modelo ultrapassem valores recomendados ou admissíveis, tendo como objectivo a salvaguarda da saúde pública.

PALAVRAS-CHAVE: água de abastecimento; desinfecção; trihalometanos; modelos matemáticos; *THMControl*.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a desinfecção da água para consumo humano tem vindo a ser efectuada através da adição de compostos clorados inorgânicos (cloro gasoso e hipocloritos), de modo a assegurar a permanência de uma concentração mínima de residual de cloro na água. Trata-se de um método económico, de tecnologia simples e consolidada e mesmo no caso de sistemas onde se utiliza o ozono como principal agente desinfectante, torna-se inevitável a adição de pequenas doses de cloro (à saída das ETA ou em estações de rechloragem situadas ao longo de redes de distribuição mais extensas) para se obter uma concentração residual de cloro (CRC) no sistema de distribuição que permita a inactivação de bactérias patogénicas que porventura se acedam e/ou se desenvolvam nessas redes.

O decaimento da concentração de cloro nos sistemas de abastecimento de água é usualmente influenciado por três factores principais: reacção com compostos químicos orgânicos e inorgânicos; reacção com os biofilmes que se desenvolvem nas paredes das condutas; e consumo em processos de corrosão.

A necessidade de desinfecção nos sistemas públicos de abastecimento de água, bem como os limites mínimos da CRC em diferentes locais desses sistemas, foram recentemente estabelecidos na nova legislação portuguesa relativa à qualidade de água para consumo humano (Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto).

O progressivo conhecimento de diversos microrganismos cloro-resistentes (vírus, protozoários, cistos), incluindo algumas bactérias presentes nos biofilmes aderentes às paredes das condutas das redes de abastecimento, tornou evidente a pertinência duma mudança urgente neste paradigma, assistindo-se, nos últimos anos, a um incremento no esforço de investigação no desenvolvimento de tecnologias e métodos alternativos de desinfecção, baseados na utilização de cloraminas ou em processos de oxidação e de filtração avançados, tais como a ultrafiltração, a nanofiltração e a osmose inversa.

Porém, os avultados custos envolvidos na consolidação e instalação destas tecnologias emergentes de desinfecção em ETA (com elevados consumos energéticos), inviabilizam a sua aplicação generalizada a curto e médio prazo, facto que, associado ao reconhecimento da elevada toxicidade dos SPD, origina, na actualidade, uma preocupação crescente com a definição de estratégias que minimizem a formação desses subprodutos tóxicos nas águas de abastecimento (WHO, 2005).

A procura de tecnologias alternativas de desinfecção (mais económicas e ambientalmente mais sustentáveis) tem sido extensiva ao controlo de qualidade microbiológica das águas de recreio com contacto directo (e.g., piscinas colectivas e *spa*), onde as preocupações com a saúde pública são igualmente relevantes, dado que o aquecimento dessas águas pode favorecer não só o incremento da actividade biológica, mas também do processo de formação de SPD. Neste sector, têm sido desenvolvidas e comercializadas várias tecnologias alternativas à utilização de cloro, devendo a selecção da tecnologia mais adequada obedecer a uma criteriosa análise de custo-benefício efectuada para cada caso (Duarte *et al.*, 2007; Vasconcelos e Duarte, 2006).

A presença de compostos orgânicos naturais nas origens de água tem originado vários problemas na qualidade da água para abastecimento público. Entre eles, está a formação de compostos orgânicos halogenados, chamados de trihalometanos (THM), que resultam da reacção do cloro livre com várias substâncias orgânicas precursoras presentes nos mananciais de água, tais como os ácidos húmicos e fúlvicos ou a β -dicetonas, nomeadamente as estruturas do tipo *resorcinol* e *pirrol* (presente na *clorofila*) (USEPA, 1998). Além destes e dos ácidos haloacéticos, já foram identificados mais de seiscentos compostos organohalogenados em águas para consumo humano (Nikolaou *et al.*, 2002).

Esta comunicação insere-se no âmbito do estudo de estratégias de minimização da formação de THM nas águas de abastecimento e de recreio e tem como principal objectivo a apresentação do desenvolvimento e aplicação de uma ferramenta informática (o *THMControl*) para gestão e controlo da formação de THM em sistemas de abastecimento de água, através da modelação simultânea do decaimento do cloro e da formação desses compostos tóxicos, ao longo do tempo, em função dos parâmetros de qualidade da água mais relevantes para estes processos (WHO, 2004) e visando uma *optimização* das dosagens de desinfectante adequadas a cada caso.

MATERIAIS E MÉTODOS

Formação de trihalometanos

Os THM que aparecem com mais frequência nas águas de abastecimento são o triclorometano (TCM) ou clorofórmio, o bromodichlorometano (BDCM), o dibromoclorometano (DBCM) e o tribromometano (TBM) ou bromofórmio. A soma algébrica da concentração dos quatro compostos referidos, cuja estrutura química se representa na Figura 1, corresponde, na legislação em vigor, aos trihalometanos totais (THMt). Estes compostos e são insolúveis na água, apresentando um odor característico.

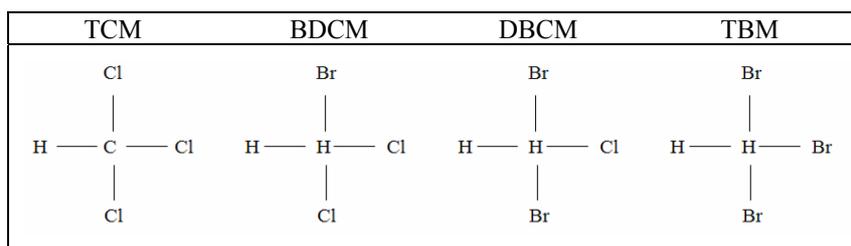


Figura 1: Trihalometanos - estrutura química dos diferentes compostos

A formação de THM não é um processo instantâneo, sendo necessário que se conjuguem uma série de factores, tais como a concentração de precursores (matéria orgânica natural), a dosagem cloro residual livre (CRL), a temperatura e o *pH* da água, da água, o tempo de contacto e do desinfectante e a concentração de iões de bromo (Symons *et al.*, 1981).

As substâncias precursoras dos THM podem ser divididas em duas fracções: uma de reacção rápida associada a estruturas do tipo *resorcinol*, representando entre 15 e 30% da matéria orgânica natural; e outra de reacção mais lenta correspondente a compostos fenólicos. Esta característica permite que a evolução da concentração de THM, após um processo de desinfecção com produtos clorados inorgânicos, o processo possa ser controlada através duma actuação integrada sobre os principais factores que condicionam o mecanismo de formação dos THM: concentração de desinfectante, tempo de contacto, tipo de desinfectante, temperatura e *pH* da água (CRC, 2005).

Segundo Zarpelon e Rodrigues (2002), verifica-se que a taxa de formação de THM duplica por cada incremento de 10°C na temperatura da água e que a mesma pode triplicar com o aumento de uma unidade no valor do *pH* da água. A probabilidade de formação de THM aumenta com o incremento do tempo de contacto com o produto clorado.

Nos períodos de maior pluviosidade pode ocorrer um aumento da carga de matéria orgânica presente na água bruta, cuja oxidação pode implicar um incremento da dosagem de cloro, facto que tem como consequência um aumento na formação de THM relativamente ao período de estiagem. A formação de THM nos sistemas de transporte e distribuição também aumenta quando os valores da concentração de cloro residual à saída da ETA são superiores aos limites mínimos (Andreola *et al.*, 2005).

Vários estudos epidemiológicos, alguns deles promovidos pela ONU e transcritos no documento *Environmental Health Criteria 216* (UN, 2000), têm relacionado a ingestão de THM com o aumento substancial do risco de tumores e cancro (cerebral, bexiga, fígado, rins, colo-rectal), de problemas de infertilidade masculina e de abortos espontâneos, constituindo este assunto um tema de inquestionável interesse em termos de saúde pública e de segurança da água (Vieira, 2005). Na Tabela 1, apresenta-se uma síntese dos efeitos já conhecidos da ingestão continuada de THM na saúde dos seres vivos, verificando-se que estes SPD estão associados a doenças muito graves (incapacitantes e/ou mortais), com fortes implicações no desenvolvimento sócio-económico das comunidades.

Tabela 1: Efeito dos THM na saúde pública

TRIHALOMETANO	EFEITO NA SAÚDE
triclorometano (TCM)	tumores e cancro
bromodichlorometano (BDCM)	infertilidade masculina, abortos
dibromochlorometano (DBCM)	tumores e cancro
tribromometano (TBM)	tumores

A influência de pré-tratamento (oxidação da material orgânica natural) através de radiação UV, ozonização e adição de dióxido de cloro na carência de cloro e na formação de THMt foi estudada por Gallard e von Gunten (2002), tendo-se verificado que:

- a radiação UV não a formação de THMt, mas conduziu a uma maior carência de cloro;
- a pré-oxidação com ozono origina uma menor formação de THMt, não alterando a carência de cloro;
- a pré-oxidação com dióxido de cloro reduz a formação de THMt e a carência de cloro.

Modelação matemática

A pesquisa bibliográfica efectuada permitiu concluir que a modelação matemática relativa à formação de THM deverá ser efectuada em conjunto com a modelação do decaimento da concentração de cloro residual nos sistemas de abastecimento de água, dado ser este um dos parâmetros determinantes da formação de SPD, ao ser consumido nesse processo, que pode ser descrito, de forma simplificada (Clark, 1998), por:



No entanto a génese e as cinéticas utilizadas na modelação de cada um desses fenómenos são distintas, começando a ser integradas em abordagens mais recentes (Rossman *et al.*, 2004). Na generalidade dos modelos, o decaimento de cloro é representado por cinéticas de primeira ordem, enquanto que a formação de THMt é descrita por cinéticas de segunda ordem (Amy *et al.*, 1987; Clark *et al.*, 1996).

O primeiro modelo para estimar o decaimento de cloro residual foi proposto por Feben e Taras (1951) através da seguinte expressão:

$$D_t = D_1 \times t^n \quad \text{equação (2)}$$

em que a quantidade de cloro consumido no instante t (D_t) é calculada com base na quantidade de cloro consumido ao fim de uma hora (D_1) e n é uma constante característica da água em estudo, ambos obtidos experimentalmente. Nesta altura ainda se desconhecia a existência de SPD, pelo que não constavam nesta formulação do modelo.

Em 1984, Haas e Karra avaliaram o desempenho de cinco cinéticas de decaimento do cloro, tendo concluído que o modelo de decaimento paralelo de duas componentes do cloro residual (a de reacção rápida e a de longo prazo), de acordo com cinéticas de primeira ordem, fornecia os melhores resultados.

Os estudos promovidos em conjunto pela Environmental Protection Agency (EPA) e pela American Water Works Association Research Foundation (AWWARF) permitiram aprofundar o conhecimento da interacção dos dois processos (decaimento de cloro e formação de THMt) nos sistemas de abastecimento de água e estabelecer um modelo de decaimento do cloro com cinética de primeira ordem. Em 1998, Clark estabeleceu a seguinte formulação matemática para o decaimento do cloro:

$$Cl_t = \frac{K}{1-R \cdot e^{-ut}} \quad \text{equação (3)}$$

em que: $Cl(t)$ é a concentração de cloro, em mg/L , no instante t ; R tem um valor estatístico estimado e relativo ao intervalo de confiança (adimensional), K é obtido com base na diferença de concentrações iniciais de cloro residual livre e de carência de cloro e expresso em mg/L ; t é o tempo de reacção, em minutos; u a taxa de reacção, expressa em min^{-1} , podendo ser estimado pela seguinte equação:

$$u = M \cdot (1 - K) \quad \text{equação (4)}$$

em que,

M é um parâmetro que integra a influência da concentração de carbono orgânico total (COT), do pH e da temperatura da água (T , em $^{\circ}C$), podendo ser determinado através da seguinte equação:

$$\ln(M) = -2,46 - 0,19 \times COT - 0,14 \times pH - 0,07 \times T + 0,01 \times pH \times T \quad \text{equação (5)}$$

K é um parâmetro que integra também, além da influência da concentração de carbono orgânico total (COT), do pH e da temperatura da água (T , em $^{\circ}C$), a concentração inicial (Cl_0), podendo ser estimado experimentalmente ou, com um intervalo de confiança de 95%, através de uma das seguintes equações:

$$K = e^{1,49} \times Cl_0^{-0,48} \times COT^{0,18} \times pH^{0,96} \times T^{0,28} \quad \text{equação (6)}$$

$$K = e^{0,32} \times Cl_0^{-0,44} \times COT^{0,63} \times pH^{-0,29} \times T^{0,14} \quad \text{equação (7)}$$

O primeiro modelo de formação de THMt foi proposto por Trusell e Umphres (1978), baseado numa cinética de primeira ordem e não contemplando um conjunto de informação relevante neste processo, nomeadamente a origem da matéria orgânica precursora dos THM e as influências do *pH*, de uma pré-ozonização da água bruta, da dosagem de desinfectante e da existência de brometos.

Em 1998, Clark complementa o seu estudo sobre o decaimento do cloro com uma proposta de modelo de evolução da concentração total de trihalometanos (THMt), baseado na seguinte equação:

$$\text{THMt}_{(t)} = T \cdot \left(\text{Cl}_{A,0} - \frac{\text{Cl}_{A,0}(1-R)}{1-R \cdot e^{-\text{ux}t}} \right) + \text{THMt}_0 \quad \text{equação (8)}$$

em que: *T* é um parâmetro adimensional; $\text{Cl}_{A,0}$ é a concentração inicial de cloro residual, em *mg/L*, e THMt_0 é a concentração inicial do total de trihalometanos, em *mg/L*.

Este modelo foi testado com sucesso por Clark e Sivaganesan, em 1998, quer em sistemas de abastecimento de água reais, quer em experiências laboratoriais.

Segundo Gallard e von Gunten (2002), a formação de THM e o decaimento do cloro, de longo termo, associados a processos de desinfecção com excesso de cloro ($50 \mu\text{M} > [\text{Cl}_2]_0 > 210 \mu\text{M}$), podem ser descritos por cinéticas de segunda ordem, com coeficientes entre 0,01 e 0,03 $\text{M}^{-1} \text{s}^{-1}$, para o intervalo do valor do *pH* de 7 a 9, águas superficiais e matéria orgânica precursora sob a forma de substâncias húmicas.

Neste trabalho, adoptou-se as formulações matemáticas de Clark para incorporar a ferramenta informática *THMControl* a seguir descrita, complementadas com uma cinética do tipo *Michaelis-Menton*, conforme proposta de Mendes e Oliveira (2004), que teve em consideração o carácter limitante do valor máximo dos THMt, através da expressão:

$$\text{THMt}_{(t)} = \text{THMt}_{\text{max}} \cdot \left(\frac{t}{t_{50} + t} \right) \quad \text{equação (9)}$$

em que, t_{50} é o tempo necessário para se atingir 50% do valor máximo do total de trihalometanos (THMt_{max}).

A ferramenta de gestão *THMControl*, cujo desenvolvimento de descreve neste trabalho, teve como principal objectivo dar um contributo para a optimização dos procedimentos de desinfecção com compostos clorados, através da formulação de cenários de gestão (com base na qualidade da água, dosagem e tipo de desinfectado a aplicar) e do controlo da formação de THMt nesses cenários, alertando para as situações de maior perigosidade para a saúde pública. Pretende-se, assim, optimizar a dosagem de desinfectante e/ou o tempo de contacto, já que as flutuações da carência de desinfectante são geralmente responsáveis pelas sobredosagens de cloro, podendo induzir a formação de THM (Lopes e Menaia, 2006).

RESULTADOS

Neste trabalho procedeu-se ao desenvolvimento de uma ferramenta informática (o *THMControl*), de gestão e de apoio à decisão, integrando os modelos acima descritos de modo a permitir antecipar um eventual perigo de formação de THM. O *THMControl* permite efectuar a simulação e a visualizar da evolução da concentração total de THM, para cenários de funcionamento distintos, correspondentes a diferentes composições, esquemas de tratamento e usos da água de abastecimento.

Esta ferramenta informática foi desenvolvida em Microsoft Excel, tornando-a assim um instrumento de fácil utilização, conferindo-lhe até uma dimensão pedagógica apropriada à formação avançada de recursos humanos no domínio do tratamento de água. A introdução de dados é efectuada através de uma folha de entrada de utilização amigável (Figura 2)



Figura 2: Menú de entrada de dados no THMControl

Em relação à concentração inicial de THM, os dados podem ser introduzidos como THMt (opção “totais”) ou com os valores existentes para cada um dos seus quatro tipos de compostos, seleccionando-se a opção “parciais”.

Após a introdução dos dados o *THMControl* efectua uma avaliação inicial do estado da água bruta relativamente às concentrações de THM existentes. Nesta avaliação é feita a comparação dos valores de THM existentes com os VMA da legislação portuguesa. Mediante esta avaliação, aparecerá uma célula na qual será exposto o resultado desta avaliação e também consoante o resultado da avaliação, poderão surgir *Recomendações* e *Cenário* relativos ao estado da água bruta (Figura 3).



Figura 3: Análise de resultados para um caso de estudo

A formulação de recomendações foi prevista no *THMControl* no sentido de sugerir medidas e estratégias de minimização a adoptar em situações críticas, sendo activada quando se atingem valores da concentração de THM próximos dos valores paramétricos de referência, que podem ser estabelecidos com base na legislação nacional, internacional ou em normas da OMS. A preocupação com a presença de THM nas águas de abastecimento, evidenciada nos respectivos valores-limite legalmente definidos, é ainda muito díspar nos vários países com regulamentação destes parâmetros (Tabela 2).

Tabela 2: Valor-limite (VL) do total de THM em vários países

País	VL (µg/L)
Alemanha	25
Brasil	100
Canadá	350
E.U.A.	100
França	10
Holanda	75
Portugal	100
Outros países (norma OMS)	100

Após esta avaliação inicial, o programa procede ao cálculo da evolução temporal do decaimento do cloro da concentração de THM, apresentando graficamente os resultados obtidos para cada uma delas (Figuras 4 e 5, respectivamente). Saliente-se que os resultados do cálculo são fornecidos sob a forma de intervalo, exprimindo, desse modo, a incerteza associada a este tipo de processos e à simplificação matemática inerente à representação, pelos modelos matemáticos, de fenómenos reais com esta elevada complexidade.

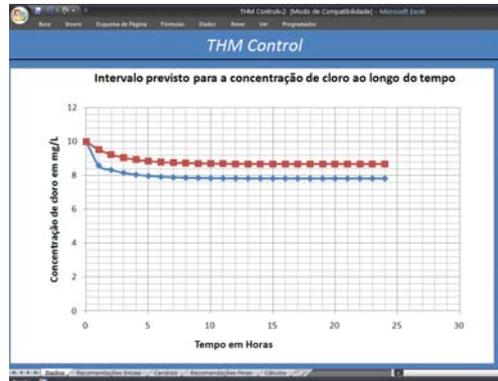


Figura 4: Evolução do decaimento do cloro num caso de estudo

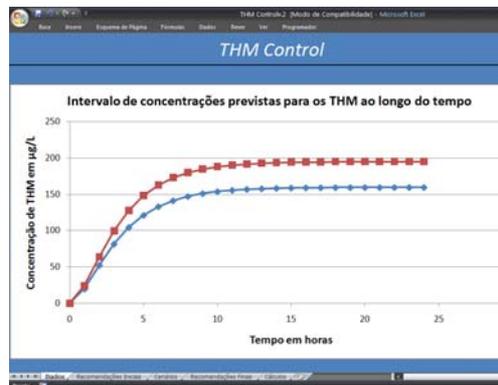


Figura 5: Evolução da concentração de THM num caso de estudo

Para a calibração e validação dos modelos incorporados no *THMControl* foram utilizados dados disponíveis na bibliografia (Clark, 1998) e que foram sintetizados na Tabela 3. Em futuros desenvolvimentos deste trabalho pretende-se utilizar diferentes conjuntos de dados a recolher junto de algumas entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água portugueses.

Tabela 3: Valor-limite (VL) do total de THM em vários países

Caso de estudo	pH	T (°C)	COT (mg/L)	CRL (mg/L)
WTP of Fairfield	8,15	17,9	1,87	1,73
Russian river aqueduct	7,40	25,0	0,55	1,90
WTP of Sanford lake	3,55	21,9	3,55	0,49
WWP of Bellingham	8,05	17,40	0,84	0,72

A aplicação desta ferramenta tem como vantagem a realização de análises de sensibilidade à variação dos diferentes parâmetros que influenciam a evolução da concentração de THM_t, bem como a comparação dos resultados fornecidos por cada um dos modelos adoptados, de modo a avaliar a sua maior ou menor adequação a cada problema ou situação-tipo, tendo em consideração a natureza e consistência dos dados disponíveis.

As recomendações introduzidas neste programa incluem, também, a sugestão de alguns processos unitários de tratamento que poderão ser utilizados para remoção de THM, caso não seja operacionalmente viável evitar a sua formação.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

Na ausência de tecnologias avançadas de desinfecção a custos comportáveis para a maioria dos sistemas de abastecimento de água, a modelação e optimização dos processos de desinfecção com cloro são essenciais a uma estratégia efectiva de controlo da formação de THM, devendo ser uma das metodologias a incluir nos Planos de Segurança da Água (PSA), no sentido de incrementar a confiança dos consumidores.

O *THMControl* constitui um instrumento de gestão da qualidade da água de grande utilidade, quer na fase de tratamento, quer durante o seu transporte nas redes de distribuição, prevenindo eventuais situações de incumprimento dos valores-limite (das concentrações de THM e de cloro residual) ou de perigo para a saúde pública, podendo ser associado a outros modelos de simulação de qualidade da água (e.g., o EPANET).

As análises de sensibilidade efectuadas permitiram evidenciar a importância do controlo de qualidade da água nas origens, nomeadamente no que se refere ao teor de matéria orgânica natural (um dos factores condicionantes das exigências de desinfecção), reforçando, desse modo, a necessidade de assegurar uma gestão integrada e sustentável dos meios hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMY, G.L.; CHADIK, P.A.; CHOWDHURY., Z. K. Developing models for predicting trihalomethane formation potential and kinetics. *Journal of AWWA*, 79 (7), p. 89-97, 1987.
2. ANDREOLA R.; BERGAMASCO R.; GIMENES, M. L.; DIAS, B. P.; CONSTANTINO, A. F.. Formação de trialometanos em uma estação de tratamento de água. *Acta Science Technology*, Maringá, v. 27, n.º 2, p. 133-141, July/Dec., 2005.
3. CLARK, R. M.; POURMOUGHADDAS, H; WYMER, L. G.; DRESSMAN, R. C.. Modeling the kinetics of chlorination and by-products formation: the effect of bromide. *Journal of Water Supply Res. And Technol., AQUA*, 45 (1), p. 1-8, 1996.
4. CLARK, R. M.. Chlorine demand and TTHM formation kinetics: a second-order model. *Journal of Environmental Engineering*, ASCE, p. 16-21, 1998.
5. CRC (AUSTRÁLIA). *Natural organic matter: understanding and controlling the impact on water quality and water treatment processes*, 2005.
6. DUARTE, A.A.L S.; VASCONCELOS, J. L.; VIEIRA, J. M. P.. *Cost Optimization for Disinfection Method Selection in Municipal Pools. A Case Study. Pool&Spa'2007*. 2nd International Conference on Health and Water Quality Aspects of the Man Made Recreational Water Environment, Munique, Alemanha., 2007.
7. GALLARD, H. e VON GUNTEN, U.. Chlorination of natural organic matter: kinetics of chlorination and of THM formation. *Water Research*, Vol. 36, 1, p 65-74, 2002.
8. LOPES, A. e MENAIA, J.. *Estratégias para minimizar a formação de subprodutos da desinfecção na água de abastecimento.*. 12º ENaSB, Cascais, Portugal, Outubro, 2006.
9. MENDES, B. E OLIVEIRA, J. F. S.. *Qualidade de água para consumo humano*. Lidel, Lisboa, 2004.
10. NIKOLAOU, A. D.; GOLFINOPOULOS, S.K.; LEKKAS, T.D.. Formation of organic by-products during the chlorination of natural waters. *J. Environ. Monitoring*, 4, p. 910-916, 2002.
11. ROSMAN, L. A.; CLARK, R. M.; GRAYMAN, W. M.. Modelling Chlorine Residual in Drinking Water Distribution System, *Journal of Environmental Engineering*, 120(4), p. 803-820, 1994.
12. SYMONS, J.M. et al. *Treatment techniques for controlling trihalomethanes in drinking water*. Cincinnati: EPA. p. 10-22. [EPA/600/2-81/156], 1981.
13. TRUSELL, R. R. e UMPHRES, M. D.. The formation of trihalomethanes. *Journal of the American Water Works Association*, 70 (10), p. 604-612, 1978.
14. USEPA-ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Stage 1 Disinfectants and Disinfection Byproducts Rule*. (Stage 1 DBPR), 63 FR 69390, December 16, v. 63, n.º 241, 1998.
15. VASCONCELOS, J. L. e DUARTE, A.A.L.S.. *Tratamento da água de piscinas públicas. Análise comparativa de sistemas de desinfecção aplicada a um caso de estudo*. 12º ENaSB, Cascais, Portugal, 2006.
16. VIEIRA, J. M. P.. *Implementação das recomendações da OMS referentes à Qualidade da Água para Consumo Humano*. Covilhã, Portugal, 2005.
17. ZARPELON, A. e RODRIGUES, E.M. *Os trialometanos na água de consumo humano*. Rev. Tec. Sanepar, São Paulo, n.º 17, Jan-Jun., 2002.