

FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS EM ÁGUAS CONTENDO ÁCIDOS HÚMICOS FORMATION OF TRIHALOMETANOS IN WATERS CONTEND ACID HÚMICOS

Carlos Renato Marmo¹

Bruno Vicente de Azevedo Pereira dos Santos²

Ruben Bresaola Júnior³

¹Eng. Civil pela Univ. Estadual Paulista (UNESP), Campus de Ilha Solteira/SP. Especialista em Fontes Alternativas de Energia pela Univ. Federal de Lavras/MG (UFLA). Mestre em Saneamento e Ambiente pela Univ. Estadual de Campinas/SP (UNICAMP).

²Engenheiro Civil e Mestre em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas/SP (UNICAMP).

³Engenheiro Civil, Mestre e Doutor pela Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professor Doutor do Dep. de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Eng. Civil, Arquit. e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas/SP (UNICAMP).

Endereço¹: Rua Tapajós, 264, Condomínio Monterrei, Bloco 2, Apto. 304 – Bairro Estação Experimental. Rio Branco (AC) – Brasil. CEP: 69.907-520. Tel: +55 (68) 3211-2209, Fax: +55 (68) 3211-2209 - e-mail: renatomarmo@yahoo.com.br

RESUMO

O trabalho de pesquisa avaliou, em escala de laboratório, a formação de trihalometanos totais (THM) produzidos em reações de oxidação, com aplicação de cloro livre, sob diferentes concentrações e tempos de contato, em amostras de águas contendo ácidos húmicos. A detecção dos trihalometanos formados foi realizada, comparativamente, através de duas técnicas analíticas; Cromatografia gasosa e espectrofotometria. A espectrofotometria, segunda opção técnica, foi avaliada como metodologia alternativa à primeira, permitindo a expressão dos resultados apenas em THM totais. Os resultados obtidos indicaram que a formação de THM foi diretamente proporcional às concentrações de cloro, ácidos húmicos, íon brometo e ao tempo de contato das reações. As técnicas de detecção de THM por cromatografia gasosa e por espectrofotometria apresentaram resultados divergentes nas condições destes ensaios.

ABSTRACT

The present research evaluated, in laboratory scale, the formation of trihalomethanes (THM) produced in oxidation reactions, with free chlorine, of water samples with humic acids, in different concentrations and reaction time. Trihalomethanes detection was comparatively investigated through two analytical techniques. The spectrophotometric technique was evaluated as an alternative methodology to the first one, allowing the expression of the results only in total THM. The results indicated that THM formation is directly proportional to the concentrations of chlorine, humic acids, bromide ion and reaction time. The methodologies for THM based on gaseous chromatography and spectrophotometric presented different results in the laboratory conditions of these assays.

Palavras-chave: Trihalometanos; cromatografia; processos oxidativos; substâncias húmicas; cloração.

Key words: Trihalomethanes; chromatography; oxidation processes; humic substances; chlorination.

1. INTRODUÇÃO

As reações de oxidação e desinfecção têm apresentado, recentemente, aspectos considerados negativos, principalmente no que se refere à produção de compostos e subprodutos indesejáveis, provenientes das reações entre a matéria orgânica natural (substâncias húmicas) e produtos químicos oxidantes utilizados, em processos de tratamento de águas de abastecimento. Em 1974, pesquisadores holandeses e americanos (ROOK, 1974 e BELLAR et al., 1974) foram os pioneiros em detectar a presença de subprodutos halogenados, após processos de desinfecção final de águas para abastecimento público. Resultados de diferentes trabalhos de pesquisa recentes corroboram com estes pesquisadores, indicando que o uso do cloro como oxidante promove a formação de subprodutos da desinfecção (SPD). As principais classes desses compostos são representadas pelos trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos (HAA), haloacetoneitrilos (HAN), entre outros (SERODES et al., 2003; YOON et al., 2003; WHITE et al., 2003 e KIM et al., 2002).

O presente estudo procurou identificar a formação de trihalometanos, gerados a partir das reações do cloro com ácidos húmicos, variando-se as dosagens do oxidante, as concentrações do precursor orgânico e do íon brometo. A quantificação de THM foi realizada pelas técnicas de cromatografia gasosa e de espectrofotometria, permitindo uma comparação entre os métodos na detecção de tais compostos. Os processos cromatográficos permitiram a especificação dos THM formados, indicando quais as proporções de clorofórmio, diclorobromometano, dibromoclorometano e bromofórmio, em função da presença do íon brometo, enquanto a metodologia espectrofotométrica indicou THM totais em partes por bilhão (ppb) de clorofórmio.

2. METODOLOGIA

O trabalho prático de pesquisa foi realizado nas dependências do Laboratório de Saneamento (LABSAN) e do Laboratório de Protótipos Aplicados ao Tratamento de Água e Efluentes (LABPRO) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Foram utilizados os seguintes reagentes: hipoclorito de sódio PA (4 a 6%) da Vetec, como oxidante; ácido húmico PA da Aldrich, como precursor, e brometo de potássio PA da Merck, como fonte de íons brometo. A detecção de trihalometanos por cromatografia utilizou um cromatógrafo a gás (HP 6890-5973; coluna capilar Supelco 2-4154, diâmetro nominal 250 µm e comprimento de 60,0 m) acoplado a um espectrômetro de massas (HP 5973), injetor automático, Purge and Trap CDC 6000. As análises

OS HÚMICOS, TRATADAS COM CLORO LIVRE NA PRÉ-OXIDAÇÃO. HÚMICOS, DEALT WITH FREE CHLORINE IN THE PRÉ-OXIDATION.

de trihalometanos por colorimetria foram realizadas com um espectrofotômetro DR 2500 da Hach, utilizando o kit de reagentes THM Plus® e conforme procedimentos padrões constantes do manual de utilização do equipamento (HACK, 2001).

A água bruta adotada na pesquisa foi obtida de um poço freático localizado nas dependências da Universidade Estadual de Campinas. As amostras, para tais fins, foram coletadas em frascos plásticos de volume igual a 5 litros, previamente lavados e mantidos por 24 horas em uma solução de ácido nítrico (Synth) a 0,5% (v/v). Imediatamente antes à coleta, os frascos foram condicionados diversas vezes com a água do poço para eliminar quaisquer resíduos que pudessem alterar a qualidade da água coletada e interferir nos resultados das análises.

A oxidação com cloro livre, na forma de hipoclorito de sódio, deu-se segundo três diferentes baterias de ensaios. Nos primeiros ensaios (reatores 1 a 6) foram fixados os valores das concentrações de ácidos húmicos e do íon brometo e variadas as concentrações de cloro livre. Posteriormente (reatores 7 a 9), foi adotado um valor de concentração de cloro e variada a concentração de ácidos húmicos nas amostras. Em uma terceira bateria de ensaios (reatores 10 a 12), foi mantida a quantidade de cloro e ácido húmico e variada a concentração dos íons brometos, conforme estudos estabelecidos por BORGES (2002). A tabela 1 apresenta os valores utilizados nas reações de oxidação. Os tempos de contato na oxidação, para essa amostragem foram adotados iguais a 1 hora, 12 horas e 24 horas, com base nos experimentos conduzidos por SERODES et al. (2003).

Foram utilizados balões volumétricos de 500 mL como reatores de oxidação, sem a presença de agitador magnético nos intervalos de tempo entre as coletas. Os reatores foram protegidos da luz solar, em virtude da degradabilidade do cloro à ação da mesma. Anteriormente à oxidação foi determinada a porcentagem exata de cloro livre presente no hipoclorito de sódio.

As amostras para as análises de trihalometanos por cromatografia gasosa foram preservadas conforme preconiza

o método SM 6010 B, para determinação de compostos orgânicos voláteis e pela EPA 524.2 (AWWA, 1998; EPA, 1995). Os frascos de 40 mL (vials) com as amostras foram mantidos sob temperaturas de 4 °C utilizando o agente redutor tiosulfato de sódio (3 mg/40 mL). As análises de THM por espectrofotometria foram realizadas imediatamente após a coleta das amostras, não sendo necessário, portanto, procedimentos de preservação. Foram realizadas 36 análises de detecção de THM por espectrofotometria, sendo avaliadas 22 delas (61%) também por cromatografia, sob condições dadas na Tabela 1.

Reator	Objetivo	Cloro (mg/L)	Acidos Húmicos (mg/L)	Íon brometo (mg/L)
1	Variação da dosagem de cloro	2,7	1,0	---
2		5,3	1,0	---
3		7,3	1,0	---
4		10,0	1,0	---
5		19,9	1,0	---
6		33,2	1,0	---
7	Variação da dosagem de ác. húmicos	10,0	2,5	---
8		10,0	5,0	---
9		10,0	10,0	---
10	Variação da dosagem do íon brometo	10,0	2,5	0,5
11		10,0	2,5	1,0
12		10,0	2,5	3,0

Tabela 1: Número de reatores e concentrações adotadas de cloro livre, ácidos húmicos e íon brometo para os ensaios de oxidação.

RESULTADOS

A tabela 2, 3, 4 e 5 apresentam os resultados da formação de trihalometanos, por espectrofotometria e cromatografia gasosa nas diferentes condições explicitadas.

Reator	Objetivo	Cloro (mg/L)	Acidos Húmicos (mg/L)	Íon brometo (mg/L)	THM totais (µg/L)					
					1 Hora		12 Horas		24 Horas	
					DR 2500	CG/EM	DR 2500	CG/EM	DR 2500	CG/EM
1	Variação da dosagem de cloro	2,7	1,0	0,0	< 6	---	27	---	37	81
2		5,3	1,0	0,0	16	---	41	152	68	187
3		7,3	1,0	0,0	19	42	55	64	19	---
4		10,0	1,0	0,0	28	---	33	79	59	---
5		19,9	1,0	0,0	50	---	51	99	45	99
6		33,2	1,0	0,0	< 6	62	< 6	---	58	208
7	Variação da dosagem de ác. húmicos	10,0	2,5	0,0	58	---	110	222	197	242
8		10,0	5,0	0,0	105	215	171	407	248	---
9		10,0	10,0	0,0	129	406	411	---	373	814
10	Variação da dosagem do íon brometo	10,0	2,5	0,5	76	180	118	399	185	---
11		10,0	2,5	1,0	82	229	270	---	173	549
12		10,0	2,5	3,0	89	---	171	586	199	655

---: não avaliado.

Tabela 2: Resumo dos resultados obtidos na detecção de trihalometanos por espectrofotometria (DR 2500) e cromatografia gasosa (CG/EM).

FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS EM ÁGUAS CONTENDO ÁCIDOS HÚMICOS
FORMATION OF TRIHALOMETANOS IN WATERS CONTEND ACID HÚMICOS

Reator	Objetivo	Tempo de contato	Cloro (mg/L)	Ácidos Húmicos (mg/L)	Íon brometo (mg/L)	THM (µg/L)					
						CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHClBr ₂	CHBr ₃	Total	Hach
1	Variação da dosagem de cloro	1 Hora	2,7	1,0	---	---	---	---	---	---	<6
2			5,3	1,0	---	---	---	---	---	---	16
3			7,3	1,0	---	37,5	4,0	AL	ND	42	19
4			10,0	1,0	---	---	---	---	---	---	28
5			19,9	1,0	---	---	---	---	---	---	50
6			33,2	1,0	---	57,7	4,4	ND	ND	62,1	<6
1	Variação da dosagem de cloro	1 Hora	2,7	1,0	---	---	---	---	---	---	27
2			5,3	1,0	---	143,5	8,3	0,7	ND	152,5	41
3			7,3	1,0	---	56,1	7,2	0,5	ND	63,8	55
4			10,0	1,0	---	70,4	8,8	ND	ND	79,2	33
5			19,9	1,0	---	89,0	9,0	0,6	ND	98,6	51
6			33,2	1,0	---	---	---	---	---	---	<6
1	Variação da dosagem de cloro	1 Hora	2,7	1,0	---	70,7	9,7	1,0	ND	81,3	37
2			5,3	1,0	---	177,6	8,2	0,8	ND	186,6	68
3			7,3	1,0	---	---	---	---	---	---	19
4			10,0	1,0	---	---	---	---	---	---	59
5			19,9	1,0	---	89,6	9,8	AL	ND	99,4	45
6			33,2	1,0	---	199,3	8,4	0,6	ND	208,3	58

AL: abaixo do limite (0,5 ppb);
ND: não detectado;
----: não avaliado.

Tabela 3: Valores de concentrações das espécies clorofórmio, diclorobromometano, dibromoclorometano e bromofórmio nas análises de THM por cromatografia gasosa para a etapa de estudo da variação da dosagem de cloro (Reatores 1 a 12).

Reator	Objetivo	Tempo de contato	Cloro (mg/L)	Ácidos Húmicos (mg/L)	Íon brometo (mg/L)	THM (µg/L)					
						CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHClBr ₂	CHBr ₃	Total	Hach
7	Variação da dosagem do íon brometo	1 Hora	10,0	2,5	---	---	---	---	---	---	58
10			10,0	2,5	0,5	17,6	23,7	77,9	60,6	180	76
11			10,0	2,5	1,0	8,6	15,1	76,3	129,4	229	82
12			10,0	2,5	3,0	---	---	---	---	---	89
7	Variação da dosagem do íon brometo	12 Horas	10,0	2,5	---	210,9	10,7	AL	ND	222	110
10			10,0	2,5	0,5	25,6	61,7	182,2	129,6	399	118
11			10,0	2,5	1,0	---	---	---	---	---	270
12			10,0	2,5	3,0	10,9	10,0	93,7	471,2	586	171
7	Variação da dosagem do íon brometo	24 Horas	10,0	2,5	---	228,1	14,0	ND	ND	242	197
10			10,0	2,5	0,5	---	---	---	---	---	185
11			10,0	2,5	1,0	14,6	44,6	190,5	299,0	549	173
12			10,0	2,5	3,0	9,9	12,3	106,4	526,0	655	199

AL: abaixo do limite (0,5 ppb);
ND: não detectado;
----: não avaliado.

Tabela 4: Valores de concentrações das espécies clorofórmio, diclorobromometano, dibromoclorometano e bromofórmio nas análises de THM por cromatografia gasosa para a etapa de estudo da variação da dosagem do íon brometo.

Reator	Objetivo	Tempo de contato	Cloro (mg/L)	Ácidos Húmicos (mg/L)	Íon brometo (mg/L)	THM (µg/L)					
						CHCl ₃	CHCl ₂ Br	CHClBr ₂	CHBr ₃	Total	Hach
4	Variação da dosagem de ác. húmicos	1 Hora	10,0	1,0	---	---	---	---	---	---	28
7			10,0	2,5	---	---	---	---	---	---	58
8			10,0	5,0	---	211,3	3,9	ND	ND	215	105
9			10,0	10,0	---	402,2	3,6	ND	ND	406	129
4	Variação da dosagem de ác. húmicos	12 Horas	10,0	1,0	---	70,4	8,8	ND	ND	79	33
7			10,0	2,5	---	210,9	10,7	AL	ND	222	110
8			10,0	5,0	---	397,2	10,1	ND	ND	407	171
9			10,0	10,0	---	---	---	---	---	---	411
4	Variação da dosagem de ác. húmicos	24 Horas	10,0	1,0	---	---	---	---	---	---	59
7			10,0	2,5	---	228,1	14,0	ND	ND	242	197
8			10,0	5,0	---	---	---	---	---	---	248
9			10,0	10,0	---	803,4	10,9	ND	ND	814	373

AL: abaixo do limite (0,5 ppb);
ND: não detectado;
----: não avaliado.

Tabela 5: Valores de concentrações das espécies clorofórmio, diclorobromometano, dibromoclorometano e bromofórmio nas análises de THM por cromatografia gasosa para a etapa de estudo da variação da dosagem de ácidos húmicos.

DISCUSSÃO

Os dados referentes ao estudo da formação de trihalometanos, variando-se a dosagem de cloro e o tempo de contato, sem a presença do íon brometo (reatores 1 a 6), indicaram que houve uma tendência de aumento da concentração de THM, conforme aumentava-se a concentração do oxidante. Tal aspecto pode ser observado nos reatores 1 a 6, com o tempo de contato de 1 hora. De acordo com tais resultados, a concentração de THM foi elevada de valores menores que 6 µg/L (reator 1) a 50 µg/L (reator 5), ocorrendo uma queda novamente para <6 µg/L no reator 6. Conforme consta na metodologia da Hach, para o ensaio, a concentração de cloro acima de 10,0 mg/L, pode interferir nos resultados. Sendo assim, acredita-se que a resposta abaixo do limite de detecção para a concentração de THM no reator 6 possa ser fruto de interferências da alta dosagem de cloro (33,2 mg/L) no reator de oxidação.

Os tempos de contato de 12 e 24 horas não apresentaram, de maneira clara, um aumento progressivo na concentração de THM conforme se variava a dosagem de cloro. De maneira semelhante, o comportamento da água em processo de oxidação no reator 6, com tempo de contato de 12 horas, indicou concentração abaixo do limite de detecção de THM, por espectrofotometria. Analisando os dados de cada concentração de cloro em função do aumento do tempo de contato de 1 para 24 horas, os resultados indicam que a formação de THM cresceu progressivamente, com exceção dos reatores 3 e 5.

As análises de trihalometanos por cromatografia gasosa, com detecção por espectrometria de massa, permitiram a separação dos compostos analisados em 4 diferentes espécies: clorofórmio (CHCl₃), diclorobromometano (CHCl₂Br), dibromoclorometano (CHClBr₂) e bromofórmio (CHBr₃). Os resultados obtidos são apresentados nas tabelas 3, 4 e 5, referentes aos reatores 1 a 12. As indicações ND e AL referem-se a valores não detectados e abaixo do limite de detecção, respectivamente.

As análises dos dados contidos na tabela 3 indicam que, enquanto as concentrações da espécie clorofórmio variaram de valores máximos e mínimos, respectivamente iguais a 37,5 e 199,3 µg/L, as dos compostos de bromo foram significativamente menores. O bromodiclorometano apresentou concentrações que variaram de 4,0 a 9,8 µg/L, o bromodiclorometano, de 0,5 µg/L a valor não detectado, para os diferentes tempos de contato. O bromofórmio, por sua vez, não chegou a ser detectado nas análises cromatográficas realizadas. O estudo permitiu observar, portanto, que efetuando-se a oxidação com cloro livre, sem a presença do íon brometo, a espécie predominante de trihalometanos é o clorofórmio, seguido pelo diclorobromometano. Deve ser destacado que as concentrações de clorofórmio representaram, em média, 91,2% do THM total detectado, enquanto que os compostos diclorobromometano, dibromoclorometano e

bromofórmio apresentaram percentuais médios de 8,3%; 0,5% e 0,0%, respectivamente. O tempo de contato das reações também demonstrou influenciar a produção de THM, conforme pode ser observado nas variações ocorridas no reator 6 (para 1 e 24 horas).

Os resultados da tabela 4 demonstraram que, conforme ocorreu um aumento na dosagem do íon brometo, as porcentagens das concentrações das espécies bromofórmio e dibromoclorometano, em relação ao THM total, aumentaram significativamente. Da mesma maneira, as porcentagens de clorofórmio e diclorobromometano diminuíram, principalmente quando a concentração do íon brometo foi igual a 3,0 mg/L.

Comparando-se as concentrações de THM totais, na presença (reatores 10, 11 e 12) e na ausência do íon brometo (reator 7), nota-se que, sob as mesmas condições de dosagem de cloro (10,0 mg/L) e de ácidos húmicos (2,5 mg/L), a somatória de trihalometanos totais é maior na primeira situação. Isto evidencia que o composto bromo tem maior reatividade e facilidade de se combinar com os compostos de carbono e hidrogênio dos ácidos húmicos, favorecendo a formação dos halogênios bromados. O tempo de contato das reações contribuiu significativamente para o aumento da produção de THM.

De acordo com os resultados contidos na tabela 5 observa-se que ocorreu um aumento na produção de THM conforme foi variada a concentração de ácidos húmicos de 1,0 para 10,0 mg/L. Tal fato pode ser conferido tanto para as análises feitas por processo espectrométrico como para cromatográfico. O aumento da quantidade de matéria orgânica a ser oxidada fez com que as concentrações de THM crescessem, de acordo com o aumento do tempo de contato, atingindo valores acima de 800 µg/L. O tempo de reação foi fundamental no aumento da concentração de THM, fato detectado tanto nas análises por cromatografia, quanto por espectrofotometria. As maiores formações deram-se, sem dúvida, com o tempo de contato de 24 horas, onde somente o reator 4 (ácidos húmicos = 1,0 mg/L) não atingiu o valor de 100 µg/L, limite máximo permitido pela portaria 518/2004, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2004).

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos e as análises realizadas, o estudo permitiu as seguintes conclusões:

- A formação de trihalometanos demonstrou ser dependente das dosagens de cloro aplicada à água, das concentrações de ácidos húmicos, da presença do íon brometo e do tempo de contato;
- O íon brometo, além de interagir com maior intensidade com os precursores orgânicos, também promove modificações na especiação dos trihalometanos formados;

FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS EM ÁGUAS CONTENDO ÁCIDOS HÚMICOS, TRATADAS COM CLORO LIVRE NA PRÉ-OXIDAÇÃO.

FORMATION OF TRIHALOMETANOS IN WATERS CONTEND ACID HÚMICOS, DEALT WITH FREE CHLORINE IN THE PRÉ-OXIDATION.

- O aumento da concentração do íon brometo fez com que as espécies bromofórmio e dibromoclorometano fossem predominantes em relação às cloradas, representadas pelo clorofórmio e diclorobromometano;
- O aumento da dosagem de cloro, aplicada aos reatores durante o processo de oxidação, produziu, em média, maiores formações de trihalometanos, detectado tanto pelas análises espectrofotométricas, quanto por cromatografia gasosa;
- Fixando-se uma dosagem de cloro e aumentando-se progressivamente a concentração de ácidos húmicos, ocorreram incrementos na formação de THM na grande maioria das amostras, fator determinado por cromatografia gasosa e por espectrofotometria;
- O tempo de contato para as reações de oxidação é outro parâmetro importante no estudo de formação de trihalometanos;
- O incremento no tempo de oxidação de 1 para 12 e 24 horas provou que ocorreram aumentos na formação de THM em todos os ensaios realizados neste estudo.

procedure manual. Loveland, Colorado: Hach Company Word Headquarters, 2001.

7. KIM, J.; CHUNG, Y.; SHIN, D.; KIM, M.; LEE, Y.; LIM, Y.; LEE, D. Chlorination by-products in surface water treatment process. **Desalination**, v. 15, p. 1-9, 2002.

8. ROOK, J. J. Formation of haloforms during chlorination of natural waters. **Water Treatment and Examination**, v. 23, p. 234-243, 1974.

9. SERODES, J.; RODRIGUEZ, M.; LI, H.; BOUCHARD, C. Occurrence of THMs and HAAs in experimental chlorinated waters of the Quebec City Area (Canada). **Chemosphere**, v. 51, n. 4, p. 253-263, 2003.

10. WHITE, D. M.; GARLAND, D. S.; NARR, J.; WOOLARD, C. R. Natural organic matter and DBP formation potential in Alaskan water supplies. **Water Research**, v. 37, n. 4, p. 939-947, 2003.

11. YOON, J.; CHOI, Y.; CHO, S.; LEE, D. Low trihalomethane formation in Korean drinking water. **Science of Total Environmental**, n. 302, p. 157-166, 2003.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AWWA; APHA; WEF. **Standard methods for the examination of water and waste water.** 20th ed. Baltimore, Maryland: [s.n.], 1998.

2. BELLAR, T. A.; LICHTENBERG, J. J.; KRONER, R. C. The occurrence of organohalides in chlorinated drinking waters. **Journal of American Water Works Association**, v. 66, n. 12, p. 703-706, 1974.

3. BORGES, J. T. A utilização da técnica MIMS na determinação de trihalometanos em águas de abastecimento e a influência do íon brometo, da amônia e de algas na formação desses compostos. Campinas: 2002. (Tese de Doutorado), Faculdade de Engenharia Civil, Unicamp, 2002.

4. BRASIL. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Ministério da Saúde.

5. EPA. **Method 524.2 - Measurement of Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography/Mass Spectrometry.** [S.I.]: United States Environmental Protection Agency, 1995.

6. HACH. **Odyssey DR 2500 Spectrophotometer**

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), pelo apoio à realização do trabalho; à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento da parte experimental da pesquisa (Processo 03/14036-5); à Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão das bolsas de mestrado.