

## I-018 - POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS NA ÁGUA DA LAGOA DE EXTREMOZ - RN

### **Rafaela Ribeiro de Oliveira<sup>(1)</sup>**

Graduada em Química pela UFRN. Mestranda do programa de pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, ênfase em Saneamento Ambiental do IFRN (PPgUSRN – IFRN).

### **André Luis Calado Araújo<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela UFPB. Mestre em Engenharia Sanitária pela UFPB. PhD em Engenharia de Saúde Pública pela *University of Leeds*. Professor do Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais do IFRN (PPgUSRN-IFRN). Professor do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN (PPGES-UFRN).

### **Marco Antônio Calazans Duarte<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Civil (UFRN, 1980). Mestre em Engenharia Civil (UFPB, 1999). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP, 2011). Ex-engenheiro e pesquisador da CAERN (1982-2016). Professor titular e membro do Núcleo de Pesquisas em Saneamento Básico do IFRN (1996 - ...).

### **Glauber José Turolla Fernandes<sup>(4)</sup>**

Graduado em Química pela UFRN. Mestre em Ciências com ênfase em Química Analítica pela USP. Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFRN. Doutor em Química pela UFRN. Pós-Doutor em Química da Atmosfera pelo INPE. Pesquisador do Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER). Professor do Mestrado em Engenharia do Petróleo e Gás da Universidade Potiguar - UNP/*Laureate International Universities*.

### **Yldenev Silva Domingos<sup>(5)</sup>**

Graduada em Química pela UFRN. Mestranda do programa de pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, ênfase em Saneamento Ambiental do IFRN (PPgUSRN – IFRN).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Lucia Viveiros, 255 - Neópolis - Natal - RN - CEP: 59086-005 - Brasil - Tel.: (84) 99617-4004 - e-mail: [rafaelaribeiro.o@hotmail.com](mailto:rafaelaribeiro.o@hotmail.com)

## RESUMO

O uso de desinfetantes em estações de tratamento de água é algo rotineiro, uma vez que visa à inativação de microrganismos patogênicos. As etapas de pré-oxidação e desinfecção da água durante seu tratamento merecem destaque devido à reação que ocorre entre o desinfetante utilizado, normalmente o cloro e a matéria orgânica natural presente nos mananciais. Esta reação produz os chamados subprodutos da desinfecção, compostos organo-halogenados, que são potencialmente prejudiciais à saúde. O presente trabalho tem como objetivo apresentar o estudo do potencial de formação de trihalometanos (PFTHM) resultante da aplicação de cloro na água bruta da lagoa de Extremoz-RN, bem como uma avaliação de seus precursores. Os resultados obtidos demonstram um forte potencial para formação de compostos organo-halogenados durante o processo de tratamento, bem como a matéria orgânica de características não húmicas. Entretanto, apesar dos resultados apresentarem uma forte potencialidade não necessariamente a formação de trihalometanos ocorrerá nos mesmos níveis dos detectados durante o estudo, pois as concentrações do desinfetante aplicado durante o tratamento são menores do que as utilizadas em estudos similares ao realizado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Trihalometanos, subprodutos, desinfecção, precursores.

## INTRODUÇÃO

A crescente contaminação observada em mananciais e corpos aquáticos responsáveis pelo abastecimento de água pode causar riscos a saúde pública. Diante desse cenário, cada vez mais, faz-se necessário pesquisas relacionadas a tecnologias de tratamento de água adequadas, com o intuito de fornecê-la de forma segura e com qualidade à população.

No Brasil, a utilização do cloro como pré-oxidante e desinfetante em estações de tratamento de água (ETA) é considerado um processo chave durante a produção de água potável, uma vez que são necessárias medidas de atendimento aos padrões de segurança microbiológica e de potabilidade estabelecidos pela Portaria 2914/2011

do Ministério da Saúde. Entretanto, a prática é questionada, devido a sua possibilidade de formação de subprodutos halogenados (QUAY; RODRIGUEZ; SÉRODES, 2004; ROSALÉM et al., 2012).

A reação do cloro residual livre com a matéria orgânica natural (MON) presente nos mananciais acarreta a formação dos chamados subprodutos da desinfecção/oxidação (SPD/SPO), dentre os quais trihalometanos (THM), considerados a principal classe de subprodutos da cloração formados, bem como indicadores da presença de outros compostos orgânicos nas águas. Os demais subprodutos orgânicos compreendem os ácidos haloacéticos, halocetonas, hidrato de cloral e cloropicrinas (LATIFOGLU, 2003; WHO, 2000).

Diante da necessidade de controle dos SPD a Portaria MS nº 2914/2011 define frequência mínima trimestral para análise das concentrações de THM e ácidos haloacéticos (HAAC) nos sistemas de abastecimento que utilizam águas captadas de mananciais superficiais. Os valores máximos permitidos (VMP) para a concentração de THM totais e HAAC na água potável são 0,1 mg/L e 0,08 mg/L, respectivamente. (BRASIL, 2012).

Os THM normalmente formados em águas são as espécies bromadas e cloradas e são considerados como indicadores da presença de outros compostos orgânicos nas águas. Os principais THM são clorofórmio ou triclorometano ( $\text{CHCl}_3$ ), diclorobromometano ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ), dibromoclorometano ( $\text{CHClBr}_2$ ) e bromofórmio ou tribromoetano ( $\text{CHBr}_3$ ) e a soma destes quatro compostos é denominada THM totais (LATIFOGLU, 2003).

A formação de SPD está fortemente associada com o tipo de fonte e tipo de tratamento aplicado à água. Os principais fatores na sua formação estão relacionados ao pH, tempo de contato, temperatura (que varia com a estação do ano), concentração e propriedades naturais da matéria orgânica natural, bem como a concentração de cloro livre (MEYER, 1994; NIKOLAOU; KOSTOPOULOU; LEKKAS, 1999).

A matéria orgânica natural (MON) presente nos mananciais é considerada o principal precursor na formação de SPD, e pode ser quantificada de forma indireta através dos ensaios de carbono orgânico total (COT) ou carbono orgânico dissolvido (COD). Além desses parâmetros, a MON pode ainda ser identificada através da medida da absorvância a 254nm ( $\text{UV}_{254\text{nm}}$ ), ou através da absorvância da radiação ultravioleta específica (SUVA). A SUVA consiste na razão entre a absorvância medida no comprimento de onda de 254nm em m-1 e a concentração de COD em mg/L (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

A lagoa de Extremoz é um importante manancial para o Estado do Rio Grande do Norte, localiza-se na região metropolitana de Natal sendo responsável pelo abastecimento de água de cerca de 300.000 habitantes. Desta forma, este trabalho visa contribuir com a geração de dados para a caracterização de um dos mais importantes mananciais do Estado, no que diz respeito a análise e avaliação da formação dos THM.

## OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo apresentar o estudo do potencial de formação de trihalometanos (THM) resultante da aplicação de cloro na água bruta da lagoa de Extremoz-RN, bem como a avaliação de seus precursores.

## METODOLOGIA

O estudo foi realizado utilizando a água bruta da lagoa de Extremoz, na bacia hidrográfica do rio Doce que recebe descargas ao sul do rio Guagirú e ao norte do rio Mudo. Localiza-se a aproximadamente 15 Km do município de Natal ( $35^\circ 18' 26'' \text{W}$  e  $5^\circ 42' 20'' \text{S}$ ) e é utilizada pela Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN) como fonte de água para abastecimento para cerca de 300.000 habitantes da cidade do Natal, além de ser utilizada para fins de recreação (JERÔNIMO; SOUZA, 2013; NATAL, 2009).

Embora sofra diversas influências de atividades antrópicas, estudos realizados por Jerônimo e Souza (2013), relacionados à qualidade da água da lagoa de Extremoz, concluíram que ela é enquadrada na faixa de boa a ótima, considerando o IQA-CCME e o IQA-NFS como indicadores de qualidade da água. Entretanto, observaram cenários de riscos no que diz respeito a concentrações de cianobactérias e elementos que influenciam diretamente no custo de tratamento desta água, tais como alcalinidade, dureza, turbidez e cor.

Para a investigação da potencialidade de formação de subprodutos da desinfecção/oxidação (SPD/SPO), especificamente THM, foi utilizada a água bruta da Lagoa de Extremoz, coletada na chegada da Estação de Tratamento de água (ETA) Extremoz, que é operada pela CAERN. Neste ponto não há adição de nenhum produto químico.

A investigação se deu através do ensaio de potencial de formação de THM conforme a metodologia 5710 – *Formation of trihalomethanes and other disinfection by-products* (APHA *et al.*, 2012). Para tanto, as amostras de água bruta foram cloradas com uma dosagem de cloro conhecida, sob condições padrão de tempo de reação, temperatura e pH, conforme especificado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Condições padrão para o estudo do potencial de formação de THM.**

VARIÁVEL	CONDIÇÃO
Concentração de cloro residual	Mínimo de 3 mg/L e máximo de 5 mg/L ao final de 7 dias
pH	7,0
Temperatura	25 ± 2°C
Tempo de reação	7 dias

Fonte: adaptada de APHA *et al.* (2012).

O cloro residual livre foi medido pelo método colorimétrico DPD (Método 10069, HACH) utilizando um espectrômetro de UV/VIS (modelo DR 5000, HACH), a quantificação da concentração de THM foi realizada de acordo com a metodologia EPA 551.1 – *Determination of chlorination disinfection byproducts, chlorinated solvents, and halogenated pesticides/herbicides in drinking water by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron-capture detection* da *United States Environmental Protection Agency* (USEPA, 1995), utilizando cromatógrafo a gás modelo Trace CG Ultra NPD/ECD, *Thermo Scientific*.

Além do estudo de potencialidade de formação de THM, foram monitorados os principais precursores de THM através dos ensaios de: i) absorvância específica a 254 nm, através da metodologia APHA 5910, utilizando espectrofotômetro na região do UV/VIS (modelo Cary 50, Varian), ii) cor aparente/verdadeira através da metodologia APHA 2120 utilizando colorímetro portátil (modelo DM-COR, Digimed), iii) carbono orgânico total/dissolvido (COT/COD) através da metodologia APHA 5310 e utilizando analisador de carbono orgânico total (TOC/ TN<sub>b</sub> Multi N/C, Analytikjena) e iv) turbidez através do método APHA 2130B, utilizando turbidímetro portátil (modelo 2100Q, HACH).

As coletas para o estudo do potencial de formação de THM e avaliação dos precursores foram realizadas no período de agosto a outubro de 2016, de acordo com os procedimentos de coleta, preservação e armazenamento de amostras especificados em APHA *et al.* (2012) e USEPA (1995).

## APRESENTAÇÃO/ANÁLISE DOS RESULTADOS

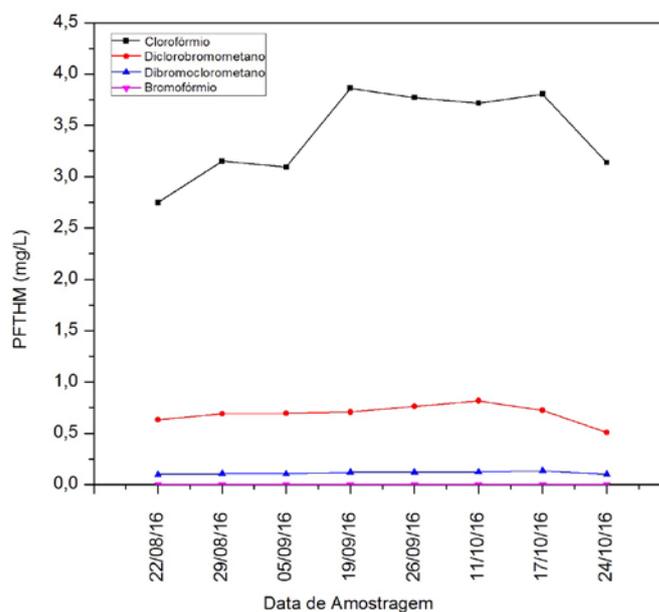
O potencial de formação de THM da água estudada foi determinado inicialmente através de ensaios com variações de dosagens de cloro que garantissem um excesso de residual de cloro livre após 7 dias de reação. As dosagens de 5,0, 10,0, 15,0, 17,5, 20,0 e 30,0 mg/L de cloro resultaram residuais de 0,1, 0,4, 2,7, 3,8, 5,8 e 13,0 mg/L Cl<sub>2</sub> respectivamente, conforme apresentado na Tabela 2. Segundo a metodologia utilizada, após o tempo de reação de 7 dias, o residual livre de cloro deve estar entre 3,0 a 5,0 mg/L. Portanto, adotou-se a concentração de 17,5 mg/L para ser aplicada nos ensaios de potencial de formação de 7 dias, uma vez que esta concentração produziu um residual de cloro livre dentro do especificado (3,8 mg Cl<sub>2</sub>/L).

**Tabela 2 - Resultados de cloro residual livre com tempo de contato de 7 dias a 25 °C para determinação da dosagem de cloro e confirmação de residual livre persistente.**

TIPO DE CLORO	DOSAGEM (mg Cl <sub>2</sub> /L)	CLORO RESIDUAL LIVRE APÓS 7 DIAS (mg Cl <sub>2</sub> /L)
Solução Padrão de Cloro 5.000 mg/L, marca Specsol.	5,0	0,1
	10,0	0,4
	15,0	2,7
	<b>17,5</b>	<b>3,8</b>
	20,0	5,8
	30,0	13,0

Conforme o método APHA 5710, o potencial de formação de trihalometanos (PFTHM ou  $\Delta$ PFTHM) pode ser determinado pela diferença entre a concentração final de trihalometanos totais (THMT) e a concentração inicial (TTHM<sub>0</sub>), sendo chamado de  $\Delta$ PFTHM ou, caso as concentrações iniciais sejam próximas a zero, o potencial de formação corresponde apenas a concentração final dos 7 dias de reação, neste caso sendo chamado de PFTHM. Desta forma, os resultados apresentados correspondem ao PFTHM, uma vez que as concentrações de TTHM<sub>0</sub> na água bruta foram próximas à zero.

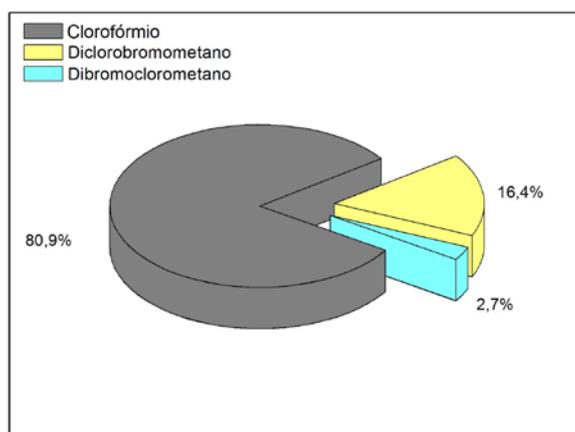
Os resultados dos ensaios experimentais de PFTHM para o período estudado corresponde à concentração média de 4,22 mg/L, com concentração máxima de 4,69 mg/L e mínima de 3,48 mg/L. A Figura 1 apresenta as concentrações, por composto (clorofórmio, diclorobromometano, dibromoclorometano e bromofórmio) que compõe os THM durante o período estudado.



**Figura 1 – Resultados do estudo do PFTHM obtidos por análise cromatográfica, na água da lagoa de Extremoz.**

Dentro do limite de detecção da metodologia analítica empregada o parâmetro que apresentou valor mais significativo foi o clorofórmio com concentração média para o período estudado de 3,41 mg/L, seguido do diclorobromometano e dibromoclorometano com concentrações médias de 0,69 mg/L e 0,11 mg/L, respectivamente. Quanto às concentrações de bromofórmio, estas não puderam ser quantificadas, pois apresentaram-se abaixo do limite de quantificação do método.

A Figura 2 apresenta a avaliação individual de cada parâmetro que compõe os THM, nela observa-se que 80,9% dos THM formados consistem no clorofórmio, 16,4% representa o diclorobromometano e 2,7% representa o dibromoclorometano. Os resultados foram semelhantes aos obtidos por Pardo (1996), que identificou a formação de cerca de 85% a 63,89% de clorofórmio, indicando desta forma a preponderância da formação do deste THM em relação aos demais. Também foi verificada a formação em menor quantidade dos THM bromados, o que indica quase ausência do íon brometo na água estudada.



**Figura 2 – Valores da avaliação do potencial de formação individual dos compostos que compõem os THM após 7 dias em percentual, na água bruta da lagoa de Extremoz.**

De acordo com Latifoglu (2003), THM são utilizados como indicadores da presença de outros compostos orgânicos nas águas. Os resultados encontrados indicam que a água da lagoa de Extremoz possui forte potencialidade de formação de subprodutos da desinfecção.

Em comparação com o limite máximo permitido pela Portaria 2914 de 12 de dezembro de 2011 do Ministério da Saúde, o valor médio encontrado de THM é aproximadamente 42 vezes maior que o VMP para água potável, que é de 0,1 mg/L. Tal fato, entretanto, não significa que serão formados valores tão elevados quanto estes durante o processo de tratamento de água. Desta forma, os resultados obtidos podem ser considerados como um alerta para o sistema de abastecimento de água, bem como uma proposta na operação da ETA na previsão e controle da formação de SPD/SPO.

A cor aparente/verdadeira, absorvância específica a 254 nm, carbono orgânico total (COT), representam a indicação de constituintes orgânicos na água considerados como principais responsáveis pela reação de formação de THM.

A absorvância específica na região do ultravioleta (SUVA) a 254 nm consiste na razão entre a absorvância medida no comprimento de onda de 254nm em  $m^{-1}$  e a concentração de COD em mg/L, conforme equação 1.

$$\text{SUVA (L/mg - m)} = 100 \text{ (cm.m}^{-1}\text{)} [\text{UV}_{254\text{nm}} \text{ (cm}^{-1}\text{)} / \text{COD (mg.L}^{-1}\text{)}] \quad \text{equação (1)}$$

A Tabela 3 apresenta os resultados dos precursores dos THM em forma dos valores médios, máximos e mínimos para o período estudado.

**Tabela 3 – Resultados médios, máximos e mínimos dos precursores de THM analisados na água bruta da lagoa de Extremoz.**

	<b>MÉDIA</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MÍNIMO</b>
<b>SUVA (L/mg-m)</b>	2,31	3,72	1,83
<b>Cor Aparente (uH)</b>	19,4	22,5	17,4
<b>Cor Verdadeira (uH)</b>	11,3	12,5	10,0
<b>COD (mg/L)</b>	5,28	5,64	4,76
<b>COT (mg/L)</b>	6,53	6,96	5,61
<b>Turbidez (UNT)</b>	1,54	1,77	1,43
<b>UV<sup>7,0</sup><sub>254nm</sub> (cm<sup>-1</sup>)</b>	0,1226	0,2056	0,0968

LEGENDA: SUVA – absorvância específica na região do ultravioleta; COD – carbono orgânico dissolvido; COT – carbono orgânico total; UV<sup>7,0</sup><sub>254nm</sub> – absorvância a 254 nm.

Segundo Duarte (2016) níveis bastante elevados de floração de algas podem ser detectados em algumas partes do manancial, isto explica o valor médio de 6,53 mg/L de COT encontrado.

Como forma de prevenção e redução da formação de SPD/SPO, a USEPA (1999) sugere que os valores para SUVA a 254 nm não sejam superiores a 2 L/mg-m. Os resultados obtidos demonstram que durante o período estudado apenas 27,3% dos valores encontraram-se abaixo do recomendado.

Os resultados obtidos podem ser classificados segundo Edzwald e Van Benschoten (1990) como matéria orgânica de origem não húmica, tendo em vista que os valores obtidos encontram-se abaixo de 4,0 L/mg-m. Isto indica também que COD é composto em sua maior parte por características menos aromáticas e com menor peso molecular em comparação com águas com valores de SUVA mais elevados. Segundo Piccolo (2002), a matéria orgânica é relativamente hidrofílica, ou seja, a matéria orgânica é basicamente composta de ácidos fúlvicos.

Os resultados obtidos para cor e turbidez são considerados baixos e de acordo com a Resolução CONAMA n° 357 de 17 de março de 2005, a água do manancial poderia ser enquadrada como água doce, classe 1, embora estes dois parâmetros não sejam suficientes para uma classificação adequada.

## **CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES**

Embora tenha sido observada a formação de concentrações elevadas de THM durante o período estudado, estes valores não significam que a água após o tratamento terá concentração de trihalometanos equivalente. Primeiramente porque as dosagens de cloro utilizadas durante o tratamento são inferiores à utilizada em estudos de potencial. Segundo, porque as etapas que antecedem a etapa de desinfecção tem a finalidade de redução da matéria orgânica natural presente nos mananciais, considerada um dos principais precursores para a formação de THM. Deste modo, as avaliações de potencial de formação de THM, normalmente são utilizadas como uma forma de alerta e prevenção para sistemas de abastecimento de água.

Os precursores monitorados mostraram a presença de matéria orgânica não húmica com características hidrofílicas que correspondem à preponderância de ácidos fúlvicos e a presença da matéria orgânica natural, quantificada pelo carbono orgânico total, pode ser explicada principalmente por densidades de algas presentes no manancial.

## AGRADECIMENTOS

À Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN) pela disponibilidade de realização da pesquisa em uma de suas estações de tratamento de água.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento do Projeto Caracterização de Resíduos Líquidos Gerados em Instalação Piloto de Dupla Filtração e em ETA de Ciclo Completo em Escala Real (467848/2014-9), ao qual esta pesquisa faz parte.

Ao Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER) pela infraestrutura disponibilizada para a realização dos ensaios de THM, COT/COD e UV<sub>254nm</sub>.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA e WEF - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods: for the examination of water and wastewater. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012.
2. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n° 2914, de 14 de dezembro de 2011. Descreve os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, p. 43 – 49, 2 jan. 2012. Seção 1.
3. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, p. 58 – 63, 18 mar. 2005. Seção 1.
4. DI BERNARDO, L; DANTAS, A. D.B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2. ed. São Paulo: Rima, 2005.
5. DUARTE, M. A. C. (coord.). Estudo do potencial de formação de trihalometanos em águas de mananciais da região metropolitana de Natal/RN. Natal, MCTI/CNPq; 2016 (Projeto de Pesquisa Científica).
6. EDZWALD, J. K; VAN BENSCHOTEN, J. E. Aluminum coagulation of natural organic matter. In: HAHN, H. H; KLUTE, R. (Ed.). Chemical water and wastewater treatment. Springer-Verlag, 1990. P. 341-359.
7. JERÔNIMO, C. E. M.; SOUZA, F. R. S. *Determinação do índice de qualidade da água da lagoa de Extremoz-RN: série temporal e correlação a índices pluviométricos*. Rev. Elet. em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental. v. 10, n. 10, 2013.
8. LATIFOGLU, A. *Formation of trihalomethanes by the disinfection of drinking water*. Indoor and Built Environment, v. 12, n. 6, p. 413 – 417, 2003.
9. MEYER, S. T. *O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública*. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 99 – 110, 1994.
10. NATAL. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. Natal em dados 2009. Natal, SEMURB: 2009.
11. NIKOLAOU, A. D.; KOSTOPOULOU, M. N.; LEKKAS, T. D. *Organic by-products of drinking water chlorination*. Global Nest Journal, v. 1, n. 3, p.143-156, 1999.
12. PARDO, S. D. A. Avaliação do potencial de formação de trihalometanos em sistemas de abastecimento de água. 1996. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
13. PICCOLO, A. *The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science*. Advances in Agronomy, v. 75, p.57-134, 2002.
14. QUAY, C.; RODRIGUEZ, M.; SÉRODES, J. *Using ozonation and chloramination to reduce the formation of trihalomethanes and haloacetic acids in drinking water*. Desalination, n. 176, p.229 – 240, 2004.
15. ROSALÉM, S. F. et al. *Avaliação de trihalometanos formados na etapa de pré-oxidação com cloro e permanganato de potássio em água de abastecimento*. Revista Dae, n. 191, p.54 – 59, 2012.
16. USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Alternative disinfectants and oxidants guidance manual, USEPA: 1999.

17. USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. EPA 551.1: Determination of chlorination disinfection byproducts, chlorinated solvents, and halogenated pesticides/herbicides in drinking water by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron-capture detection. Ohio, 1995.
18. WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Environmental health criteria 216: disinfectants and disinfectant by-products. Geneva: WHO, 2000.