

## II-166 - AVALIAÇÃO DA FORMAÇÃO DE THM EM EFLUENTE SANITÁRIO SECUNDÁRIO DESTINADO AO REUSO COM O EMPREGO DE DIFERENTES TIPOS DE CLORO

**Talita Rafaella da Silva Boldrin Dias**

Engenheira Química e Mestre em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Ribeirão Preto - UNAERP

**Thais do Prado Silva**

Aluna de iniciação científica do curso de Engenharia Química pela Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP-Ribeirão Preto-SP

**Junia Babone Saraiva**

Aluna de iniciação científica do curso de Engenharia Química pela Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP-Ribeirão Preto-SP

**Cristina Filomena Pereira Rosa Paschoalato<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química, Mestre e Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC-USP) e Docente pela UNAERP - Ribeirão Preto-SP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua do Professor, nº 536 apto.123 Jd. São Luis Ribeirão Preto – SP; CEP: 14020-280. Tel.: (16) 981154139 E-mail: cpaschoa@unaerp.br

### RESUMO

Com objetivo de avaliar a formação de trihalometanos (THM) em efluente sanitário tratado por processo biológico de lodos ativados, com o uso de quatro desinfetantes clorados, sendo o hipoclorito de sódio, o hipoclorito gerado *in loco*, o dicloroisocianurato de sódio (DCIS) e o ácido tricloroisocianúrico (ATCI), realizou-se a caracterização do efluente sanitário para avaliar se o tratamento biológico empregado na Estação de Tratamento de Efluentes atende às Normas de reuso vigentes nos EUA e no Brasil, (USEPA, 2004), NBR 13.969 (ABNT, 1997) e Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 (SÃO PAULO, 2017). Foram realizados ensaios com dosagem única de 50 mg/L de cloro com tempo de contato de 24 horas, a fim de comparar os quatro desinfetantes quanto a formação de THM e ao Carbono orgânico. De acordo com os resultados, verificou-se que o tratamento biológico do efluente não é suficiente para atender plenamente à legislação supracitada e comprovou-se que com o uso dos desinfetantes DCIS e ATCI ocorreu a elevação da concentração de carbono orgânico total e dissolvido (COT e COD) no efluente tratado, bem como a maior formação de THM. Os ensaios de dosagem única com 50 mg/L de cloro realizados para os quatro desinfetantes indicam a elevação da concentração de COT e COD quando são utilizados os desinfetantes clorados orgânicos DCIS e ATCI, que além potencializar a formação THM e de outros subprodutos ainda desconhecidos e possivelmente, tão perigosos ao ser humano quanto aos mencionados na Portaria de Consolidação do MS nº 5 (2017).

**PALAVRAS-CHAVE:** Trialometanos, reuso, efluente secundário, cloro.

### INTRODUÇÃO

A crescente diminuição da disponibilidade hídrica e a ocorrência sazonal de escassez, alertam para a necessidade de aplicação de tecnologias alternativas no tratamento de água e de efluentes sanitários, com vistas ao reuso, que é considerado parte do uso racional da água, bem como o controle de perdas e desperdícios e a minimização do uso de água e na geração de efluentes.

Água de reuso é o aproveitamento de águas previamente utilizadas uma ou mais vezes em alguma atividade e que serve para prover as necessidades de outros usos em substituição à fonte de água normalmente explorada podendo ser feita de forma direta ou indireta, planejada ou não planejada, pois contribui com a redução do volume de água captado no manancial e do efluente gerado pela indústria (MIERZWA e HESPAHOL, 2005). O Governo do Estado de São Paulo publicou uma Resolução Conjunta com a Secretaria de Estado da Saúde (SES), Secretaria do Meio Ambiente (SMA) e Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos (SSRH) nº 01 em 28 de junho de 2017, que especifica o reuso não potável para fins urbanos, com destaque especial para o cloro

residual total não mencionado nas normas supracitadas. Todos os parâmetros dessa Resolução estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1 Padrões de qualidade e categorias de reuso da Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 (2017)**

| Padrões de Qualidade                                  |                     | Categorias de Reuso  |  |
|---|---------------------|--|--|
| Parâmetro   | Unidade             | Uso com restrição controlada   | Uso com restrição severa                           |
| pH  | adimensional        | 6 a 9  | 6 a 9  |
| Demanda Bioquímica de Oxigênio<br>DBO <sub>5,20</sub> | mg/L O <sub>2</sub> | ≤10  | ≤30  |
| Turbidez  | uT                  | ≤2   | -  |
| Sólidos Suspensos Totais                              | mg/L                | -  | <30  |
| Coliformes Termotolerantes                            | UFC/100mL           | Não detectável   | <200   |
| Ovos de Helmíntos                                     | ovo/L               | <1   | 1  |
| Cloro Residual Total                                  | mg/L                | <1   | <1   |
| Condutividade Elétrica                                | µS/cm               | <0,7   | <3,0   |
| Razão de Adsorção de Sódio                            | -                   | <3   | 3 - 9  |
| Sólidos Dissolvidos Totais                            | mg/L                | <450   | <2.000   |
| Cloreto   | mg/L                | <106 (apenas para uso em irrigação)  | <350   |
| Boro  | mg/L                | <0,7   | <2,0   |
| Distâncias de precaução                               | m                   | 70 (para poços de captação de água potável)<br>Tratamento secundário,<br>desinfecção e filtração.<br>Este tratamento não poderá ter níveis<br>mensuráveis de patógenos (vírus,<br>bactérias e protozoários). | Tratamento secundário,<br>desinfecção e filtração. |
| Tipo de tratamento                                    |                     |  |  |

Fonte: Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 (SÃO PAULO, 2017).

Nas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) é comum o procedimento de desinfecção com cloro em uma parcela do efluente e denominar este efluente como água de reuso da ETE, ignorando a indesejável formação de subprodutos da desinfecção, principalmente os trialometanos (THM) e ácidos haloacéticos (AHA), substâncias reconhecidamente cancerígenas, que se formam quando se submete água com presença de matéria orgânica em contato com cloro.

Os produtos utilizados no processo de desinfecção são os derivados clorados inorgânicos, como cloro gasoso, hipoclorito gerado *in loco*, hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio, além dos derivados clorados orgânicos, representados no Brasil pelo dicloroisocianurato de sódio (DCIS) e ácido tricloroisocianúrico (ATIC), esses últimos com os usos em água autorizados pela Resolução ANVISA nº 150 (1999). O uso desses produtos é preocupante pois, por se tratar de compostos organoclorados, a presença de carbono na molécula desses produtos favorece o incremento das concentrações de carbono orgânico total e dissolvido na água ou efluente tratado, além da formação de subprodutos ainda desconhecidos.

Entretanto, até o ano de 1995, a cloração de esgoto bruto ou tratado era quase nula, em razões do elevado custo e deficiência na capacidade de tratamento em todo o país (MONTEIRO, 2005). Como o esgoto sanitário é rico em matéria orgânica, quando em contato com o cloro ocorre à formação de diversos subprodutos da desinfecção, pois irá consumir parte do cloro que seria necessário para destruição dos microrganismos (DEGRÉMONT, 1979).

Os principais subprodutos da desinfecção, e foco de estudo nesse trabalho, são os trialometanos (THM), que foram identificados ao longo dos anos em água com matéria orgânica em contato com cloro, grupo prescrito na Portaria de Consolidação do MS nº 5, Anexo XX (2017). Na Tabela 2 estão descritos nome comum, fórmula química e classificação de carcinogenicidade de acordo com a USEPA (1999). Os THM são notadamente carcinogênicos, poluem o ambiente, não são facilmente biodegradados, são persistentes e acumulam em sistemas aquáticos e no solo por infiltrações, neste caso, devido ao reuso de esgotos clorado para irrigação e recarga de aquífero (NARKIS e KOTT, 1992; USEPA, 1999).

Essa razão motivou a realização deste trabalho, que se propõe realizar uma avaliação da formação de THM, utilizando como matéria orgânica precursora o efluente sanitário do tratamento secundário de uma ETE em um município do interior do estado de São Paulo, Brasil, a fim de se obter água que atenda à legislação vigente quanto ao reuso direto não potável, e assim, identificar qual o desinfetante é capaz de formar menor quantidade de THM.

**Tabela 2. Principais subprodutos orgânicos halogenados identificados em água clorada que continha matéria orgânica, nomes comuns, fórmulas químicas e classificação carcinogênica**

| Trialometanos (THM) | Nome comum         | Fórmula química      | Câncer |
|---------------------|--------------------|----------------------|--------|
| Triclorometano      | Clorofórmio        | CHCl <sub>3</sub>    | B2     |
| Bromodíclorometano  | Diclorobromometano | CHBrCl <sub>2</sub>  | B2     |
| Clorodibromometano  | Dibromoclorometano | CHBr <sub>2</sub> Cl | C      |
| Tribromometano      | Bromofórmio        | CHCl <sub>3</sub>    | B2     |

Nota: **Grupos B**, provável carcinogenicidade humana: B1-evidência limitada em estudos epidemiológicos; B2-evidência suficiente por estudos com animais. **Grupo C**, possível carcinogenicidade humana: evidência limitada em estudos realizados em animais.

Fonte: adaptado de XIE, 2004; USEPA, 1999.

### Desinfetantes clorados

Devido ao seu baixo custo, efetividade na inativação de microrganismos, facilidade de aplicação e mantenedor de um residual constante na água tratada, é notória a vantagem da utilização do cloro inorgânico, na forma de cloro gás, hipoclorito e sódio ou de cálcio.

Sobre a utilização de geradores de hipoclorito *in loco* (HGIL), a produção da solução oxidante ocorre por uma eletrólise a partir de uma solução de salmoura a 3% que é injetada contínua e automaticamente na célula eletrolítica, onde ocorrem as reações eletroquímicas para a conversão do cloreto de sódio em hipoclorito de sódio, que além do cloro ativo, também possui peróxido de hidrogênio (HIDROGERON®, 2017).

Na década de 70 ganham destaque os compostos clorados orgânicos, que são produtos de reações do ácido hipocloroso com aminas, iminas, amidas e imidas, com destaque para o dicloroisocianurato de sódio (DCIS) e o ácido tricloroisocianúrico (ATIC) (DYCHDALA, 1991).

## MATERIAL E MÉTODOS

As coletas das amostras do efluente tratado foram feitas no sedimentador secundário da ETE após o esgoto ter passado pelo tratamento preliminar, primário e secundário, mas antes de ser desinfetado. Foram realizadas 11 coletas de água de estudo, com volume de 100 L cada, nas seguintes datas: 22/09/2016, 20/10/2016, 07/03/2017, 04/04/2017, 19/04/2017, 08/05/2017, 22/05/2017, 18/07/2017, 21/08/2017, 22/11/2017 e 28/11/2017. O critério para a realização das coletas foi o de fazê-las de maneira aleatória propositalmente, com o intuito de verificar a ocorrência de variações nas características do efluente tratado ao longo do ano.

A metodologia analítica empregada na caracterização do efluente da ETE seguem as orientações de APHA *et al.* (2012). Os parâmetros analisados foram: carbono orgânico dissolvido (COD), carbono orgânico total (COT), coliformes termotolerantes, DBO<sub>5,20</sub>, pH, sólidos dissolvidos totais, sólidos suspensos totais e turbidez.

Realizou-se o ensaio de dosagem única de cloro em triplicata com o uso de três frascos de vidro âmbar com capacidade de 1 L para cada desinfetante clorado. Os frascos foram preenchidos com aproximadamente 3/4 do seu volume com o efluente tratado e aplicada a mesma dosagem, sendo de 50 mg/L de cloro pré-determinada nos ensaios de demanda, para cada um dos quatro desinfetantes, além de 2 mL de solução tampão de fosfato para a obtenção de pH 7,0 para eliminar a interferência de pH na formação de THM.

Em seguida, os frascos foram fechados, agitados por alguns segundos para homogeneização e mantidos em repouso em temperatura de 25°C ± 2 por 24 horas. Após esse tempo, abriram-se os frascos e a amostra de cada um foi filtrada em papel de filtro comum para remoção de partículas em suspensão e a solução filtrada foi

avaliada. Os parâmetros analisados foram: cloro residual livre, carbono orgânico dissolvido, carbono orgânico total, pH e THM.

Na quantificação de THM foi utilizado um cromatógrafo a gás modelo 3600 CX (Varian) com detector por captura de elétrons (CG-DCE), conectado a um microcomputador com software para cromatografia Galaxie WS Ver. 1.9, o gás de arraste nitrogênio 5.0 DCE (White Martins), o sistema de injetor tipo *slit/splitless* acoplado em uma coluna primária Agilent J&W Scientific DB-1, 30 m de comprimento, 0,32 mm de diâmetro interno e 5 µm de filme e foi utilizada uma coluna secundária para confirmação Agilent J&W Scientific DB-1, 30 m de comprimento, 0,25 mm de diâmetro interno e 1 µm de filme.

As condições operacionais de cromatografia que resultou na separação e identificação dos 4 analitos e do padrão interno foram: fluxo do gás de arraste nitrogênio 5.0 DCE de 3,6 mL min<sup>-1</sup>, pressão de 15 psi; o injetor foi mantido a temperatura de 160°C e o detector a 290°C; a razão de divisão de fluxo (*split*) foi de 2:1; a temperatura do forno da coluna foi mantida a 40°C por 1 min, seguido de rampas de aquecimento de 10°C min<sup>-1</sup> até 130°C e de 25°C min<sup>-1</sup> até 150°C, permanecendo por 4,2 min. Técnica analítica adaptada do método 551.1 (USEPA, 1995).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da caracterização do efluente sanitário da ETE foram importantes para o conhecimento da qualidade do tratamento secundário, assim como as possíveis variações da qualidade da água de estudo. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados da estatística descritiva (número de dados, média aritmética, desvio padrão, mínimo e máximo e valor de referência para reuso) dos parâmetros analisados.

**Tabela 3. Resultados expressos em valores médios (n=3), desvio padrão (DP), mínimo e máximo do monitoramento do efluente sanitário da ETE e os valores de referência para reuso**

| Parâmetros                     | Unidades            | Nº | Média | DP    | Mínimo  | Máximo | VR*   |
|--------------------------------|---------------------|----|-------|-------|---------|--------|-------|
| Carbono orgânico dissolvido    | mg/L C              | 7  | 4,970 | 0,862 | 3,672   | 6,530  | NE    |
| Carbono orgânico total         | mg/L C              | 11 | 5,272 | 1,287 | 3,972   | 8,346  | NE    |
| Coli. Termotolerantes          | UFC/100 mL          | 11 | 656   | 608   | ausente | 2000   | < 1   |
| Demanda bioquímica de oxigênio | mg/L O <sub>2</sub> | 10 | 11    | 17    | <10     | 57     | <10   |
| Potencial hidrogeniônico (pH)  | adimensional        | 11 | 7,48  | 0,16  | 7,12    | 7,75   | 6 a 8 |
| Sólidos dissolvidos totais     | mg/L                | 11 | 238   | 49    | 173     | 373    | < 200 |
| Sólidos suspensos totais       | mg/L                | 11 | 8     | 127   | 0       | 24     | < 30  |
| Turbidez                       | uT                  | 11 | 5,41  | 3,21  | 2,73    | 14,80  | < 2   |

NE: Não estabelecido.

\*VR Reuso: Valores de referência (mais restrito) de acordo com USEPA (2004), NBR nº 13.969 (ABNT, 1997) e Resolução Conjunta do Estado de São Paulo SES/SMA/SSRH nº 01 (2017).

Os parâmetros COD e COT são medidas diretas para a quantificação da matéria orgânica presente no efluente tratado e servem como um indicativo da potencialidade de formação de subprodutos quando essa matéria orgânica entrar em contato com produtos clorados na etapa de desinfecção. Contudo, nenhum desses parâmetros estão previstos na Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 (SÃO PAULO, 2017).

Em relação aos coli. Termotolerantes, fica evidente a impossibilidade do reuso do efluente sanitário sem o emprego de uma tecnologia complementar ao tratamento biológico para a eliminação microbiológica. Como o valor médio para esse parâmetro foi de 656 UFC/100 mL, o padrão requerido na Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 (SÃO PAULO, 2017) para reuso não foi atendido.

Para o parâmetro DBO<sub>5,20</sub>, como o valor médio obtido foi de 11 mg/L, o efluente sanitário tratado só poderia ser empregado em situações que aceitem valores de DBO até 30 mg/L, de acordo com a Resolução Conjunta.

O resultado do parâmetro pH se enquadra dentro da faixa estabelecida na Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 (2017) e os parâmetros SDT e SST, com resultados médios de 238 mg/L e 8mg/L respectivamente, também atendem à mesma legislação.

Quanto à turbidez, o resultado médio não atende à legislação mencionada.

Em suma, a tecnologia de tratamento biológico da ETE não é suficiente para atender a Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 (SÃO PAULO, 2017) quanto à ausência de Coli. Termotolerantes e turbidez  $\leq 2 \text{ uT}$ , o que deixa explícita a necessidade de, pelo menos, a utilização da etapa de desinfecção e/ou um tratamento complementar, a fim de que o efluente tratado seja destinado ao reuso direto não potável de maneira segura.

#### Ensaios de dosagem única de cloro

Os resultados médios da caracterização do efluente sanitário após o ensaio de dosagem única de 50 mg/L de cloro para os quatro desinfetantes utilizados estão apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4. Resultados médios (n=3) da caracterização do efluente sanitário após o ensaio de dosagem única de 50 mg/L de cloro para os quatro desinfetantes analisados em um tempo de contato de 24 horas**

| Parâmetros após<br>24 horas | Unidades             | Hipoclorito de<br>sódio |       | HGIL   |       | DCIS   |       | ATCI   |       |
|-----------------------------|----------------------|-------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|                             |                      | Média                   | DP    | Média  | DP    | Média  | DP    | Média  | DP    |
| Cloro residual livre        | mg/L Cl <sub>2</sub> | 0,11                    | 0,05  | 0,07   | 0,02  | 24,00  | 4,33  | 13,07  | 3,75  |
| Carbono orgânico dissolvido | mg/L                 | 5,873                   | 1,089 | 5,578  | 1,131 | 13,373 | 0,541 | 18,167 | 1,118 |
| Carbono orgânico total      | mg/L                 | 6,665                   | 0,619 | 7,361  | 1,297 | 20,290 | 1,621 | 13,247 | 0,359 |
| pH                          | adimensional         | 7,49                    | 0,01  | 7,58   | 0,02  | 7,11   | 0,10  | 6,65   | 0,04  |
| Clorofórmio                 | µg/L                 | 102,63                  | 39,53 | 126,93 | 22,97 | 635,22 | 4,40  | 440,05 | 22,80 |
| Bromodíclorometano          | µg/L                 | 5,10                    | -*    | 2,74   | -*    | 53,60  | 1,75  | 33,89  | 1,93  |
| Dibromoclorometano          | µg/L                 | <0,01                   | -     | <0,01  | -     | <0,01  | -     | <0,01  | -     |
| Bromofórmio                 | µg/L                 | <0,01                   | -     | <0,01  | -     | <0,01  | -     | <0,01  | -     |

\*Apenas uma das análises da triplicata resultou em valor maior que zero; por isso não existe desvio padrão nesse caso

O valor mínimo de CRL recomendado pela USEPA (2004) para reuso é de 1,0 mg/L e esse parâmetro foi atendido, porém em excesso, apenas para os desinfetantes DCIS e ATIC; já os desinfetantes hipoclorito de sódio e HGIL não atenderam ao recomendado na referida legislação.

Em relação ao valor médio do COD do efluente bruto (4,970 mg/L) e do COT (6,665 mg/L), em comparação aos resultados obtidos após os ensaios de dosagem única, nota-se uma pequena elevação da concentração de carbono para os desinfetantes hipoclorito de sódio e HGIL e significativo aumento da concentração de carbono para os desinfetantes DCIS e o ATIC.

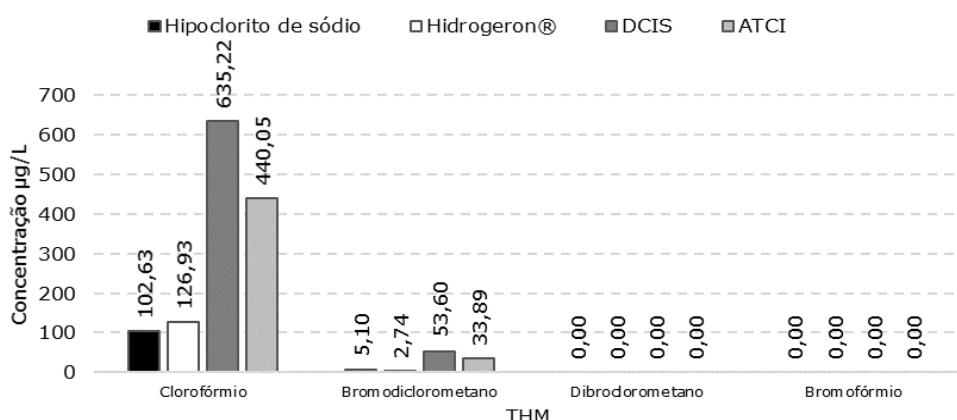
Assim, ficou evidente que o uso dos desinfetantes DCIS e ATIC em contato com o efluente bruto, devido à presença de carbono em suas moléculas, gerou importante aumento nos valores de COD e COT, que posteriormente servirão como precursores da formação de SOH. O valor de COT ter sido menor que o de COD para o desinfetante ATIC pode ser justificado pela necessidade de diluição associado a elevada sensibilidade do método analítico de carbono bem como uma possível volatilização do produto clorado da amostra.

Em relação aos resultados de pH, todos os desinfetantes analisados atenderam à Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01 (SÃO PAULO, 2017), que estabelece uma faixa de 6 a 8. Os compostos clorados hipoclorito de sódio e HGIL aumentaram pouco o pH médio do efluente bruto (7,48). O DCIS abaixou o pH da amostra (7,11) e o ATIC abaixou ainda mais o pH do meio (6,65). Jordão e Pessoa (2005) dizem que quanto mais próximo de 6,0 for o pH do meio, maior a presença de ácido hipocloroso (97%) que íon hipoclorito (3%). Sendo o ácido hipocloroso mais desinfetante que o íon hipoclorito, o composto clorado capaz de proporcionar maior eficiência de diminuição microbiana foi o ATIC.

Na Figura 1 está apresentado o gráfico com os resultados médios dos THM formados no ensaio de dosagem única de 50 mg/L de cloro com o uso dos quatro desinfetantes clorados.

A formação dos compostos clorofórmio e bromodíclorometano ocorreu com a utilização de todos os quatro desinfetantes clorados em contato com o efluente tratado, com maior predominância nos desinfetantes

orgânicos, sendo o destaque do resultado de 635,22 µg/L de clorofórmio para o DCIS e 440,05 µg/L para o ATCI. Ambos os subprodutos são classificados como B2 na categoria de carcinogenicidade da USEPA (1999) com evidencia suficiente por estudos com animais.



**Figura 1. Resultados médios (n= 3) dos THM formados no ensaio de dosagem única de 50 mg/L de cloro com o uso dos quatro desinfetantes clorados**

## CONCLUSÕES

Dos parâmetros avaliados na caracterização do efluente sanitário da ETE quanto aos padrões de reuso, apenas o pH e os SST atenderam as Normas da USEPA (2004), NBR 13.696 (ABNT, 1997) e Resolução Conjunta SES/SMS/SSRH nº 01 (2017). Já o valor de DBO atendeu apenas a Norma com aceite até 30 mg/L e os Coli. Termotolerantes e turbidez não foram atendidos em nenhuma Norma que os menciona.

Os ensaios de dosagem única com 50 mg/L de cloro realizados para os quatro desinfetantes indicam a elevação da concentração de COT e COD quando são utilizados os desinfetantes clorados orgânicos DCIS e ATCI, que além potencializar a formação THM e de outros subprodutos ainda desconhecidos e possivelmente, tão perigosos ao ser humano quanto aos mencionados na Portaria de Consolidação do MS nº 5 (2017).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). *NBR nº 13.969: Tanques sépticos – unidade de tratamentos complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro, 1997.
2. American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20 th edition. Washington, USA, 2012.
3. BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *Resolução nº 150, de 28 de maio de 1999*.
4. BRASIL. Ministério da Saúde (MS). *Portaria de Consolidação nº 5, Anexo XX, de 28 de setembro de 2017*.
5. DEGRÉMONT, 1979. *Water Treatment Handbook*. New York: John Wiley & Sons.
6. DYCHDALA, G. R. Chlorine and chlorine compounds. In: BLOCH, S. S. (Ed.) *Disinfection, sterilization and preservation*. 4 th edition. Philadelphia: Lea & Febiger, 1991, p. 135-157.
7. HIDROGERON®. *Benefícios do gerador de hipoclorito in loco: Conceito, benefícios e vantagens*. Grupo Hidrogeron® Tecnologias para a Sustentabilidade. 2017.
8. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 4 ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005.
9. MIERZWA, J. C.; HESPAÑOL, I. Água na indústria – uso racional e reuso. *Oficina de Textos*. São Paulo, 2005.
10. MONTEIRO, P. C. G. *Viabilidade do uso da radiação solar na desinfecção da água*. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2005.
11. NARKIS, N.; KOTT, Y. Comparison between Chlorine Dioxide and Chlorine for Use as a Disinfectant of Wastewater Effluents. *Water Science and Technology*. v. 26, n. 7-8, p. 1483-1492, 1992.

12. SÃO PAULO (Estado). *Resolução Conjunta SES/SMA/SSRH nº 01, de 28 de junho de 2017.*
13. United States Environmental Protection Agency (USEPA). Method 551.1. *Determination of chlorination disinfection by-products, chlorinated solvents, and halogenated pesticides/herbicides in drinking water by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron-capture detection.* CD-ROM, Ohio USA, 1995.
14. United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Alternative Disinfectants and Oxidants Guidance Manual.* Washington. EPA 5-1 april, 1999.
15. United States Environmental Protection Agency (USEPA). *Guidelines for Water Reuse.* Cincinnati. EPA/625/R-92/04, Manual, Technology Transfer, 2004.
16. XIE, Y. F. Disinfection byproducts in drinking water. Formation, Analysis, and Control. CRCPRESS, p. 161, Florida, USA, 2004.