

II-568 - ESTUDO CINÉTICO DA DESINFECÇÃO DE ESGOTO SANITÁRIO TRATADO EM DECANTO-DIGESTOR SEGUIDO DE FILTRO ANAERÓBIO

Raíssa Sousa Barbosa⁽¹⁾

Tecnóloga em Processos Químicos pelo IFCE Campus Fortaleza.

Itálo Taeno Abreu

Tecnólogo em Gestão Ambiental pelo IFCE Campus Fortaleza. Mestrando em Tecnologia e Gestão Ambiental pelo IFCE Campus Fortaleza.

Raimundo Bemvindo Gomes

Engenheiro de Alimentos pela UFC. Especialista em Tecnologia de Produtos Pesqueiros pela UFC.

Adriana Guimarães Costa

Engenheira Sanitária pela UFPA. Mestre em Engenharia Civil pela UFPB. Doutora em Engenharia Civil pela UFC.

Hugo Leonardo de Brito Buarque⁽²⁾

Engenheiro Químico pela UFC. Mestre em Engenharia Química pela UFRN. Doutor em Física pela UFC.

Endereço: Instituto Federal do Ceará – Departamento de Química e Meio Ambiente. Av. Treze de Maio, 2081, Benfica, Fortaleza/CE - CEP: 60.040-215 - Brasil - Tel: (85) 3307-3646

E-mails: ⁽¹⁾ raissa_sousa_@hotmail.com; ⁽²⁾ hbuarque@ifce.edu.br

RESUMO

A cinética da desinfecção com hipoclorito de cálcio de efluentes oriundos de uma unidade decanto-digestor seguido de filtro anaeróbico (tratamento secundário anaeróbico) foi avaliada e modelada neste estudo. As amostras de esgoto utilizadas foram coletadas na ETE Pequeno Mondubim, localizada em Fortaleza/CE, logo após o tratamento biológico, durante o mês de maio de 2016. Análises físicas, químicas e microbiológicas foram realizadas, previamente aos ensaios de desinfecção, para a caracterização do efluente intermediário coletado. Os ensaios de desinfecção foram realizados em reator de bancada, utilizando 3 litros de efluente recém-coletado, sob agitação de 30 rpm e pH inicial $7,0 \pm 0,1$. As dosagens de cloro empregadas foram de 6, 9 e 12 mg L^{-1} e os tempos de contato de até 60 minutos. Assim, alíquotas em diferentes tempos de contato foram retiradas para os ensaios microbiológicos. O comportamento cinético do processo foi avaliado em termos do quantitativo de coliformes termotolerantes, empregando-se a lei de Chick. O efluente avaliado apresentou características típicas de efluente tratado anaerobiamente, com pH praticamente neutro, amônia total elevada e turbidez relativamente baixa. Os teores de coliformes termotolerantes também foram elevados ($\sim 10^6$ NMP/100 mL), evidenciando a importância de processos de desinfecção após o tratamento biológico empregado. Os teores de cloro conseguiram enquadrar o efluente conforme a legislação vigente, em tempo de contato inferior a 10 minutos. Os resultados obtidos também demonstraram que um modelo de primeira ordem pode adequadamente representar a cinética de decaimento patogênico para pequenos tempos de contato nas condições experimentais testadas.

PALAVRAS-CHAVE: Desinfecção, tratamento de esgoto, hipoclorito de cálcio, modelagem, reator anaeróbico.

INTRODUÇÃO

A percepção dos riscos de doenças associados à falta de serviços relacionados ao saneamento básico já é relatada há milênios pelo Homem. Isto foi comprovado há pouco mais de um século quando Louis Pasteur constatou a existência de agentes infecciosos responsáveis pelo desenvolvimento de doenças (LIBÂNIO, 2010).

Atualmente, os esgotos domésticos representam a principal pressão sobre os recursos hídricos do país, em função da falta de rede de coleta e tratamento ou do tratamento ineficiente dos esgotos coletados. O resultado disso são os lançamentos domésticos praticamente *in natura* nos corpos aquáticos, incorrendo na deterioração da qualidade da água do corpo receptor com consequências econômicas e sociais (BRASIL, 2012). Dados levantados na Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílio de 2012 (INSTITUTO BRASILEIRO DE

GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2013), revelaram ainda que as regiões Norte e Nordeste são as que apresentam os menores índices de domicílios com acesso à rede de coleta de esgoto sanitário ou fossa séptica (decanto-digestor) ligada à rede de coleta.

Ressalte-se que há pouco mais de uma década, iniciou-se uma política de incentivo ao saneamento básico na tentativa de amenizar a carência do tratamento dos esgotos sanitários, por meio da instalação de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) responsáveis por tratar a parcela orgânica do esgoto, na maioria dos casos utilizando tratamentos biológicos, de forma a evitar a disseminação da contaminação dos corpos hídricos e do solo, e prevenindo posteriores danos à saúde da população (VON SPERLING, 2005). Todavia, os tratamentos primários e secundários utilizados nas ETE por si só não garantem a ausência total de microrganismos patogênicos (SOBSEY, OLSON, 1983). Deste modo, a implantação de uma barreira eficiente de controle de patógenos oriundos de esgotos é algo indispensável e suscita a inclusão de processos de desinfecção nas plantas de tratamento de esgotos sanitários, a fim de contribuir para a qualidade do efluente final, visando benefícios ambientais, de saúde pública, dentre outros.

Segundo Campos (1993), a desinfecção de esgotos deve ser implantada em todos os locais onde haja risco à saúde humana, principalmente devido ao fato de se tratar de uma prática vantajosa em termos econômicos face aos benefícios gerados. Mencione-se neste ponto que o cloro é o agente desinfetante mais empregado para processos de tratamento de água, bem como para desinfecção de esgotos (LAPOLLI et al., 2005). Isso se deve ao seu baixo custo e fácil manuseio em relação aos demais produtos (CHERNICHARO, 2001). Ele pode ser encontrado comercialmente na forma gasosa, líquida ou sólida (hipoclorito de cálcio). A despeito disso, Campos (1993) destaca que o processo de desinfecção deve ter cada caso estudado em particular, uma vez que os mecanismos de desinfecção são complexos e dependem das propriedades físicas e químicas do desinfetante, das características do efluente a ser desinfetado (e.g., pH, turbidez), entre outros fatores.

Assim, considerando que em alguns estados brasileiros (e.g., Ceará), os esgotos sanitários são muitas vezes tratados em ETE constituídos por sistemas decanto-digestor seguido de filtro anaeróbio (TS+FA), os quais produzem efluentes com características peculiares, tais como elevados teores de patógenos e de compostos nitrogenados, este estudo teve como objetivo caracterizar o efluente de tratamento anaeróbio de uma planta com decanto-digestor seguido de filtro anaeróbio, bem como determinar e modelar, utilizando um modelo de primeira ordem (Lei de Chick), as curvas cinéticas de desinfecção com hipoclorito de cálcio desse efluente.

METODOLOGIA UTILIZADA

Coletas das Amostras

O presente estudo foi realizado com efluente do tratamento anaeróbio proveniente da ETE Pequeno Mondubim, pertencente à Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), situada no município de Fortaleza, CE. Esta ETE recebe os efluentes sanitários do conjunto habitacional Pequeno Mondubim, o qual apresenta mais de 3.000 habitantes. A unidade de tratamento preliminar da ETE é composta por gradeamento e caixa desarenadora, e o tratamento secundário biológico constituído por dois reatores anaeróbios decanto-digestores do tipo Imhoff, com tempo de detenção hidráulica de 2 horas, seguido por filtros anaeróbios e tanque de contato, formado por um canal com chicanas para um tempo de detenção de 45 minutos.

Todas as amostras de esgotos utilizadas foram coletadas depois do tratamento biológico (decanto-digestor seguido por filtro anaeróbio) entre 9h e 10h da manhã durante o mês de maio de 2016, em três campanhas de amostragem, em frascos limpos, secos, descontaminados e específicos para cada análise, conforme preconiza o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton et al., 2005). Essas amostras foram acondicionadas em caixas isotérmicas com gelo, para preservação e transporte adequado aos respectivos laboratórios de análises.

Caracterização das amostras de efluente tratado

Análises físicas, químicas e exames microbiológicos foram realizadas, previamente aos ensaios de desinfecção, para a caracterização do efluente biologicamente tratado, de acordo com os procedimentos descritos em Eaton et al. (2005). As análises realizadas foram: temperatura (TEMP), pH, turbidez (TURB), amônia total (AT), demanda química de oxigênio (DQO) e coliformes termotolerantes (CTT). Estas análises foram realizadas no

Laboratório de Processos e Análises Químicas (LQA) e no Laboratório de Limnologia e Microbiologia Ambiental (LMA-LAB) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará – Campus Fortaleza (IFCE). Os parâmetros analisados com os respectivos métodos analíticos utilizados estão apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Parâmetros analisados e correspondentes métodos analíticos.

PARÂMETRO	MÉTODO ^(*)	PRINCÍPIO ANALÍTICO
TEMP	2550 B	Termometria (filamento de mercúrio)
pH	4500-H B	Potenciometria (eletrodo combinado de pH)
TURB	2130 B	Nefelometria
AT	4500-NH ₃ B e C adaptado	Destilação preliminar em semi-micro-Kjeldahl e titrimetria
DQO	5220 C	Oxidação com Cr ₂ O ₇ ⁻ em refluxo fechado e titrimetria
CTT	9221 E	Tubos múltiplos com Meio A1 diferencial

Nota: ^(*) Método do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton et al., 2005).

Ensaio cinéticos de desinfecção

Os ensaios cinéticos de desinfecção foram conduzidos no LQA/IFCE. Este ensaios foram realizados em bancada de laboratório, utilizando um reator Tec-Bio-Flex (marca Tecnal) de 4,5 litros, ilustrado na Figura 1, com sistema de monitoramento e controle de agitação, temperatura, pH e cloro livre residual.



Fonte: www.tecnal.com.br

Figura 1- Ilustração do reator TEC-BIO-FLEX

No levantamento das curvas cinéticas foi utilizado um volume de 3 litros de efluente tratado recém-coletado, sob agitação constante de 30 rpm e o pH $7,0 \pm 0,1$. Estas condições operacionais foram obtidas a partir de uma otimização experimental não descrita nesse trabalho. As dosagens de hipoclorito de cálcio empregadas foram de 6, 9 e 12 mg Cl₂ L⁻¹ e os tempos de contato de até 60 minutos. Esta faixa de dosagem foi escolhida, pois de acordo com Tonon (2007), dosagens de Ca(ClO)₂ entre 6 e 12 mg Cl₂ L⁻¹ seriam suficientes para atingir os padrões de lançamento microbiológico, em termos de CTT, estabelecidos pela Portaria SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 (CEARÁ, 2002) e pela Organização Mundial de Saúde (1989). Após cada tempo de contato pré-estabelecido foram retiradas amostras para determinação do teor de CTT residual, seguindo o mesmo método já citado no Quadro 1. Estes ensaios microbiológicos foram realizados no LMA-LAB/IFCE.

Modelagem dos dados

Para a avaliação do comportamento cinético da eficiência do desinfetante em termos da inativação de patógenos, foi empregado o modelo de Chick (1908), por sua simplicidade, já que representa a idealização das reações complexas que ocorrem entre o agente desinfetante os microrganismos patogênicos, bem como uma análise estatística posterior do ajuste do modelo. Esse modelo obedece ao modelo de uma reação de primeira ordem, sendo representada através da Equação 1:

$$\frac{N}{N_0} = e^{-kt} \quad (\text{Equação 1})$$

em que **t** é o tempo de contato entre o desinfetante e os microrganismos; **N** é o número de microrganismos presentes na amostra em um dado tempo de contato; **N₀** é o número de microrganismos presentes na amostra em um dado tempo inicial ($t = 0$); **k** é o coeficiente de reação de 1ª ordem (variando com o tipo e concentração do desinfetante).

Foi empregado, nessa etapa de modelagem, para determinação da constante de velocidade a partir dos dados experimentais, o programa computacional Microcal Origin (versão 9.1) da OriginLab.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização das Amostras

Para o esgoto proveniente da planta de tratamento selecionada, o efluente apresentou temperatura sempre elevada no momento da coleta, em todas as campanhas, variando entre 30°C e 31°C. Durante todo o período de amostragem, a TEMP manteve-se dentro da faixa mesófila, o que é um fator importante para o tratamento anaeróbio, já que segundo Metcalf e Eddy (2016), a temperatura ótima para que as reações ocorram de forma satisfatória está na faixa mesófila (25°C a 35°C).

Em relação ao pH foi observada um efluente aproximadamente neutro, com valores variando de 7,2 a 7,6. A escolha do pH dos ensaios (pH 7) também levou em consideração essa característica do esgoto biologicamente tratado. É importante mencionar que o pH do sistema também favorece o crescimento da microbiota anaeróbia, pois o crescimento ótimo das bactérias metanogênicas, de acordo com Van Haandel e Lettinga (1994) e Metcalf e Eddy (2016), situa-se na faixa de pH entre 6,6 e 7,4. Segundo Ávila (2005), a faixa de pH considerada ótima para a digestão anaeróbia é na faixa de 6,8 a 7,5.

No que se refere à turbidez, foi observada uma variação de 12,8 NTU a 34,8 NTU ao longo das campanhas de coleta. Ávila (2005) avaliou a eficiência de um TS+FA, o esgoto sanitário era proveniente do Campus da Cidade Universitária da UFRJ, na Ilha do Fundão (RJ). Esse autor encontrou valores médios de TURB de 250 NTU, teores bem superiores aos encontrados neste estudo. Souza e Silva (2011) também obtiveram valores de TURB semelhantes ao encontrado por Ávila, com concentrações médias de TURB de 254 NTU. Tomando como base a turbidez obtida neste estudo, pode-se presumir uma pequena influência dos materiais suspensos na eficiência do processo de desinfecção destes esgotos, dados os relativamente baixos valores encontrados.

Nas amostras coletadas, houve uma variação na concentração de AT 8,4 mg NH₃-N/L a 19,6 mg NH₃-N/L. Valores semelhantes foram encontrados com Santos (2012), estudando o efluente de um decanto-digestor seguindo de filtro anaeróbio, com valores médios de 19,41 mg/L. Quando existem, no meio, amônia e compostos amoniacais, com a adição de cloro são formados compostos clorados ativos, denominados cloraminas. A adição de cloro em águas que contenham nitrogênio amoniacal poderá produzir uma série de reações, que dependerão da relação entre o cloro dosado e a amônia presente, do pH, da temperatura e do tempo de contato (ROSSIN, 1987).

Os valores de DQO no efluente intermediário analisado variaram entre 160 mg/L e 300 mg/L. Sousa e Silva (2011) e Andrade Neto et al. (2002), encontraram, respectivamente, valores médios de 461 mg/L e 325 mg/L, superiores aos aqui obtidos.

Os valores CTT obtidos para o esgoto tratado estiveram entre $3,3 \times 10^6$ e $4,9 \times 10^6$ NMP/100 mL. Estes valores encontram-se dentro da faixa proposta na literatura. De acordo com os estudos de Oliveira e Von Sperling (2005; 2011), a remoção de CTT em sistemas TS+FA, antes da cloração, varia em torno de uma unidade logarítmica. Os resultados mostram que os tratamentos biológicos anaeróbios não foram suficientes para a diminuição ou eliminação do CTT no efluente tratado, mostrando a importância da desinfecção nos esgotos sanitários.

Ensaio de desinfecção e modelagem

As densidades finais (N) de CTT após as concentrações aplicadas de hipoclorito de cálcio, nas dosagens de 6 a 12 mg L^{-1} nos diferentes tempos de contato, bem como a fração N/No (razão entre a densidade final e a inicial) dos mesmos microrganismos no efluente da ETE estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados cinéticos de inativação dos microrganismos, em termos de CTT, em efluente intermediário de ETE, a 25°C e pH 7,0, após dosagem de cloro nas concentrações de 6 a 12 mg L^{-1} e sob agitação de 30 rpm.

Tempo (min)	Teor de cloro aplicado					
	6 mg L^{-1}		9 mg L^{-1}		12 mg L^{-1}	
	N (NMP/100 mL)	N/No	N (NMP/100 mL)	N/No	N (NMP/100 mL)	N/No
0	$4,90 \times 10^6$	1,00000	$1,30 \times 10^7$	1,00000	$2,20 \times 10^6$	1,00000
1	$3,40 \times 10^5$	0,06939	$3,30 \times 10^4$	0,00254	$4,60 \times 10^2$	0,00021
2	$2,30 \times 10^4$	0,00469	$2,30 \times 10^3$	0,00018	$1,10 \times 10^2$	0,00005
3	$2,00 \times 10^4$	0,00408	$7,90 \times 10^2$	0,00006	$7,80 \times 10^1$	0,00004
5	$1,00 \times 10^4$	0,00204	$4,90 \times 10^2$	0,00004	$7,80 \times 10^0$	0,00000
10	$3,30 \times 10^3$	0,00067	$2,70 \times 10^2$	0,00002	$4,40 \times 10^0$	0,00000
15	$2,40 \times 10^3$	0,00049	$3,30 \times 10^2$	0,00003	$1,80 \times 10^0$	0,00000
30	$2,40 \times 10^3$	0,00049	$2,30 \times 10^2$	0,00002	$1,80 \times 10^0$	0,00000
60	$4,90 \times 10^2$	0,00010	$2,30 \times 10^2$	0,00002	$1,80 \times 10^0$	0,00000

Fonte: Este estudo.

Tomando como base os dados obtidos no estudo, pode-se notar que a remoção de CTT aumentou quando se aumentou a concentração do desinfetante aplicado no esgoto, como esperado para o processo, reduzindo-se o quantitativo de CTT a valores inferiores ao padrão legal estabelecido na norma estadual (CEARÁ, 2002), i.e. 5×10^3 NMP/100 mL, em um tempo de contato inferior a 10 minutos.

A partir dos valores da fração N/No obtidas experimentalmente, o modelo de Chick foi ajustado por regressão não linear no Programa Origin 9.1, obtendo-se os valores da constante cinética, k, para as três dosagens aplicadas de hipoclorito de cálcio. Estes valores são apresentados na Tabela 2.

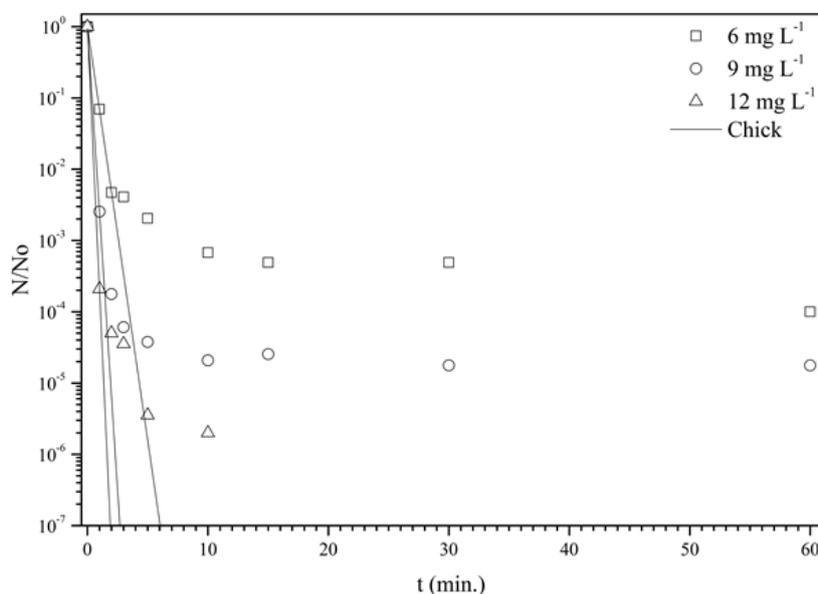
Tabela 2 – Valores do parâmetro cinético da lei de Chick estimados para a desinfecção do efluente estudado a 25°C e pH 7,0, com agitação de 30 rpm.

Dosagem aplicada de cloro		
6 mg L^{-1}	9 mg L^{-1}	12 mg L^{-1}
$2,6675 \pm 0,0512$	$5,9756 \pm 0,0618$	$8,4726 \pm 0,3447$

Nota: os valores que seguem o valor do parâmetro indicam a margem de erro da estimativa.

Fonte: Este estudo.

Os dados experimentais determinados juntamente com as curvas ajustadas da lei de Chick estão mostrados no diagrama da Figura 2.



Fonte: Este estudo.

Figura 2 - Curvas cinéticas de decaimento microbiano em efluente intermediário de ETE, a 25°C e pH 7,0, após dosagem de cloro nas concentrações de 6 a 12 mg L⁻¹ e sob agitação de 30 rpm: pontos são dados experimentais e a linha é o modelo de Chick ajustado aos dados.

Analisando-se o ajuste apresentado na Figura 2, pode-se notar que a aderência do modelo matemático representado pela lei de Chick, na faixa do decaimento inicial dos microrganismos, representa bem esta fase do processo, uma vez que se verifica que os valores calculados são bastante próximos dos valores observados. Na faixa de valores onde a razão N/N_0 é aproximadamente constante (maiores tempos de contato), quando a densidade de microrganismos é relativamente baixa, o modelo, como esperado, não pode ser usado na descrição do processo de desinfecção.

É fácil notar que a cinética do processo avaliada a partir dos valores do parâmetro k , cresce com o aumento da dosagem de cloro aplicado, o que também é esperado para a desinfecção. O conhecimento da taxa de inativação do microrganismo a ser eliminado pelo desinfetante utilizado, por meio de um modelo simples, é muito interessante para o dimensionamento e projeto de sistemas de desinfecção posteriores a tratamentos anaeróbios em decanto-digestores, muito empregados em ETE de países tropicais.

CONCLUSÕES

O efluente intermediário oriundo do decanto-digestor seguido de filtro anaeróbio aqui avaliado apresentou características típicas de efluente anaerobiamente tratado, apresentando pH aproximadamente neutro, elevado teor de amônia total e relativamente baixa turbidez. Também foi observada uma elevada densidade de microrganismos patogênicos, representados pelos elevados teores de CTT determinados ($\sim 10^6$ NMP/100 mL), evidenciando a importância de processos de desinfecção após esse tipo de tratamento em unidade de esgotamento sanitário.

Foi determinado que teores de hipoclorito de cálcio dosados na faixa de 6 a 12 mg L⁻¹ conseguem enquadrar o efluente a ser lançado, conforme estabelece a legislação vigente, em um tempo de contato inferior a 10 minutos. Os resultados obtidos também demonstraram que um modelo simples de primeira ordem (lei de Chick), podem adequadamente representar a cinética de decaimento de microrganismos (em termos de CTT) para pequenos tempos de contato, na faixa de concentrações de cloro e demais condições experimentais usadas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento – CNPq pelo apoio financeiro e pelas bolsas de iniciação tecnológicas (Processo nº 468875/2014-0), à CAGECE pelas contribuições técnicas e disponibilização da infraestrutura da ETE Pequeno Mondubim para coleta de efluentes, ao IFCE – Campus Fortaleza pelo suporte logístico para coleta de amostras e aos demais bolsistas e alunos voluntários que colaboraram de alguma forma nesse estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Agência Nacional das Águas. **Panorama da qualidade das águas superficiais no Brasil**. Brasília: SPRH/ANA, 2012. p. 207.
2. ÁVILA, R. O. **Avaliação do desempenho de sistemas tanque séptico-filtro anaeróbio com diferentes tipos de meio suporte**. 166f. 2005. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
3. ANDRADE NETO, C.O.; VAN HAANDEL A.C.; MELO, H.N.S. O Uso do Filtro Anaeróbio para Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios no Brasil. In: Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 10. 2002, Braga, Portugal. **Anais...** Braga: APESB/APRH/ABES, 2002. CD-ROM.
4. CAMPOS, J. R.. Uma abordagem sobre a desinfecção de esgotos no Brasil. In: Seminário Internacional sobre desinfecção de águas de abastecimento e residuárias em países em desenvolvimento, 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1993. p. 137-167.
5. CHERNICHARO, C. A. L. (coord.) **Pós Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**, [Projeto PROSAB]. Belo Horizonte: FINEP, 2001.
6. CEARÁ. Superintendência Estadual do Meio Ambiente. Portaria nº 154, de 22 de julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. **Diário Oficial do Estado [Ceará]**, Fortaleza, CE, 01 out. 2002.
7. CHICK, H. Investigations of the Laws of Disinfection, **The Journal of Hygiene**, v. 8 (1), p. 92-158, 1908.
8. EATON, A. D., CLESCERI, L. S., RICE, E. W., GREENBERG, A. E., FRANSON, M. A. H. **STANDARD methods for the examination of water and wastewater**. Centennial edition. Washington, DC, USA: American Public Health Association, 2005.
9. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios: síntese de resultados 2012**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
10. LAPOLLI, F. B.; HASSEMER, M. E. N.; CAMARGO, J. G.; DAMASIO, D. L.; LOBO-RECIO, M. A. Desinfecção de efluentes sanitários através de dióxido de cloro. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10 (3), p. 200-208, 2005.
11. LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ª ed. São Paulo: Átomo, 2010.
12. METCALF & EDDY. **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.
13. OLIVEIRA, S. M. A. C., VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETEs em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: análise de desempenho. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10 (4), p. 347-357, 2005.
14. OLIVEIRA, S. C.; VON SPERLING, M. Performance evaluation of different wastewater treatment technologies operating in a developing country. **Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development**, v. 1(1), p. 37-56, 2011.
15. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Directrices sanitárias sobre el uso de águas residuales em agricultura e aquicultura. Séries de reportagens técnicas**. 778. OMS, Genebra, 1989
16. ROSSIN, A. C. **Desinfecção**. In: **Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água (Tratamento de Água)**, Vol. 2, São Paulo: CETESB/ASCETESB, 1987.
17. SANTOS, L. R. **Pós-tratamento de efluentes de filtro anaeróbio precedido de tanque séptico por filtros aeróbios intermitentes de areia**. 2012. 74f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2012
18. SOUZA, R. O. SILVA, F. J. A Turbidez e cloro residual livre na monitoração de ETE tipo tanque séptico seguido de filtro anaeróbio. **Acta Scientiarum**, v. 33 (4), p. 407-413, 2011.

19. SOBSEY, M.D.; OLSON, B., **Microbial Agents of Waterborne Disease. in: Assessment of Microbiology and Turbidity Standars for Drink Water**, EPA 570-9-83-001, Office of Drink Water, Washington D.C., 1983
20. TONON, D. **Desinfecção de efluentes sanitários por cloração visando o uso na agricultura**. Dissertação (mestrado) Universidade Estadual de Campinas, Unicamp. 248p. , 2007.
21. VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente**. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1994.
22. VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 2005.