

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA APLICADA AO TRATAMENTO DE ÁGUA COM ALTA CONCENTRAÇÃO DE INDICADORES DE CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA

\* Eliezer Fares Abdala Neto<sup>1</sup>  
Marisete Dantas de Aquino<sup>1</sup>  
Alexandre Colzi Lopes<sup>1</sup>  
Arislete D. Aquino<sup>2</sup>

*HYDRODYNAMIC CAVITATION TO TREAT WATER WITH  
HIGH CONCENTRATION OF MICROBIOLOGICAL  
CONTAMINATION INDICATORS*

*Recibido el 26 de julio de 2012; Aceptado el 14 de diciembre de 2012*

### Abstract

Cavitation is an advanced oxidation process which consists in the formation and subsequent growing and implosion of cavities. The process generates large amounts of energy in a short period of time. Cavitation reactors constitute a widespread application in the area of chemical processing, water and effluent treatment and biotechnologies. The objective of this research was to investigate the effects of hydrodynamic cavitation caused by the use of a high speed homogenizer with an optimized flow rate, operating in continuous mode, in the disinfection of water containing high concentrations of total coliforms ( $19.33 \times 10^5$  MNP/100mL) and *Escherichia coli* ( $46.26 \times 10^4$  MNP/100ml). The raw water samples were collected and treated in 3 minutes interval, monitoring pressure, temperature, physico-chemical and microbiological parameters, following the general guidelines of Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Results show that the optimization of water flow supplied to the homogenizer has a direct influence in the time necessary to stabilize the boiling water temperature. Hence, cavitation constitutes a promising technology for treating drinking water supplies. Cavitation reduces contaminants concentration, highlighting the decrease achieved for nitrites and nitrates and the complete microorganisms inactivation (total coliforms and *Escherichia coli*), even for different and high initial concentrations, regardless of the chemical disinfection.

**Key Words:** Disinfection; Advanced oxidation process; Hydrodynamic cavitation.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará, Brasil

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná, Brasil

\* Autor correspondiente: Rua Carlos Vasconcelos, 472, Meireles. Fortaleza-CE CEP 60115-170, Brasil.  
Email: [superagua@superig.com.br](mailto:superagua@superig.com.br)

## Resumo

A cavitação se destaca como um processo oxidativo avançado caracterizada pela geração, subsequente crescimento e colapso de cavidades com elevada transferência de energia, em curto intervalo de tempo. Reatores de cavitação encontram ampla aplicação nas áreas de processamento químico, tratamento de água e efluentes e na biotecnologia, dentre outras. O objetivo da presente pesquisa foi de investigar os efeitos da cavitação hidrodinâmica provocado pelo emprego de um homogeneizador de alta velocidade com vazão otimizada, operando em modo contínuo, na desinfecção de água contendo elevada concentração de coliformes totais ( $19.33 \times 10^5$  NMP/100mL) e *Escherichia coli* ( $46.26 \times 10^4$  NMP/100mL). As amostras de água bruta e tratada foram coletas em intervalos de 3 minutos, monitorando pressão, temperatura, parâmetros físico-químicos e exames microbiológicos, seguindo as diretrizes gerais do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. O homogeneizador de alta velocidade, nas condições experimentadas, operando com 7900 rpm a uma vazão de 60 L/h, se apresenta como uma tecnologia promissora para o tratamento de água para abastecimento, pois foi capaz de reduzir concentrações de parâmetros físico-químicos com destaque para nitritos, dureza total, carbonatos e ferro, bem como a inativação completa dos microrganismos estudados (coliformes totais e *Escherichia coli*), mesmo para diferentes e elevadas concentrações iniciais, independente de desinfecções químicas.

**Palavras Chave:** Desinfecção; Processo oxidativo avançado; Cavitação hidrodinâmica.

---

## Introdução

A reação do cloro com ácidos fúlvicos e húmicos presentes na água leva a formação de trihalometanos, reconhecidos como poderosos depressores da saúde humana e cancerígenos (Souza e Daniel, 2005; Paschoalato *et al.*, 2008; Filho e Sakaguti, 2008). O uso de técnicas híbridas para tratamento de água, sem o uso de cloro, com destaque para a combinação de radiação UV/ozonização, ultra-som/ozonização e UV/Processo oxidativo avançado (POA), vem se destacando nos últimos anos (Hass *et al.* 1990; Paschoalato *et al.*, 2008).

Em contrapartida, uma técnica alternativa de desinfecção que vem despontando no cenário mundial para tratamento de água é a cavitação. A cavitação é um POA bastante utilizado no tratamento de água e efluentes, caracterizada pela geração de cavidades, com posterior crescimento e colapso de bolhas que liberam grandes quantidades de energia (Delmée, 2003; Jyoti e Pandit, 2004; Gogate 2007).

Os principais efeitos dos fenômenos de cavitação são a geração de condições de temperaturas e pressões muito elevadas com liberação de radicais livres altamente reativos e de geração de microturbulências, aumentando assim as taxas de fenômenos de transporte (Delmée, 2003; Jyoti e Pandit, 2004). Pode ocorrer de duas formas: uma devido à passagem de ondas sonoras de alta frequência, denominado de cavitação acústica (ultrasonificação) e outra devido a variações de pressão no líquido, que flui devido à mudança na geometria no sistema de fluxo, chamado cavitação hidrodinâmica (Delmée, 2003; Jyoti e Pandit, 2004), onde quedas de pressões localizadas que provocam a cavitação podem ser provocadas por restrições de área,

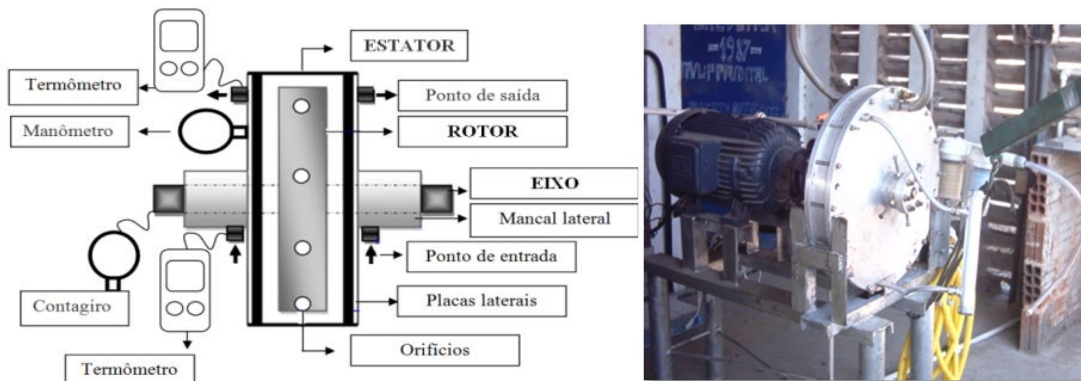
seja por válvulas ou por elementos primários de vazão intrusivos, tais como: placa de orifício, bocais e venturis, bem como por vórtex e turbinas (Gogate *et al.*, 2006; Jyoti e Pandit, 2001).

A eficácia da cavitação acústica por ultra-som induzindo ou, acelerando reações químicas é um conceito bem estabelecido. Por outro lado, o uso de cavitação hidrodinâmica para transformação física e química é mais indicado para aplicações que envolvem processamento contínuo, sendo útil na hidrólise de óleos graxos (Pandit e Joshi, 1993) e soluções poliméricas (Chivate e Pandit, 1993). Senthil Kumar *et al.* (2000); Moholkar *et al.* (1999) relataram que a geração de cavidades em um reator hidrodinâmico é muito dependente da concepção e da geometria do reatores. Os reatores de cavitação hidrodinâmica apresentam grande potencial de aplicação nos processos de desinfecção de água (Mason *et al.*, 1992). Jyoti e Pandit (2001); e Arrojo e Benedito, (2008) pesquisaram a cavitação hidrodinâmica para tratamento de água.

O objetivo da presente pesquisa foi investigar os efeitos da cavitação hidrodinâmica na desinfecção de água para consumo humano, com o emprego de um homogeneizador de alta velocidade operando em modo contínuo, avaliando a concentração de indicadores de contaminação microbiológica (coliformes totais e *Escherichia coli*), e parâmetros físico-químicos. A água de estudo proveniente de um poço, recebeu adição de parcelas de esgoto doméstico alcançando alta concentração de coliformes totais e *Escherichia coli*. Os resultados foram comparados com os limites estabelecidos pela Portaria

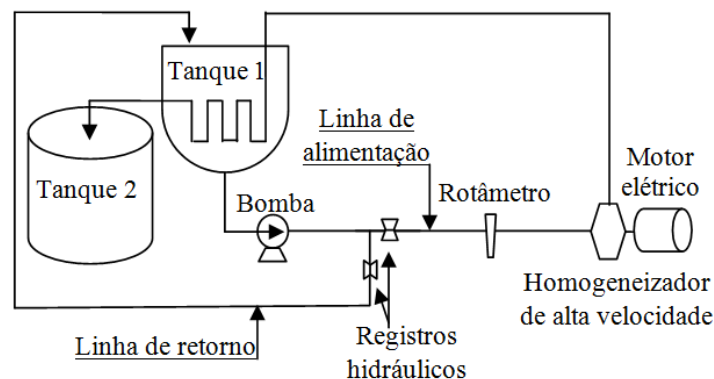
### Material e métodos

A Figura 1 apresenta o homogeneizador construído, sendo o eixo em aço inox 304 com 50.8 mm de diâmetro, o rotor em alumínio com 508 mm de diâmetro, 80 mm de espessura e com 26 orifícios de 18 mm de diâmetro e profundidade de 150 mm. A diferença entre o diâmetro interno do estator e o diâmetro externo do rotor ficou em 1.5 mm. Para a seleção da velocidade de rotação optou-se por seguir as conclusões de Jyoti e Pandit (2001), que realizaram experimentos conduzindo um homogeneizador de alta velocidade operando em baixas rotações, e a taxa de desinfecção foi igualmente baixa, a medida que a velocidade foi elevada o índice de desinfecção também aumentava. Este efeito foi observado entre 4000 e 8000 rpm. O efeito máximo observou-se a 8000 rpm, para velocidades acima de 8000 até 12000 rpm, ocorria uma queda na taxa de desinfecção. Portanto, o homogeneizador empregado nesta pesquisa operou com velocidade rotacional de 7900 rpm, acionado por um motor elétrico (de marca WEG) de 20 KW, 6 polos, tensão nominal de 380V-120Hz, acoplado a um inversor de frequência WEG-CFW 11. A pressão foi monitorada por um manômetro (marca *Famabras - Série FSG*), a temperatura por termômetro digital (Minipa), e para velocidade rotacional um contador de giro (marca Racetronix).



**Figura 1.** Conjunto de componentes empregados na concepção do homogeneizador de alta velocidade

O homogeneizador foi montado conforme a Figura 2, com dois reservatórios (tanque 1 e 2), bomba hidráulica, registros hidráulicos, homogeneizador e motor elétrico. O tanque 1 de 1500 L (diâmetro de 1830 mm e altura de 990 mm), serviu ao mesmo tempo como reservatório de água bruta e para resfriamento da água tratada. A sucção da bomba (marca Danfoss operando com 0.25 KW - 220 V), foi conectada ao ponto de saída do tanque 1, e o recalque seguiu por uma tubulação de PVC com  $\frac{3}{4}$  de polegadas de diâmetro, dividida em dois ramos conforme regulagem dos registros hidráulicos, sendo, uma dirigida a alimentação do homogeneizador e outra para retornar com o excedente ao tanque 1, conforme seleção da vazão a ser empregada ajustada pelo rotâmetro (marca Tecnofluid). Após a água ser submetida ao homogeneizador, esta seguiu por uma tubulação de cobre de  $\frac{1}{4}$  de polegada de diâmetro e 6 m de comprimento em espiral (submersa na água bruta no tanque 1), desta forma, a água bruta era pré-aquecida e formava-se na tubulação o condensado de água tratada que seguia até o tanque 2 (capacidade de 200 L).



**Figura 2.** Montagem do experimento com o homogeneizador de alta velocidade

Os experimentos foram realizados na Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, laboratório de saneamento - LABOSAN. A água de estudo foi proveniente de poço profundo, sem tratamento prévio, apresentando concentração média para coliformes totais de  $2.89 \times 10^6$  (NMP/100ml) e *Escherichia coli* com  $1.20 \times 10^6$  (NMP/100mL), na qual realizou-se inoculações de 800 mL de esgoto bruto, de origem doméstica, a cada 250 L de água utilizada. Desta forma foi possível obter uma concentração média de  $10^4$  (NMP/100ml) de *Escherichia coli* e  $10^5$  (NMP/100ml) de coliformes totais, proporcionando alta concentração de indicadores de contaminação microbiológica na água de estudo, denominada de água bruta inoculada. Os experimentos foram realizados em modo contínuo, divididos em duas etapas. Na 1ª etapa foram 10 ensaios com o homogeneizador operando por 39 minutos, com monitoramento a cada 3 minutos da temperatura e pressão, para cada uma das seguintes vazões: 40, 60, 80 e 100 L/h. Na 2ª etapa foram realizados 10 ensaios com o homogeneizador operando com a vazão otimizada (60 L/h), por 25 minutos. Os métodos analíticos seguiram as diretrizes gerais do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). Foram analisados tanto para água bruta inoculada como tratada, o pH, condutividade, sólidos totais, alcalinidade, dureza, oxigênio consumido, sódio, magnésio, ferro, carbonatos, nitrato e nitrito. E realizados exames dos indicadores de contaminação microbiológica: *Escherichia coli* e coliformes totais. Os tempos de operação escolhidos contemplam a estabilização do processo para todas as condições estudadas.

### Resultados e discussão

Segundo Jyoti e Pandit (2001) e Gogate *et al.* (2006), em um ambiente de ondas cavitantes, o colapso das bolhas produz pontos quentes com temperaturas efetivas muito altas, pressões elevadas e taxas de aquecimento e resfriamento extremamente rápidas. Nesta 1ª etapa de experimentos o objetivo foi de identificar a melhor correspondência entre os colapsos das bolhas e a simultânea transmissão da energia térmica à massa líquida, bem como a taxa de renovação da água que alimenta o homogeneizador.

Na Figura 3 são apresentadas às médias de temperatura obtidas para a água tratada com o homogeneizador nas diferentes vazões estudadas. Para vazão de 40 L/h a água tratada apresentou-se estabilizada como vapor após 33 minutos de operação contínua, com a vazão de 60 L/h, a estabilização foi alcançada após 21 minutos de operação. Em contrapartida, para vazão de 80 L/h a temperatura da água tratada estabilizou-se em 30 minutos, enquanto que para vazão de 100 L/h a estabilidade térmica não foi alcançada, verificando-se alguma produção de vapor, mas não de modo contínuo. Este resultado pode ser atribuído ao efeito da aplicação de uma maior taxa de renovação de água dentro do homogeneizador, resfriando a água que já estava submetida a transferência de calor causadas pelas ondas cavitantes. O homogeneizador operando com vazão de 60 L/h, apresenta a melhor correspondência entre os colapsos das bolhas e a simultânea transmissão da energia térmica à massa líquida.

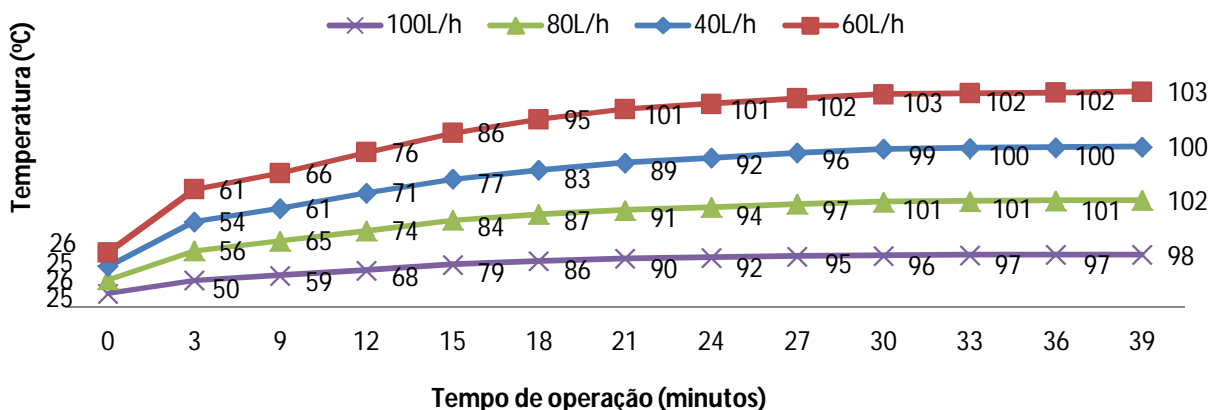


Figura 3. Resultados médios de temperatura da água tratada na saída da homogeneizador

Os resultados para o monitoramento da pressão de descarga são mostrados na Figura 4. Observa-se que nas vazões de 40, 80 e 100 L/h houve pequenas variações nos valores obtidos para pressão, em comparação com os resultados com vazão de 60 L/h, neste último a vazão atingiu o valor máximo em menor tempo, de 1.95 bar, atingida em 21 minutos, superando os resultados obtidos para as outras vazões estudadas.

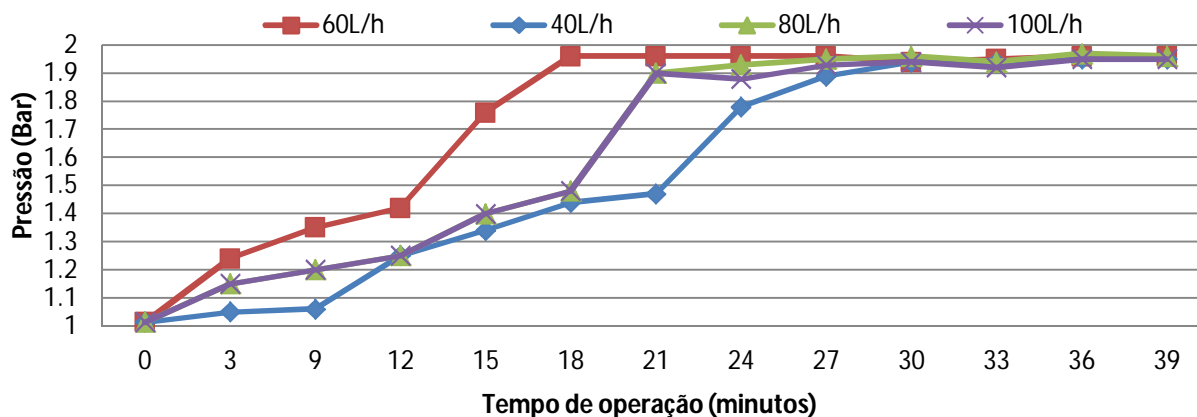


Figura 4. Monitoramento da pressão, medida no ambiente interno do reator de cavitação, operando nas vazões de 40, 60, 80 e 100 L/h

Exames microbiológicos foram realizados em amostras de água tratada nas diferentes vazões, os resultados comprovam o que apontam Jyoti e Pandit *et al.* (2004); e Arrojo *et al.* (2008) relatam que o acréscimo da pressão acelera o colapso das bolhas promovendo a difusão dos radicais hidroxilas ( $\cdot\text{OH}$ ) na fase líquida, elevando a efetividade da desinfecção. Para amostras de água tratada com homogeneizador operando com 40 L/h, obteve-se concentração de  $43.28 \times 10^3$  (NMP/100mL) de *Escherichia coli* e  $2.34 \times 10^4$  (NMP/100ml) de coliformes totais; para vazão de 60 L/h, obteve-se a menor concentração detectável pelo método empregado de análise microbiológica, tanto para *Escherichia coli* como coliformes totais; operando a 80 L/h, obteve-se  $6.33 \times 10^2$  (NMP/100mL) de *Escherichia coli* e  $98.11 \times 10^3$  (NMP/100ml) de coliformes totais. E com vazão de 100 L/h obteve-se  $82.06 \times 10^3$  (NMP/100mL) de *Escherichia coli* e  $57.14 \times 10^3$  (NMP/100ml) de coliformes totais. Os experimentos seguiram operando com vazão de 60 L/h, por apresentar-se com melhor desempenho na desinfecção.

Para a 2ª etapa de experimentos, os resultados físico-químicos apresentaram reduções em quase todos os itens analisados, conforme Tabela 1. Os bicarbonatos de cálcio e de magnésio, responsáveis pela dureza, provavelmente precipitaram com a elevação da temperatura. A diminuição do pH, pode ser atribuído a oxidação de espécies orgânicas presentes na água, provocando consumo da alcalinidade durante o processo. Para o ferro total, embora a concentração tenha passado de 30.2 para 10.1 mg Fe/L, provavelmente, pela ação do radical hidroxila ( $\cdot\text{OH}$ ), observa-se, comparando com o padrão de potabilidade vigente no Brasil, estabelecido pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde do Brasil (Brasil, 2011), que o ferro total foi o único a não atender a este limite estabelecido.

**Tabela 1.** Características físico-químicas da água bruta inoculada, água tratada com homogeneizador operando com a vazão otimizada (60 L/h) e limites da Portaria nº 2914

Determinações	Água bruta inoculada	Água tratada	Limites (Portaria nº2914)
pH à 25° C	8.07	7.15	6.0 a 9.0
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	964	860.0	-
Alcalinidade total ( $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ )	248.5	163.4	-
Dureza total ( $\text{mg CaCO}_3/\text{L}$ )	145.1	62.6	500
Oxigênio consumido ( $\text{mg O}_2/\text{L}$ )	0.6	nd	-
Sólidos dissolvidos totais( $\text{mg}/\text{L}$ )	834.0	796.0	1000
Sódio ( $\text{mg Na}^+/\text{L}$ )	158.0	154.0	200
Magnésio ( $\text{mg Mg}^{2+}/\text{L}$ )	0.9	0.2	-
Ferro total ( $\text{mg Fe}/\text{L}$ )	30.2	10.1	0.3
Carbonatos ( $\text{mg CO}_3^{2-}/\text{L}$ )	13.1	nd	-
Nitratos ( $\text{mg N-NO}_3^-/\text{L}$ )	9.6	1.1	10
Nitritos ( $\text{mg N-NO}_2^-/\text{L}$ )	0.3	0.04	1

ND = NÃO DETECTADO PELO MÉTODO APLICADO

Na Tabela 2 são apresentados os resultados dos exames para concentração de coliformes totais e *Escherichia coli*, em amostras de água bruta inoculada e tratada com o homogeneizador operando com vazão de 60 L/h. Observa-se que, para amostras de água tratada não foram detectados presença de contaminação, isso pode ser atribuído às rupturas das células dos microrganismos, causadas devido ao efeito da cavitação no líquido (Jyoti e Pandit, 2004), ocorrendo em milhões de posições do líquido (Gogate *et al*, 2001). Outro fator que contribui é a temperatura na faixa de ebulição, impondo-se aos microrganismos condição de desnaturação de suas proteínas. Jyoti e Pandit (2003) alcançaram desinfecção de 70% para coliformes totais e 57% para *Escherichia coli* utilizando cavitação hidrodinâmica com placa de múltiplos orifícios a pressão de 1.72 bar. Doulah e Hammond em 1975 sugeriram que, em um mecanismo onde se proporcionam movimentos circulares num líquido em escala maior do que as das células contidas nele, ocorre que estas células entram em sincronia com os movimentos circulares. Quando estes movimentos circulares aplicados à massa líquida estão em escala compatível com as dimensões das células, são transmitidos apenas movimentos oscilatórios para elas sem causar ruptura. Quando a energia deste movimento oscilatório ultrapassa a força da membrana da célula, esta se desintegra.

**Tabela 2.** Resultados dos exames microbiológicos da água bruta inoculada e água tratada com homogeneizador operando com a vazão otimizada (60 L/h).

Ensaio	Exame	Água bruta Inoculada	Água tratada
Ensaio 01	Coliformes totais (NMP/100mL)	$2.41 \times 10^6$	nd
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	$36.4 \times 10^4$	nd
Ensaio 02	Coliformes totais (NMP/100mL)	$2.90 \times 10^6$	nd
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	$1.45 \times 10^6$	nd
Ensaio 03	Coliformes totais (NMP/100mL)	$5.47 \times 10^6$	nd
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	$3.37 \times 10^5$	nd
Ensaio 04	Coliformes totais (NMP/100mL)	$1.85 \times 10^6$	nd
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	$1.21 \times 10^6$	nd
Ensaio 05	Coliformes totais (NMP/100mL)	$3.52 \times 10^6$	nd
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	$23.3 \times 10^4$	nd
Ensaio 06	Coliformes totais (NMP/100mL)	$9.59 \times 10^5$	nd
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	$1.87 \times 10^5$	nd
Ensaio 07	Coliformes totais (NMP/100mL)	$6.59 \times 10^5$	nd
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	$0.98 \times 10^5$	nd
Ensaio 08	Coliformes totais (NMP/100mL)	$4.45 \times 10^5$	nd
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	$1.58 \times 10^5$	nd
Ensaio 09	Coliformes totais (NMP/100mL)	$5.09 \times 10^5$	nd
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	$2.55 \times 10^5$	nd
Ensaio 10	Coliformes totais (NMP/100mL)	$6.11 \times 10^5$	nd
	<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	$3.34 \times 10^5$	nd

nd = não detectado



## Conclusões

Concluiu-se que o homogeneizador de alta velocidade, utilizado nesta pesquisa, operando com 7900 rpm a uma vazão de 60 L/h, se apresenta como uma tecnologia promissora para o tratamento de água para abastecimento, pois foi capaz de reduzir concentrações de parâmetros físico-químicos com destaque para nitritos, dureza, carbonatos e ferro, e a inativação completa dos microrganismos estudados (coliformes totais e *Escherichia coli*), mesmo para diferentes e elevadas concentrações iniciais, independente de desinfecções químicas.

## Referências bibliográficas

- APHA. AWWA, WPCF. (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and wastewater*. 21th edition, Washington, USA.
- Arrojo S; Benito Y. (2008) A theoretical study of hydrodynamic cavitation. *Ultrason Sonochemistry*, **15**(3), 203-11.
- Brasil. Ministério da Saúde. (2011) Portaria nº 2914. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso em: 05 jan. 2012.
- Chivate M. M.; Pandit, A. B. (1993) Effect of sonic and Hydrodynamic cavitation on aqueous polymeric solutions, *Indian Chemical Engineering*, **35**, 52–57.
- Delmée, G. J. (2003) Manual de medição de vazão. São Paulo, SP. Editora Edgard Blucher Ltda. 3ª edição, 346p.
- Doulah, M. S. e Hammond, T. H. (1975). A hydrodynamic mechanism for the disintegration of *Saccharomyces cerevisiae* in an industrial homogenizer, *Biotechnology and Bioengineering*, **17**, 845-58.
- Filho, S. S. F.; Sakaguti, S. (2008) Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **13**(2), 198-206.
- Gogate P. R.; Tayal, R. K.; Pandit, A. B. (2006) Cavitation: A technology on the horizon. *Current Science*, **91**(1), 35-46.
- Gogate, P. R. (2007) Application of cavitational reactors for water disinfection: Current status and path forward. *Journal of Environmental Management*, **85**, 801–815.
- Haas, C. N.; Heller, B. (1990) Kinetics of inactivation of *Giardia Lambia* by free chlorine. *Water Resource*, **27**(2), 233–238.
- Jyoti, K. K.; Pandit, A. B. (2001) Water disinfection by acoustic and hydrodynamic cavitation. *Biochemical Engineering Journal*, Mumbai, **7**, 201–212.
- Jyoti, K. K.; Pandit, A. B. (2004) Ozone and cavitation for water disinfection. *Biochemical Engineering Journal*, Mumbai, **18**, 9-19.
- Moholkar, V. S.; Senthikumar, P.; Pandit, A. B. (1999) Hydrodynamic cavitation for sono-chemical effect. *Ultrasonics Sonochemistry*, **6**, 53–65.
- Mason, T. J., 1992. *Practical Sonochemistry: Users Guide in Chemistry and Chemical Engineering*, Ellis Horwood Series in Organic Chemistry. Ellis Horwood, Chichester, UK.
- Pandit, A. B.; Joshi, J. B. (1993) hydrolysis of fatty oils: effect of cavitation, *Chemical Engineering Science*, **48**(19), 3440–3442.
- Paschoalato, C. F. P. R; Trimailovas, M. R; Di Bernardo, L. (2008) Formação de subprodutos orgânicos halogenados nas operações de pré-oxidação com cloro, ozônio e Peroxônio e pós-cloração em água contendo Substância húmica. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **13**(2), 23-37.
- Senthil Kumar, P.; Sivakumar, M.; Pandit, A. B. (2000) Experimental quantification of chemical effects of hydrodynamic cavitation, *Chemical Engineering Science*, **55**(9), 1633–1639.
- Souza, J. B.; Daniel, L. A. (2005) Comparação entre hipoclorito de sódio e ácido peracético na inativação de *e. coli*, colifagos e *C. Perfringens* em água com elevada concentração de matéria orgânica. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **10**(2), 111-117.