

Esporos de bactérias aeróbias são bons indicadores da eficiência do tratamento de água? Um estudo exploratório

Are aerobic spore-forming bacteria good indicators of water treatment efficiency? An explanatory study

Keila Castro Oliveira¹ , Rafael Kopschitz Xavier Bastos^{1*} , Carolina Ventura da Silva¹ 

RESUMO

Apresentam-se e discutem-se neste trabalho os resultados do monitoramento de esporos de bactérias aeróbias em uma estação de tratamento de água de ciclo completo em escala real. Os esporos foram removidos de forma consistente e efetiva ao longo das etapas do tratamento, somando cerca de 3 log em média no ciclo completo. A etapa de clarificação da água (decantação e filtração) foi a principal responsável pela remoção de esporos: 0,65 log na decantação e 1,71 log na filtração, em valores médios. Os esporos mostraram-se resistentes à cloração, mas ainda assim foi alcançada inativação média de 0,8 log. Infere-se que esporos de bactérias aeróbias são bons indicadores da eficiência do tratamento da água em ciclo completo (clarificação e desinfecção por cloração) e exibem potencial de uso como indicadores da remoção/inativação (clarificação e desinfecção por cloração) de cistos de *Giardia* e de remoção por clarificação de oocistos de *Cryptosporidium*.

Palavras-chave: esporos de bactérias aeróbias; protozoários; tratamento de água.

ABSTRACT

The results of monitoring aerobic spore-forming bacteria in a field-scale conventional water treatment plant are presented and discussed herein. Spores were consistently and effectively removed throughout the treatment steps, totaling approximately 3 log-unit complete removal. The clarification steps (sedimentation + filtration) accounted for most of the spore removal: 0.65 log by sedimentation and 1.71 log by filtration – average values. Although the spores proved to be rather resistant to chlorination, a 0.8 log-unit reduction by inactivation was achieved. It is suggested that spores of aerobic spore-forming bacteria are useful indicators for evaluating overall water treatment plant performance (clarification and disinfection by chlorination), and can potentially be used as removal/inactivation indicators (clarification and disinfection by chlorination) of *Giardia* cysts, and removal by clarification of *Cryptosporidium* oocysts.

Keywords: aerobic bacteria spores; protozoa; drinking-water treatment.

INTRODUÇÃO

Os protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp., patógenos de veiculação hídrica, ainda hoje representam um grande desafio para a produção de água segura ao consumo humano (WHO, 2011). Os principais problemas associados a esses protozoários são:

- elevada persistência ambiental de suas formas encistadas e que são excretadas pelo hospedeiro, os cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium*;
- elevada resistência dos cistos e oocistos aos processos de desinfecção tradicionalmente utilizados em estações de tratamento de água (ETA), particularmente a cloração, sendo os oocistos de *Cryptosporidium* mais resistentes que os cistos de *Giardia* (BETANCOURT & ROSE, 2004);
- baixas doses infectantes (KARANIS; KOURENTI; SMITH, 2007).

No entanto, esses protozoários podem ser efetivamente removidos por processos de clarificação da água, particularmente a filtração (BETANCOURT & ROSE, 2004; BASTOS; BRANDÃO; CERQUEIRA, 2009). Diante dessas características, particularmente as de resistência aos processos de tratamento de água, os protozoários *Giardia* e *Cryptosporidium*, mais recentemente o segundo, têm sido tomados como organismos-referência em normas de qualidade da água para consumo humano (por exemplo, a norte-americana USEPA, 2006). Ou seja, o controle desses organismos por meio do tratamento da água implicaria o controle também de outros patógenos de mais fácil remoção.

No entanto, a pesquisa de *Giardia* e *Cryptosporidium* é um processo laborioso, de alto custo, além de enfrentar dificuldades analíticas de

¹Universidade Federal de Viçosa - Viçosa (MG), Brasil.

Autor correspondente: rkxb@ufv.br

Recebido: 02/07/2015 - **Aceito:** 25/07/2017 - **Reg. ABES:** 151590

detecção em amostras com baixas concentrações desses microrganismos. Por isso, no monitoramento rotineiro em ETAs, usualmente se recorre a indicadores da qualidade da água, melhor dizendo, indicadores da eficiência do tratamento na remoção/inativação de cistos e oocistos (AGULLÓ-BARCELO; OLIVA; LUCENA, 2013; NIEMINSKI; BELLAMY; MOSS, 2000).

A turbidez é a variável tradicionalmente utilizada para o controle operacional e a avaliação da eficiência de processos de tratamento para remoção de partículas em suspensão. Cistos de protozoários apresentam características (como dimensões e carga elétrica superficial) que os tornam passíveis de serem removidos em processos de clarificação da água, como coagulação, floculação, sedimentação e filtração, pelos mesmos mecanismos que outras partículas em suspensão (XAGORARAKI & HARRINGTON, 2004; Emelko; HUCK; COFFEY, 2005). Embora permaneçam controversas em torno da definição dos limites numéricos de turbidez abaixo dos quais estaria assegurada a efetiva remoção de cistos e oocistos de protozoários (BASTOS; BRANDÃO; CERQUEIRA, 2009), o estado da arte do conhecimento permite as seguintes inferências em relação à turbidez da água filtrada (filtração rápida): $\leq 0,5$ uT: remoção de 2,5 log (99,7%) de cistos de *Giardia* no tratamento em ciclo completo (0,5 log na decantação e 2 log na filtração) e 2 log (99%) na filtração direta; $\leq 0,3$ uT: remoção de 3 log (99,9%) de oocistos de *Cryptosporidium* no tratamento em ciclo completo (0,5 log na decantação e 2,5 log: filtração) e 2,5 log na filtração direta.

Tais indicações são referendadas por agências como a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (U.S. Environmental Protection Agency – USEPA, 2006) e a Organização Mundial da Saúde (World Health Organization – WHO, 2017) e têm sido incorporadas em padrões de potabilidade em diversos países, tais como Estados Unidos (USEPA, 2006), Canadá (HEALTH CANADA, 2014), Nova Zelândia (NOVA ZELÂNDIA, 2008) e Brasil (BRASIL, 2011).

O controle da desinfecção é usualmente realizado com base em valores de Ct (C =residual desinfetante na saída do tanque de contato, em mg.L^{-1} ; t =tempo de contato, em min), necessários e suficientes para dada eficiência de inativação de determinado organismo por um desinfetante específico. Oocistos de *Cryptosporidium* são extremamente resistentes à cloração, isto é, não são inativados com valores de Ct praticáveis em ETAs, embora possam ser efetivamente inativados com outros desinfetantes mais potentes, tais como dióxido de cloro, ozônio ou radiação ultravioleta (UV) (USEPA, 1999; 2006). Por sua vez, a remoção de cistos de *Giardia* alcançada na filtração pode ser complementada por inativação por cloração, cuja eficiência (expressa em unidades logarítmicas) pode ser estimada a partir de um modelo preditivo em função de Ct (USEPA, 1991; 1999). Esta abordagem é ainda hoje amplamente utilizada em normas de potabilidade da água, as quais costumam apresentar valores tabelados de Ct para dada eficiência de inativação. Na Portaria MS nº 2.914/2011

os valores indicados de C e t têm como meta 0,5 log de inativação de cistos de *Giardia*. (BRASIL, 2011)

Outros indicadores têm sido testados para avaliação da remoção/inativação de cistos e oocistos de protozoários por meio do tratamento de água, entre os quais os esporos de bactérias aeróbias (EBA). A esporulação é um mecanismo de resistência/sobrevivência de bactérias saprófitas habitantes do solo e da água, porém alguns esporos aeróbios parecem ter se adaptado à vida no trato gastrointestinal de animais e de seres humanos (LOGAN, 2012). Esporos são células metabolicamente dormentes, altamente resistentes a estresse químicos e físicos (LOGAN & DE VOS, 2009) e com enorme capacidade de sobrevivência, possivelmente por até milhões de anos (HEADD & BRADFORD, 2016). A habilidade de formar esporos é uma característica típica do gênero *Bacillus*, sendo este reconhecido como o principal representante das bactérias aeróbias formadoras de esporos (LOGAN & DE VOS, 2009). Existem outras bactérias com essa habilidade, como, por exemplo, as do gênero *Clostridium*, porém em condições anaeróbias (PAYMENT & LOCAS, 2011). Headd e Bradford (2016) citam uma série de similaridades entre oocistos de *Cryptosporidium* e EBA (ciclo de vida, semelhanças anatômicas e morfológicas, carga elétrica, hidrofobicidade, transporte, retenção, sobrevivência), que fazem dos esporos potenciais indicadores da presença/remoção de protozoários em água para consumo humano. Esporos de *Bacillus subtilis* possuem tamanho médio de aproximadamente $1-2 \times 0,8 \mu\text{m}$, enquanto oocistos de *Cryptosporidium* têm $4-6 \mu\text{m}$, e apresentam potencial zeta similar ao dos oocistos em faixa de pH de 6,5–8 (HEADD & BRADFORD, 2016).

De fato, e já há algum tempo, vários estudos têm sugerido a utilidade do emprego de EBA como indicadores da remoção de cistos e oocistos de protozoários por filtração (RICE *et al.*, 1996; NIEMINSKI; BELLAMY; MOSS, 2000; MAZOUA & CHAUVEHEID, 2005), bem como da inativação por cloração (BARBEAU *et al.*, 1999) ou ozonização (CRAIK *et al.*, 2002; MAZOUA & CHAUVEHEID, 2005). Com efeito, a regulamentação dos Estados Unidos de controle da qualidade da água para consumo humano cita que a remoção de esporos aeróbios se correlaciona bem com a remoção de *Cryptosporidium* e que, assim, os esporos aeróbios, os quais estão presentes naturalmente em águas superficiais, podem ser utilizados como indicadores da remoção de *Cryptosporidium* em processos de tratamento em escala real que incluam a coagulação (USEPA, 2006).

No Brasil, Cerqueira (2008), em estudo de inoculação de esporos de *B. subtilis* e de oocistos de *Cryptosporidium* em instalação piloto, relatou remoção de esporos inferior à de oocistos em várias técnicas de tratamento (ciclo completo, filtração direta descendente e dupla filtração), entretanto pesquisas acerca desse tema no país ainda são escassas. Nesse sentido, o presente trabalho visou contribuir com resultados de monitoramento de remoção de EBA em uma ETA em escala real.

METODOLOGIA

O trabalho consistiu, essencialmente, na pesquisa de EBA ao longo do processo de tratamento na ETA da Universidade Federal de Viçosa (UFV), a qual vem brevemente descrita a seguir, bem como o detalhamento dos procedimentos de campo e de laboratório.

Estação de tratamento de água

A ETA UFV é suprida por um manancial superficial de vazão reduzida (Ribeirão São Bartolomeu), com dois represamentos consecutivos à montante do ponto de captação. A bacia de captação é desprotegida, com ocupação urbana crescente e atividades agropecuárias relativamente intensas. A ETA emprega o tratamento de água em ciclo completo e, durante o período de estudo, trabalhou com ampla variação de vazões ($10\text{-}50\text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$) e de acordo com as seguintes variáveis operacionais:

- coagulação com sulfato de alumínio com doses entre 8 e 21 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e média de 10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, pH da água bruta entre 6,9 e 7,3 e valor médio igual a 7,1;
- mistura rápida hidráulica em calha Parshall;
- floculação hidráulica;
- decantação convencional em decantador circular com taxa de aplicação superficial entre 3 e 17 $\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$;
- dois filtros rápidos com taxa de filtração entre 21 e 107 $\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$, carreira de filtração média de aproximadamente 36 h e retrolavagem com duração de cerca de 8 min, efetuada por meio de reservatório elevado com capacidade de 100 m^3 ;
- desinfecção com cloro gás em tanque de contato com volume de 33,7 m^3 , tempo de contato (t) entre 12 e 59 min, cloro residual livre (C) entre 0,9 e 2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e valores de Ct entre 12,5 e 85,9 ($\text{mg}\cdot\text{min}$) L^{-1} .

Coleta e análises laboratoriais de amostras de água

De março de 2014 a fevereiro de 2015, semanalmente e de forma pontual, foram coletadas amostras de água bruta, decantada, filtrada e clorada. Todas as amostras foram submetidas à análise de EBA. Obtiveram-se os dados de turbidez pelo controle operacional de rotina da ETA UFV, realizado com turbidímetro digital de bancada.

As análises de EBA foram realizadas de acordo com a metodologia descrita nos *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2005), composta essencialmente das seguintes etapas:

- tratamento térmico para inativação das células vegetativas, em que as amostras eram mantidas em banho-maria com agitador a 80°C por 12 min e 70 rpm e, logo em seguida, resfriadas em banho de gelo até atingir temperatura ambiente;
- filtração em membranas de 0,45 μm e 47 mm de diâmetro;
- incubação por 24 h a 35°C em meio ágar nutriente com azul de tripano e 1% de amido;

- contagem das colônias em microscópio (NIEMINSKI; BELLAMY; MOSS, 2000).

As análises foram realizadas em duplicatas.

Tratamento e análise dos dados

Os resultados do monitoramento de turbidez e de EBA ao longo das etapas de tratamento da água na ETA UFV foram inicialmente sistematizados e discutidos em termos de estatística descritiva. Uma vez que o presente trabalho não incluiu o monitoramento de protozoários, a discussão comparativa entre a remoção de EBA e de (oo)cistos de protozoários foi realizada de forma indireta, envolvendo:

- estimativa da remoção de cistos de *Giardia* e de oocistos de *Cryptosporidium* com base nos dados de turbidez da ETA UFV;
- estimativa da inativação de cistos de *Giardia* com base nos dados Ct da ETA UFV e do emprego de modelo da USEPA (1991), que associa eficiência de inativação com valores de Ct , pH e temperatura da água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Remoção/inativação de esporos de bactérias aeróbias e remoção de turbidez na estação de tratamento de água da Universidade Federal de Viçosa

Na Tabela 1 e na Figura 1, os resultados do monitoramento dos EBA ao longo das etapas do tratamento de água na ETA UFV são sintetizados em termos de estatística descritiva.

Os resultados revelaram elevada variabilidade nas concentrações de EBA. No caso da água bruta, isso pode ser considerado típico de contagens microbianas em amostras ambientais. As contagens de esporos

Tabela 1 – Estatística descritiva dos resultados do monitoramento de esporos de bactérias aeróbias (UFC/100 mL) na estação de tratamento de água (ETA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), de março de 2014 a fevereiro de 2015.

Parâmetros	AB	AD	AF	AC
N (número de amostras)	32	32	36	34
Mínimo	$3,6 \times 10^2$	$5,5 \times 10^1$	3,00	0,7
Máximo	$7,7 \times 10^3$	$7,8 \times 10^3$	$7,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^1$
Mediana	$1,3 \times 10^3$	$7,7 \times 10^2$	$2,2 \times 10^1$	3,4
Percentil 25%	$9,1 \times 10^2$	$2,5 \times 10^2$	9,25	1,8
Percentil 75%	$2,8 \times 10^3$	$2,5 \times 10^3$	$6,3 \times 10^1$	7,0
Média aritmética	$2,0 \times 10^3$	$1,9 \times 10^3$	$5,7 \times 10^1$	5,2
Desvio padrão	$1,8 \times 10^3$	$2,3 \times 10^3$	$1,2 \times 10^2$	4,7
Coeficiente de variação	88,69%	120,03%	205,39%	90,72%

AB: água bruta; AD: água decantada; AF: água filtrada; AC: água clorada.

na água bruta variaram de $3,6 \times 10^2$ a $7,7 \times 10^3$ UFC/100 mL (média de 2×10^3 UFC/100 mL), resultado semelhante aos encontrados por outros pesquisadores (NIEMINSKI; BELLAMY; MOSS, 2000; DUGAN *et al.*, 2001; VERHILLE *et al.*, 2003). Os resultados indicam, ainda, remoção consistente de esporos ao longo das etapas de tratamento (Figura 2). Além disso, em que pese a referida variabilidade dos dados, quando estes são vistos pelos valores das medianas e por desvios interquartílicos (Figura 1), as etapas do tratamento revelam não somente eficiência como também estabilidade (crescente ao longo das etapas) na remoção de esporos.

A remoção de esporos variou consideravelmente em cada uma das etapas de tratamento (Figura 2):

- 0,02 a 1,4 log (mediana e média iguais a 0,65 log) na decantação;
- 0,49 a 3,29 log (mediana igual a 1,62 log e média igual a 1,71 log) na filtração;
- 0,14 a 2,45 log (mediana igual a 0,71 log e média igual a 0,86 log) na desinfecção;
- 1,21 a 3,02 log (mediana e média iguais a 2,1 log) na decantação e filtração conjuntamente;

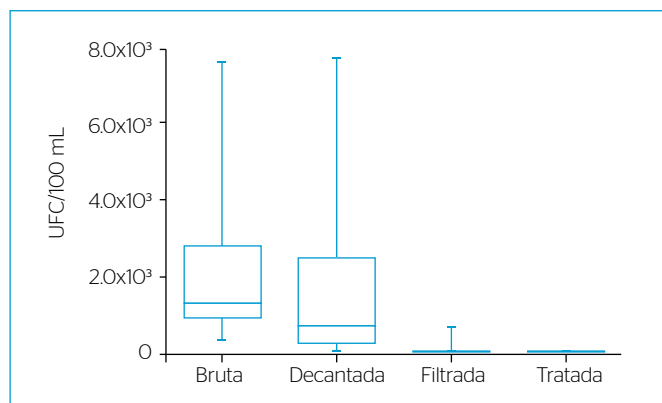


Figura 1 - Representação gráfica da estatística descritiva dos resultados da contagem de esporos de bactérias aeróbias ao longo das etapas de tratamento da água na estação de tratamento de água (ETA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), de março de 2014 a fevereiro de 2015.

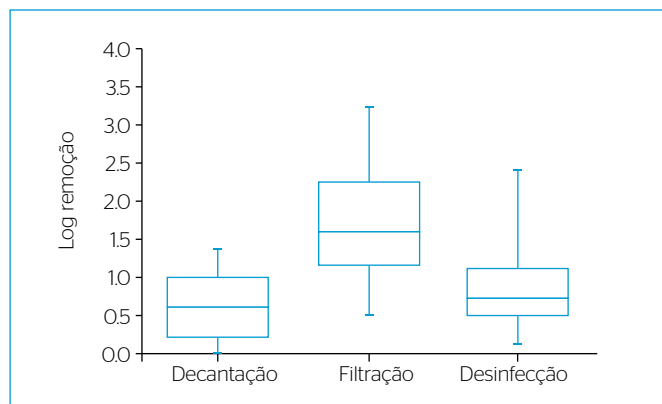


Figura 2 - Representação gráfica da estatística descritiva dos resultados de remoção de esporos de bactérias aeróbias (log) ao longo das etapas de tratamento da água na estação de tratamento de água (ETA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), de março de 2014 a fevereiro de 2015.

- 1,7 a 4,14 log (mediana e média iguais a 3,1) no total (decantação + filtração + desinfecção).

Em resumo, a remoção de esporos deu-se de forma mais efetiva na filtração do que na decantação e na desinfecção. Esses resultados são similares a informações da literatura. Por exemplo, em experimentos em instalação piloto, Dugan *et al.* (2001) registraram remoção média de 3,2 log no ciclo completo de clarificação, sendo 1,2 log na decantação e 2,0 log na filtração. Rice *et al.* (1996), em monitoramento de uma ETA em escala real, encontraram remoções de 0,85–1,19 log na decantação e 1,69–2,57 log na filtração.

Durante o período deste estudo, a água bruta apresentou turbidez baixa ($8,8 \pm 12$ uT), cuja variabilidade, natural, foi bem absorvida na decantação ($1,2 \pm 0,5$ uT) e na filtração ($0,26 \pm 0,14$ uT). A remoção de turbidez na decantação variou de 0,45 a 1,62 log (média igual a 0,75 log), e na filtração, de 0,36 a 0,97 log (média de 0,65 log), perfazendo remoção total média de 1,41 log (0,82–2,55 log). A Figura 3 permite a avaliação comparativa da remoção de turbidez e de EBA nas etapas de clarificação da água na ETA UFV. Observou-se que a decantação e a filtração se mostraram igualmente importantes na remoção de turbidez, com valores de remoção semelhantes em magnitude e médias de 0,75 log e 0,65 log na decantação e na filtração, respectivamente. Com base nisso e nas condições de coagulação anteriormente mencionadas (doses de coagulante e pH da água bruta), infere-se que mecanismos de adsorção-neutralização de cargas, ou de varredura, tenham atuado na remoção de turbidez, ou, melhor dizendo, que a coagulação tenha se dado preponderantemente na região de combinação de mecanismos. Constatou-se, também, que os valores absolutos de remoção de turbidez e de esporos na decantação foram próximos (turbidez média e mediana $\approx 0,75$ log; EBA média e mediana $\approx 0,65$ log). Sugere-se, assim, que a remoção de esporos na decantação esteve associada à remoção de partículas em suspensão, por adsorção ou varredura pelos flocos. Por sua vez, como já pontuado anteriormente, a remoção de EBA deu-se de maneira mais efetiva na filtração, o que sugere que, nesse caso, a remoção tenha sido determinada predominantemente pelo mecanismo de adsorção-neutralização de cargas. Por fim, cabe destacar que na filtração a remoção de turbidez (média de 0,65 log) foi inferior à de EBA (média de 1,71 log), bem como na clarificação como um todo (médias de remoção na decantação + filtração de 1,41 log de turbidez e de 2,1 log de EBA).

Considerações sobre o emprego de esporos de bactérias aeróbias como indicador da eficiência do tratamento da água

Para que uma variável cumpra bem o papel de indicador da eficiência do tratamento da água na remoção de patógenos, ela deve atender aos seguintes requisitos:

- estar presente em maior número que os patógenos na água bruta;

- ser detectada e quantificada por meio de técnicas laboratoriais mais simples, baratas e rápidas do que as usualmente adotadas para detecção dos patógenos;
- ser removida pelos mesmos processos e mecanismos que os patógenos;
- apresentar taxa de remoção/inativação similar ou inferior às dos patógenos. Isto é, ser mais resistente que os patógenos aos processos de tratamento (BASTOS *et al.*, 2000; NIEMINSKI; BELLAMY; MOSS, 2000).

EBA foram detectados na água bruta em quantidades bem acima das usualmente encontradas de patógenos (média de 2×10^3 UFC/100 mL). Por exemplo, trabalhos anteriores no mesmo manancial do presente estudo registraram a presença de no máximo 60 oocistos de *Cryptosporidium* por litro (BASTOS; VIANA; BEVILACQUA, 2013). Aliás, a presença abundante de EBA na água bruta tem sido apontada como uma das principais características que fazem desses organismos bons indicadores do desempenho do tratamento como um todo, pois, tal como se deu neste trabalho, isso propicia o cômputo da remoção ao longo de todas as etapas do tratamento (NIEMINSKI; BELLAMY; MOSS, 2000). Desse modo, o primeiro entre os requisitos descritos de um indicador da eficiência do tratamento de água foi atendido. Não há dúvidas de que o segundo também, porque, de fato, a metodologia para análise de EBA é muito mais simples e menos onerosa do que a indicada para os cistos e oocistos de protozoários (NIEMINSKI; BELLAMY; MOSS, 2000).

Nota-se que EBA foram removidos preponderantemente pela filtração, o que é consistente com o mecanismo determinante de remoção de cistos de *Giardia* e de oocistos de *Cryptosporidium*. Não obstante, obteve-se remoção (inativação) complementar de EBA na cloração, assim como, reconhecidamente, é possível se obter de cistos de *Giardia*. Estaria, assim, atendido também o terceiro requisito.

Complementando informações já citadas sobre a turbidez da água filtrada durante o período deste estudo (média \pm desvio padrão (dp) = $0,26 \pm 0,14$ uT), de 73 a 92% desses dados estiveram abaixo de 0,3 e 0,5 uT, valores estes, conforme referendado pela USEPA (2006) e pela WHO (2017), indicativos da remoção, respectivamente, de 3 log de oocistos de *Cryptosporidium* e de 2,5 log de cistos de *Giardia*. A remoção média de EBA foi de 2,1 log na decantação + filtração. A remoção de esporos foi, portanto, inferior à remoção estimada, ou esperada, de cistos e oocistos de protozoários. Infere-se, assim, que o quarto requisito (indicador mais resistente que os patógenos aos processos de tratamento) seria também atendido no que diz respeito à filtração, inferência que encontra respaldo em estudos que envolveram o monitoramento de EBA e de oocistos de *Cryptosporidium* e/ou cistos de *Giardia*: Mazouza e Chauveheid (2005) e Brown e Cornwell (2007), em escala real; e Dugan *et al.* (2001) e Cerqueira (2008), em escala piloto.

Nota-se ainda, como já destacado, que a remoção de turbidez (média na decantação + filtração de 1,41 log) foi inferior à de EBA, sugerindo que a primeira poderia ser tomada como estimativa conservadora da segunda. Resultados similares foram encontrados por Dugan *et al.* (2001) em experimentos em instalação piloto: remoções no ciclo completo de clarificação de 2,4 log de turbidez, 3,2 log de EBA e >5 log de oocistos de *Cryptosporidium*. Conforme sugerido por Nieminski, Bellamy e Moss (2000), EBA e turbidez devem ser utilizados de forma complementar (e não excludente), pois os esporos são mais sensíveis a variações de qualidade da água e oscilações de desempenho do tratamento. De fato, no presente trabalho, a remoção de esporos mostrou maior variabilidade que a de turbidez (Figura 3). Por outro lado, há que se registrar que Cerqueira (2008), em estudo em unidade piloto, encontrou o inverso, isto é, remoção de EBA inferior à de turbidez

Na Figura 4, apresentam-se dados de inativação de EBA, computados por meio do monitoramento na ETA UFV, ao lado de estimativas

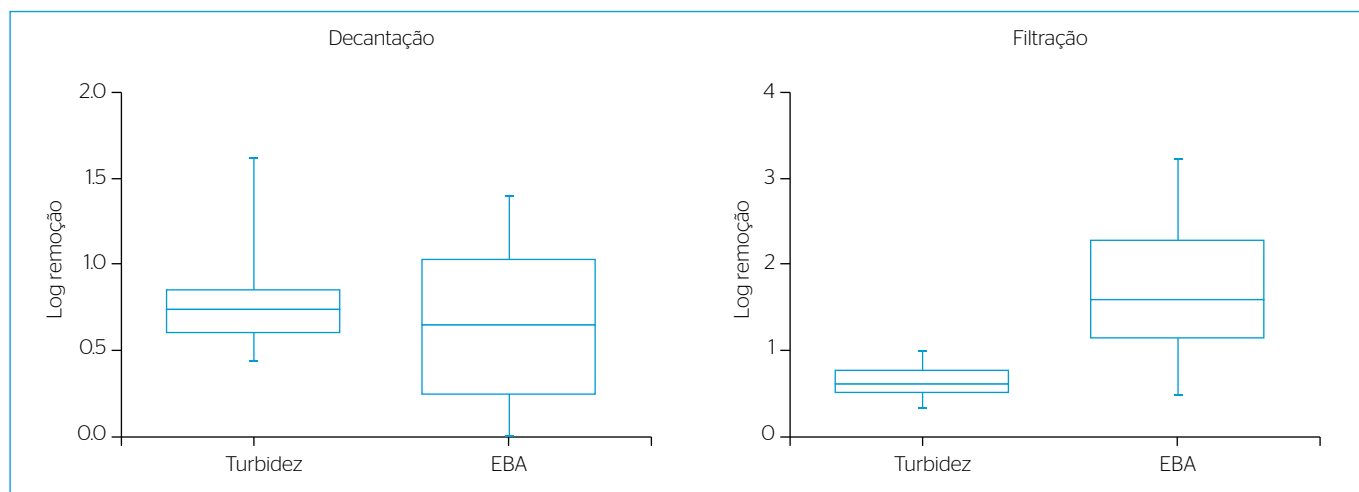


Figura 3 - Representação gráfica da estatística descritiva dos resultados de remoção (log) de esporos de bactérias aeróbias e de turbidez na decantação (esquerda) e na filtração (direita), na estação de tratamento de água (ETA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), de março de 2014 a fevereiro de 2015.

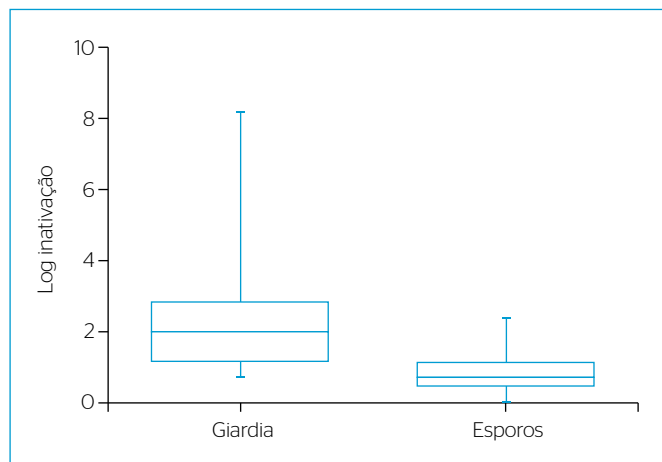


Figura 4 - Representação gráfica da estatística descritiva dos valores observados de inativação de esporos de bactérias aeróbias e dos valores estimados de inativação de cistos de *Giardia*, na estação de tratamento de água (ETA) da Universidade Federal de Viçosa (UFV), de março de 2014 a fevereiro de 2015.

de inativação de cistos de *Giardia*, calculadas com base no modelo da USEPA (1991,1999) e nos dados de *Ct* computados nos mesmos dias do monitoramento de esporos na saída do tanque de contato, entre 12,5 e 85,9 (mg.min) L⁻¹. A remoção média de EBA na cloração foi de 0,86 log, enquanto a inativação estimada de cistos de *Giardia* foi de 2,39 log. Infere-se, por conseguinte, que o fato de o requisito do indicador ser mais resistente que o patógeno estaria também atendido no que diz respeito à inativação de cistos de *Giardia* por cloração.

Naturalmente, essa discussão tem de ser relativizada, pois o modelo de inativação tomado como referência data de 1991, tendo sido, portanto, desenvolvido com base em técnicas analíticas de detecção de cistos de *Giardia* já ultrapassadas. Cabe ainda a ressalva de que a remoção dos cistos depende fortemente da matriz utilizada (nesse caso, a água), e, assim, a generalização e o uso de modelos matemáticos são temerários. Não obstante, essa mesma discussão mantém relevância na medida em

que o modelo em questão ainda encontra ampla aplicação e é o que fundamenta as metas de inativação de cistos de *Giardia* da Portaria MS nº 2.914/2011 (BRASIL, 2011). Ademais, outros trabalhos confirmam a elevada resistência de EBA à cloração, superior à de cistos de *Giardia*, ainda que sejam também trabalhos já bastante antigos: Rice *et al.* (1996) e Barbeau *et al.* (1999). De toda forma, parece razoável inferir que, alcançada inativação de 0,5 log de EBA, essa mesma eficiência de inativação estaria assegurada para cistos de *Giardia*, sendo essa a meta da Portaria MS nº 2.914/2011.

CONCLUSÕES

EBA foram detectados em números elevados na água bruta, e removidos de forma consistente ao longo das etapas do tratamento, mas permaneceram presentes nos efluentes de cada uma dessas etapas. Isso possibilitou a quantificação de decaimento ao longo do tratamento e, por conseguinte, demonstra o potencial de uso de EBA como indicadores da eficiência do tratamento da água.

A remoção de EBA observada no ciclo completo de clarificação (decantação + filtração) foi inferior à remoção esperada, com base na remoção de turbidez, de cistos de *Giardia* e de oocistos de *Cryptosporidium*. Infere-se, pois, que a remoção de esporos apresenta potencial de indicador da remoção de cistos e oocistos de *Giardia* e *Cryptosporidium* por processos de clarificação da água.

A inativação constatada de EBA por cloração foi inferior à inativação estimada, com base nos valores de *Ct* de cistos de *Giardia*. Sugere-se, assim, que EBA apresentam potencial de indicadores da inativação por cloração de cistos de *Giardia*.

Naturalmente, as duas últimas observações necessitam de confirmações mais objetivas, com base em estudos que envolvam o acompanhamento simultâneo da remoção/inativação de EBA, de cistos de *Giardia* e de oocistos de *Cryptosporidium*.

REFERÊNCIAS

AGULLÓ-BARCELO, M.; OLIVA, F.; LUCENA, F. (2013) Alternative indicators for monitoring *Cryptosporidium* oocysts in reclaimed water. *Environmental Science Pollution Research*, v. 20, n. 7, p. 4448-4454. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1400-4>

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). (2005) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21. ed. Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF.

BARBEAU, B.; BOULOS, L.; DESJARDINS, R.; COALLIER, J.; PRÉVOST, M. (1999) Examining the use of aerobic spore-forming bacteria to assess the efficiency of chlorination. *Water Research*, v. 33, n. 13, p. 2941-2948. [http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00009-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00009-3)

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; NASCIMENTO, L.E.; CARVALHO, G.R.M.; SILVA, C.V. (2000) Coliformes como indicadores da qualidade da água: alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. *Anais*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

- BASTOS, R.K.X.; BRANDÃO, C.C.S.; CERQUEIRA, D.A. (2009) Tratamento de água e remoção de protozoários. In: PÁDUA, V.L. *Remoção de microorganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*. Rio de Janeiro: ABES. p. 109-150. (Projeto ProSab).
- BASTOS, R.K.X.; VIANA, D.B.; BEVILACQUA, P.D. (2013) Turbidity as a surrogate for *Cryptosporidium* removal by filtration in drinking-water QMRA models. *Water Science and Technology: Water Supply*, v. 13, n. 5, p. 1209-1219. <https://doi.org/10.2166/ws.2013.127>
- BETANCOURT, W.Q. & ROSE, J.B. (2004) Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Veterinary Parasitology*, v. 126, n. 1-2, p. 219-234. <https://doi.org/10.1016/j.vetpar.2004.09.002>
- BRASIL. Ministério da Saúde. (2011) Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, n. 239, seção 1, p. 39-46.
- BROWN, R.A. & CORNWELL, D.A. (2007) Using spore removal to monitor plant performance for *Cryptosporidium* removal. *Journal of the American Water Works Association*, v. 99, n. 3, p. 95-109. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2007.tb07892.x>
- CERQUEIRA, D.A. (2008) *Remoção de oocistos de Cryptosporidium e indicadores no tratamento de água por ciclo completo, filtração direta descendente e dupla filtração, em escala piloto*. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- CRAIK, S.A.; SMITH, D.W.; BELOSEVIC, M.; CHANDRAKANTH, M. (2002) Use of *Bacillus subtilis* spores as model-microorganisms for ozonation of *Cryptosporidium parvum* in drinking water treatment. *Journal of Environmental Engineering and Science*, v. 1, n. 3, p. 173-186. <https://doi.org/10.1139/s02-012>
- DUGAN, N.R.; FOX, K.R.; OWENS, J.H.; MILTNER, R.J. (2001) Controlling *Cryptosporidium* oocysts using conventional treatment. *Journal of the American Water Works Association*, v. 93, n. 12, p. 64-76. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2001.tb09356.x>
- EDELKO, M.B.; HUCK, P.M.; COFFEY, B.M. (2005) A review of *Cryptosporidium* removal by granular media filtration. *Journal of the American Water Works Association*, v. 91, n. 12, p. 101-115. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2005.tb07544.x>
- HEADD, B. & BRADFORD, S.A. (2016) Use of aerobic spores as a surrogate for cryptosporidium oocysts in drinking water supplies. *Water Research*, v. 90, n. 1, p. 185-202. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.12.024>
- HEALTH CANADA. (2014) *Guidelines for Canadian Drinking Water Quality - Summary Table*. Ottawa: Water and Air Quality Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada.
- KARANIS, P.; KOURENTI, C.; SMITH, H. (2007) Waterborne transmission of protozoan parasites: a worldwide review of outbreaks and lessons learnt. *Journal of Water and Health*, v. 5, n. 1, p. 1-38.
- LOGAN, N.A. (2012) *Bacillus* and relatives in foodborne illness. *Journal of Applied Microbiology*, v. 112, n. 3, p. 417-429. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.05204.x>
- LOGAN, N.A. & DE VOS, P. (2009) Genus *Bacillus* Cohn 1872. In: DE VOS, P.; GARRITY, G.M.; JONES, D.; KRIEG, N.R.; LUDWIG, W.; RAINEY, F.A.; SCHLEIFER, K.H.; WILLIAMS, B.L. (Eds.). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. Nova York: Springer. p. 21-128.
- MAZOUA, S. & CHAUVEHEID, E. (2005) Aerobic spore-forming bacteria for assessing quality of drinking water produced from surface water. *Water Research*, v. 39, n. 20, p. 5186-5198. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2005.09.027>
- NIEMINSKI, E.C.; BELLAMY, W.D.; MOSS, L.R. (2000) Using surrogates to improve plant performance. *Journal of the American Water Works Association*, v. 92, n. 3, p. 67-78. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.2000.tb08910.x>
- NOVA ZELÂNDIA. Ministry of Health. (2008) *Drinking-water Standards for New Zealand 2005*. Wellington: Ministry of Health.
- PAYMENT, P.; LOCAS, A. (2011) Pathogens in water: value and limits of correlation with microbial indicators. *Ground Water*, v. 49, n. 1, p. 4-11. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.2010.00710.x>
- RICE, E.W.; FOX, K.R.; MILTNER, R.J.; LITTLE, D.A.; JOHNSON, C.H. (1996) Evaluating plant performance with endospores. *Journal of the American Water Works Association*, v. 88, n. 9, p. 122-130. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1996.tb06618.x> U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). (1991) *Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems: using surface water sources*. Washington, DC.: USEPA.
- _____. (1999) *Alternative disinfectants and oxidants guidance manual*. Washington, DC.: USEPA, Office of Water.
- _____. (2006) *National Primary Drinking Water*. Regulations: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule; Final Rule. Washington, DC.: USEPA.
- VERHILLE, S.; HOFMANN, R.; CHAURET, C.; ANDREWS, R. (2003) Indigenous bacterial spores as indicators of *Cryptosporidium* inactivation using chlorine dioxide. *Journal of Water and Health*, v. 1, n. 2, p. 91-100. <https://doi.org/10.2166/wh.2003.0011>
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). (2011) *Guidelines for drinking water quality*. 4. ed. Geneva: WHO, 2011.
- _____. (2017) *Water quality and health: review of turbidity: information for regulators and water suppliers*. Technical brief. Geneva: WHO.
- XAGORARAKI, I. & HARRINGTON, G.W. (2004) Zeta potential, dissolved organic carbon, and removal of *Cryptosporidium* oocysts by coagulation and sedimentation. *Journal of Environmental Engineering*, v. 130, n. 12, p. 1424-1432. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(2004\)130:12\(1424\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(2004)130:12(1424))