

I-113 - AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO TEMPO DE OPERAÇÃO NA REMOÇÃO DE MICROESFERAS DE POLIESTIRENO POR FILTRAÇÃO LENTA

Yuri Faria Frota

Engenheiro Civil pela Universidade de Brasília.

Yovanka Pérez Ginoris⁽¹⁾

Engenheira Química pelo Instituto Politécnico José Antonio Echevarria (ISPJAE). Mestre em Biotecnologia Industrial pela Escola de Engenharia de Lorena (EEL/USP). Doutora em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.

Cristina Celia Silveira Brandão

Engenharia Química pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Mestre em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Doutora em Engenharia Ambiental pelo Imperial College Of Science Technology And Medicine. Professora adjunta do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.

Endereço⁽¹⁾: Campus Universitário Darcy Ribeiro, Asa Norte- Brasília- DF- CEP: 70910-900 - Brasil - Tel: (61) 3107-0940 - e-mail: yovanka.perez@gmail.com

RESUMO

Cryptosporidium parvum é considerado um dos parasitas de veiculação hídrica mais importantes, principalmente por sobreviver a variadas condições ambientais, sendo resistente ao estresse ambiental. Os oocistos de *Cryptosporidium* apresentam reduzido tamanho e alta resistência à inativação com cloro, por isso, a filtração é considerada uma etapa fundamental para se obter remoções eficientes desse organismo. A filtração lenta tem se mostrado eficiente na remoção de oocistos, além de ser uma tecnologia simples de operar e manter, com aplicação especial no tratamento de água em pequenas comunidades. Nas pesquisas sobre desempenho da filtração lenta na remoção de oocistos, a manipulação desse protozoário pode representar um potencial risco à saúde. Além disso, a técnica analítica para recuperar, detectar e quantificar os oocistos é onerosa e de difícil execução. Assim, indicadores ou substitutos confiáveis dos oocistos, como as microesferas autofluorescentes, têm sido utilizados nos estudos sobre desempenho de várias tecnologias de tratamento de água incluindo a filtração lenta em areia. Este trabalho investigou, em escala de bancada, o desempenho da filtração lenta em areia na remoção de microesferas autofluorescentes em substituição aos oocistos de *Cryptosporidium*, com ênfase na avaliação da influência do tempo de operação (10 e 20 dias), bem como na ausência de amadurecimento, em sua remoção e arraste. Também foi avaliado o arraste de microesferas até 72 horas após o período de alimentação dessas partículas nos filtros. Também foi avaliada a possível ingestão de microesferas pelos organismos zooplancônicos no meio filtrante. Foi constatado que o nível de amadurecimento dos filtros lentos influencia na remoção de microesferas. O aumento do tempo de operação de 10 a 20 dias pareceu promover uma melhora na remoção de microesferas, entretanto nos efluentes com turbidez residual de até 0,5 uT foram detectadas microesferas. Quanto ao arraste das microesferas, constatou-se que a retenção aumentou nos primeiros 20 centímetros do meio filtrante com o aumento do tempo de operação dos filtros de 0 para 20 dias, indicando a influência das interações físicas, químicas e biológicas na retenção de partículas com dimensões e densidade próximas aos oocistos. Por último, a análise da microfauna colonizadora do meio filtrante, revelou a ocorrência de organismos zooplancônicos potenciais predadores de oocistos, sendo visualizadas microesferas no interior de rotíferos do gênero *Keratella*, o que constitui uma forte evidência da atuação do mecanismo biológico na inativação, e/ou retenção de microesferas.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração lenta, tempo de operação, remoção de microesferas autofluorescentes.

INTRODUÇÃO

Cryptosporidium parvum é considerado um dos parasitas de veiculação hídrica mais importantes, principalmente pelo fato desse micro-organismo ser capaz de sobreviver as mais variadas condições ambientais, sendo resistente ao estresse ambiental. Os surtos de criptosporidiose têm sido associados,

geralmente, ao consumo de água insatisfatoriamente tratada, às falhas nos sistemas operacionais de estações de tratamento de água e ao contato com águas recreacionais contaminadas como represas, lagos e piscinas.

Face a este panorama, e levando em conta as recomendações da Organização Mundial da Saúde, o Ministério da Saúde, por meio da Portaria nº 2914 de 2011, recomenda a realização de análises de vírus e protozoários patogênicos, bem como de oocistos de *Cryptosporidium* sp., nos mananciais, tendo como meta a ausência desses organismos. Além disso, a referida Portaria estabelece que toda água para consumo humano proveniente de manancial superficial deve incluir tratamento por filtração de modo a promover a produção de água microbiologicamente segura em relação aos patógenos emergentes.

Os oocistos de *Cryptosporidium* apresentam reduzido tamanho (4-6 µm) e alta resistência à inativação com cloro. Por isso, a filtração é considerada uma etapa fundamental para se obter remoções eficientes desse organismo.

A filtração lenta tem se mostrado uma tecnologia eficaz na remoção não só de oocistos de *Cryptosporidium*, mas também de outros patógenos (Schuler *et al.*, 1991, Timms *et al.*, 1995; Dullemeier *et al.*, 2006). Esta tecnologia tem como principais vantagens a simplicidade de operação e manutenção que a tornam atrativa para aplicação no tratamento de água em pequenas comunidades (Logsdon *et al.*, 2002). Além disso, a filtração lenta dispensa o uso de produtos químicos para a coagulação.

A remoção de patógenos nos filtros lentos ocorre por meio da combinação de mecanismos químicos, físicos e, principalmente, biológicos. Assim, a maturidade do filtro lento, dada pela formação de uma camada biologicamente ativa na superfície do meio filtrante, composta por outros micro-organismos planctônicos cuja origem é a água bruta, é fundamental para alcançar elevadas eficiências de remoção de patógenos.

Os trabalhos realizados até o momento sobre remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por meio de filtração lenta indicam que é possível atingir percentuais de remoção acima de 99,9% quando os filtros lentos encontram-se amadurecidos. No entanto, os mecanismos pelos quais ocorre a remoção de oocistos não foram totalmente esclarecidos.

A elevada resistência e reduzido tamanho dos oocistos de *Cryptosporidium* são fatores que podem representar um potencial risco à saúde. Além disso, a técnica analítica utilizada na recuperação, detecção e quantificação deste patógeno é bastante onerosa e de difícil execução. Em função disso, torna-se necessário o uso de indicadores ou substitutos confiáveis dos oocistos nos estudos sobre remoção de oocistos por diferentes tecnologias de tratamento de água incluindo a filtração lenta em areia.

Vários estudos indicam a existência de limitações na utilização dos indicadores turbidez e coliformes. Por isso, pesquisas vêm sendo realizadas na busca de novos indicadores de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*. Nesse sentido, esporos de bactérias aeróbias e anaeróbias, contagem de partículas e algas, têm sido investigados com essa finalidade.

Mais recentemente microesferas de poliestireno, com tamanho e densidade próximas às dos oocistos, têm sido utilizadas em substituição a este protozoário para avaliar o desempenho de vários processos de tratamento de água na sua remoção. No entanto, a maioria dos trabalhos têm avaliado tecnologias de tratamento com coagulação química, nas quais os mecanismos atuantes na remoção de impurezas são de natureza físico-química como é o caso do tratamento em ciclo completo, bem como as tecnologias de tratamento simplificado como a filtração direta, descendente e ascendente, e a dupla filtração.

Devido aos diferentes mecanismos de atuação na remoção de impurezas na filtração lenta, principalmente os de origem biológica, buscou-se com o desenvolvimento deste trabalho, investigar, em escala de bancada, o desempenho da filtração lenta em areia na remoção de microesferas de poliestireno autofluorescentes em substituição aos oocistos de *Cryptosporidium*, com ênfase na avaliação da influência do tempo de operação (10 e 20 dias), bem como na ausência de amadurecimento, em sua remoção e arraste. Também foi avaliada a existência de arraste de microesferas até 72 horas após o fim do período de inoculação das microesferas nos filtros lentos. Por último, foi avaliada a possível ingestão de microesferas pelos organismos zooplânctônicos nos primeiros 10 cm do meio filtrante.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho experimental foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Água (LAA) do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB).

A água de estudo utilizada para o amadurecimento dos filtros lentos bem como nos ensaios de filtração foi proveniente do Lago Paranoá. Foram coletados diariamente aproximadamente 20 litros de água do Lago Paranoá em recipiente de plástico, e transportados para o LAA para alimentação dos filtros lentos.

As microesferas autofluorescentes empregadas nos ensaios de filtração lenta foram adquiridas da Polyscience Incorporation, Warrington, Pensilvânia, EUA. À semelhança com os oocistos de *Cryptosporidium*, as microesferas possuem diâmetro de 4,5µm e densidade de 1,045 g/mL. Alguns trabalhos como o desenvolvido por Daí e Hozalski (2003) relatam que o potencial zeta das microesferas de poliestireno fluorescentes da Polyscience Inc. utilizadas na avaliação do desempenho de processos de filtração na remoção de oocistos é de -7,4 a -50,2 mV em pH 6,7, resultante dos grupos carbóxico na superfície das microesferas.

O sistema experimental foi constituído de um tanque de alimentação, uma bomba de recalque, uma caixa de nível constante, uma bomba peristáltica com seis cabeçotes destinada a alimentar seis colunas de filtração lenta confeccionadas em acrílico, instaladas em um suporte de ferro e madeira. As colunas de filtração possuem 1,25 m de comprimento, 30 mm de diâmetro interno e estão dotadas de seis tomadas de pressão ao longo do meio filtrante. A Figura 1 apresenta o esquema do sistema de filtração lenta em areia.

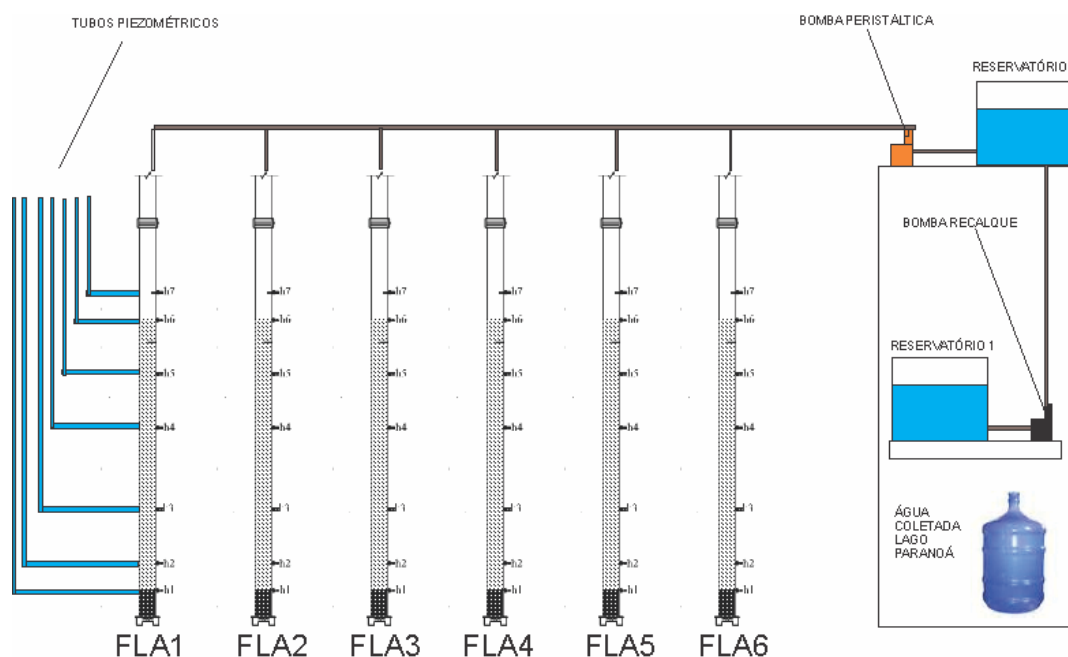


Figura 1: Sistema experimental de filtração lenta em areia.

A camada estrutural de areia mais grossa e o meio filtrante dos 6 filtros lentos de areia (FLA 1, FLA2, FLA3, FLA4, FLA5 e FLA6) apresentaram características similares às utilizadas por Taira (2008). Tais características são apresentadas na Tabela 1.

Cada um dos filtros lentos foi dotado de seis tomadas de pressão. Cinco desses pontos foram posicionados no meio filtrante e na interfase entre o meio filtrante e camada estrutural de areia mais grossa.

Os filtros lentos foram operados em regime de 24 horas por dia com taxa de filtração constante e nível de água sobre o meio filtrante variável.

Tabela 1: Parâmetros dos filtros lentos de areia

Parâmetro	Valor Adotado
Taxa de filtração	3m ³ /m ² .d
Diâmetro interno	3,5 cm
Diâmetro efetivo	0,27 mm
Coefficiente de uniformidade	1,9
Profundidade inicial do meio filtrante	0,85 m
Altura da água acima do meio filtrante	Variável
Granulometria do pedregulho – camada suporte	1,4 a 3,1 mm
Espessura da camada estrutural (areia grossa)	50 mm

Antes de iniciar o amadurecimento dos filtros, testes com traçador salino (cloreto de sódio) foram conduzidos com a taxa de filtração adotada. Com isso, foi possível determinar o tempo necessário para uma fração de água percorrer todo o filtro. Os testes consistiam no monitoramento da condutividade do efluente de cada unidade. O tempo necessário para a substituição total da água na unidade foi considerado o tempo de detenção para efeito de início da coleta de amostra de cada fração alimentada.

De posse dos tempos de detenção em cada unidade de filtração, foi possível definir os horários das coletas de amostras de efluentes de cada uma delas sem correr o risco de sofrer diluição em função da água que já estava presente em cada uma das unidades filtrante.

Para avaliar a influência do período de amadurecimento na remoção de microesferas, os filtros foram arranjados em três pares: FLA1 e FLA2, FLA3 e FLA4, e FLA5 e FLA6. Cada par de filtros foi utilizado para avaliar a influência do período de amadurecimento na remoção e arraste das microesferas de poliestireno. Nos filtros FLA1 e FLA2 foi verificada a influência da ausência de amadurecimento na remoção e arraste de microesferas, respectivamente. Nos filtros FLA 3 e FLA 4, FLA 5 e FLA6 essa influência foi avaliada nos períodos de 10 e 20 dias de amadurecimento, respectivamente.

Inicialmente, foram realizados os ensaios de filtração com inoculação de microesferas em concentração de 10⁵ unidades/L na água bruta afluente aos filtros FLA 1 e FLA2, não amadurecidos. Finalizado o ensaio de filtração nos filtros lentos não amadurecidos, foi iniciada a alimentação dos filtros FLA 3 - FLA4, FLA5 - FLA6 com água do Lago Paranoá, com o objetivo de alcançar graus de amadurecimento de 10 e 20 dias, respectivamente. Após os períodos de amadurecimento, foram realizados os ensaios de filtração com inoculação de microesferas na água bruta afluente mantendo a concentração de microesferas na água bruta similar à utilizada nos ensaios com os filtros não amadurecidos.

As suspensões de microesferas utilizadas nos ensaios de inoculação foram preparadas a partir da suspensão concentrada. Os volumes de aplicação na água bruta foram calculados em função do volume final a ser aplicado no reservatório de água bruta (10 L) de modo a obter a concentração de microesferas na água bruta de, aproximadamente, 10⁵ unidades/L.

Após o tempo de detenção da água nas unidades de filtração eram realizadas coletas pontuais de amostras de efluente filtrado para determinação de turbidez, coliformes totais e E.coli.

Da mesma forma, os efluentes dos FLAs foram coletados por tempo equivalente à duração da inoculação das microesferas, constituindo-se em amostras compostas que foram utilizadas para contagem das microesferas de poliestireno. Para efeito de análise, foram descartados os afluentes dos filtros lentos equivalentes à primeira e última hora de inoculação para evitar a mistura com a água bruta não contaminada.

Finalizado o período de inoculação, a operação dos filtros FLA 1, FLA 3 e FLA 5 foi interrompida por meio de desligamento do sistema de alimentação, e foram coletadas tanto a camada biológica (smutchdezcke) como as frações de areia em diferentes profundidades do meio filtrante com o intuito de avaliar a retenção das microesferas nas diferentes profundidades do meio filtrante, além de verificar a ingestão de microesferas pelo zooplâncton (protozoários, rotíferos e crustáceos invertebrados).

Os filtros FLA 2, FLA 4 e FLA 6 continuaram em funcionamento por 72 horas para avaliação do arraste de microesferas do meio filtrante. Nesse período essas unidades foram operadas com água bruta isenta de microesferas. Durante esse período, foram coletadas amostras compostas de afluente dos filtros lentos para detecção e contagem das microesferas a cada 24 horas.

Os métodos analíticos utilizados para a determinação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos foram os recomendados pelo Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

A recuperação e concentração das microesferas nas amostras de água bruta, água filtrada, bem como nas suspensões de areia do meio filtrante foram efetuadas seguindo a metodologia proposta por Cerqueira (2008).

RESULTADOS

Na Tabela 2 são apresentados os resultados de remoção de turbidez, coliformes totais, bem como as remoções de microesferas durante os ensaios de filtração com inoculação das microesferas na água de estudo.

Tabela 2: Valores de turbidez, coliformes totais e microesferas fluorescentes na água e nos afluentes dos filtros e eficiências de remoção obtidas nos ensaios de filtração com inoculação de microesferas.

Ensaio	Condição experimental	Unidade de filtração	Coliformes totais		Turbidez		Microesferas fluorescentes	
			Rem %	Rem (log)	uT	% Rem	Rem (%)	Rem (log)
E1	Sem amadurecer	AB	-	-	3,49	-	-	-
		FLA1	97,88	1,67	1,13	67,62	99,66	2,47
		FLA2	98,83	1,67	1,33	61,89	99,60	2,40
E2	Sem amadurecer	AB	-	-	3,57	-	-	-
		FLA1	99,99	3,89	0,77	78,40	98,80	1,92
E3	Amadurecimento por 10 diass	AB	-	-	2,59	-	-	-
		FLA3	99,99	4,10	0,46	81,32	99,95	3,29
		FLA4	99,99	4,08	0,42	83,98	99,994	4,26
E4	Amadurecimento por 20 dias	AB	-	-	3,38	-	-	-
		FLA5	99,999	5,28	0,41	87,81	99,995	4,31
		FLA6	99,997	4,53	0,46	86,33	-	-

Verifica-se que o tempo de operação dos filtros lentos influenciou na remoção de turbidez, coliformes totais e microesferas: quanto maior o tempo de operação, melhor é o desempenho do filtro lento na remoção dos parâmetros avaliados. Nos ensaios conduzidos mesmo com os filtros não amadurecidos foi verificada a remoção média de turbidez (69,3%), coliformes totais (2,78 log) e microesferas (2,26 log).

Comparando os valores médios de remoções de turbidez entre os experimentos efetuados com os filtros não amadurecidos (E1 e E2) e amadurecidos (E3 e E4) e (E5 e E6), observa-se que à medida que o tempo de operação aumentou de 0 para 10 e 20 dias, os valores médios de remoção de turbidez aumentaram de 69,3 para 82,65 e 87,07%, respectivamente. As remoções de coliformes totais e microesferas, respectivamente, também aumentaram nos ensaios realizados após operação por 10 dias (4,09 e 3,29 log) e 20 dias (4,91 e > 4,31 log) em relação às remoções alcançadas pelos filtros não amadurecidos (2,78 e 2,26 log). Entretanto, não foi observado aumento proporcional das remoções de turbidez e coliformes com o aumento do tempo de operação dos filtros. Os maiores aumentos na remoção de turbidez (13%) e coliformes totais (1,3 log) ocorreram nos filtros amadurecidos por 10 dias. Entretanto, a remoção de microesferas apresentou uma elevação proporcional ao tempo de operação de 0 para 20 dias.

Em relação à turbidez, verifica-se que para efluentes com turbidez menor ou igual que 0,5 uT foram detectadas microesferas no efluente dos filtros FLA3 amadurecido por 10 dias e FLA5 amadurecido por 20 dias.

Para avaliar a retenção das microesferas nas diferentes camadas do meio filtrante dos filtros lentos amadurecidos ou não, foram seccionadas 6 diferentes camadas para análise. A Figura 2 mostra um comparativo

da retenção das microesferas nas diferentes camadas do meio filtrante, nos diferentes períodos de operação. Apenas um filtro dos pares de filtros avaliados em cada condição experimental foi examinado com essa finalidade. O outro filtro foi mantido em operação para análise do arraste das microesferas.

Constata-se o aumento na retenção de microesferas nos primeiros 20 centímetros do meio filtrante com o aumento no tempo de operação dos filtros de 0 para 20 dias. Observa-se que no filtro não amadurecido foi encontrado maior número de microesferas do que na segunda camada, evidenciando uma retenção irregular dessas partículas. Tal comportamento pode ser atribuído à facilidade de percolação das microesferas no meio filtrante não amadurecido. Nessas condições, as microesferas estão sujeitas à maior carreamento e arraste dentro do meio filtrante, devido à inexistência da schmutzdecke e da atuação dos mecanismos físicos, químicos e biológicos decorrentes do amadurecimento do meio filtrante.

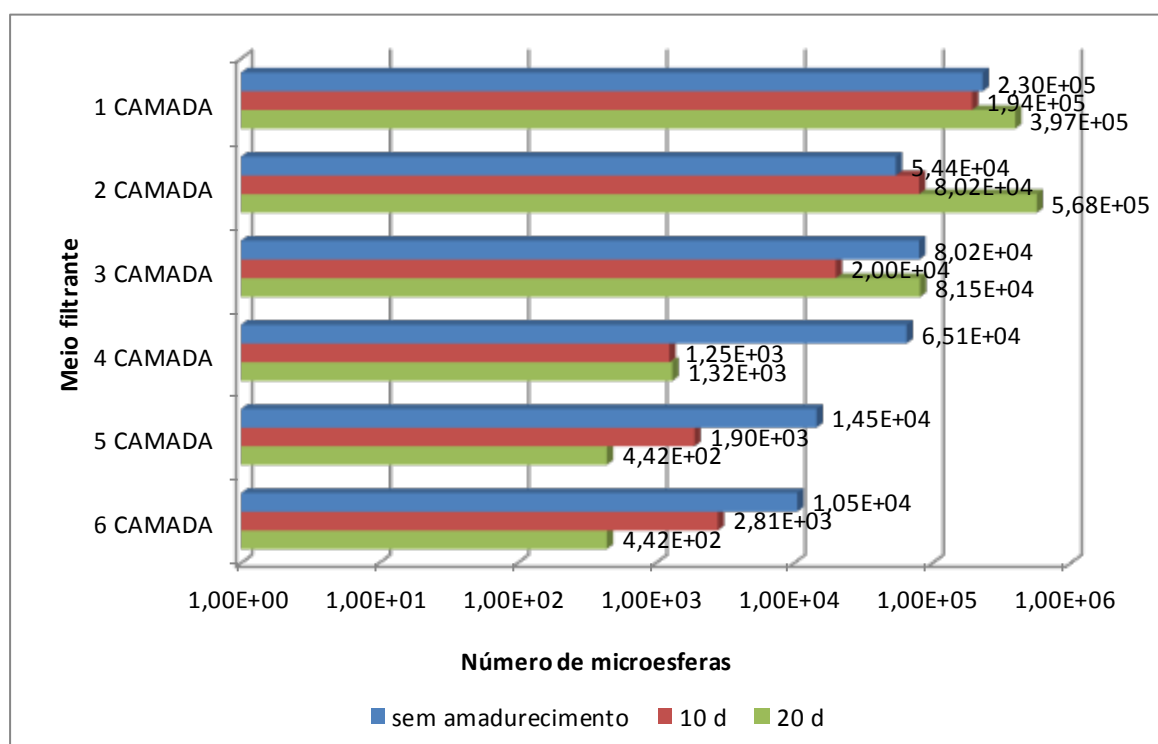


Figura 2: Retenção de microesferas nas camadas de meio filtrante nos períodos de operação.

Verifica-se também que uma fração significativa de microesferas (da ordem de 10^4 unidades) foram retidas nos últimos 10 centímetros do meio do filtro não amadurecido. Esses resultados indicam a vulnerabilidade de filtros lentos não amadurecidos em relação ao risco de presença partículas com tamanhos próximos aos oocistos de *Cryptosporidium* na água filtrada como resultado do desprendimento ou arraste das mesmas do meio filtrante. No entanto, deve ser ressaltado que a Norma NBR 12.216/92, que fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto de estação de tratamento de água destinada à produção de água potável para abastecimento público, recomenda 0,9 m como espessura mínima do meio filtrante de filtros lentos. Essa espessura é 40 cm maior do que a espessura do meio filtrante utilizado nas unidades de filtração avaliadas na presente pesquisa. Dessa forma, em condições reais de operação e meio filtrante com características similares às avaliadas no presente estudo (distribuição granulométrica e coeficiente de desuniformidade), a vulnerabilidade do filtro em relação à presença de partículas com dimensões próximas às dimensões dos oocistos na água filtrada em condições de arraste parece ser menor do que o apresentado pelos filtros lentos avaliados nesse estudo.

Já o filtro amadurecido por 20 dias apresentou um desempenho superior de retenção de microesferas nos primeiros 20 centímetros do meio filtrante em relação aos filtros sem amadurecimento e 10 dias de amadurecimento, respectivamente. Este comportamento pode ser explicado com base na intensificação das interações entre as partículas, tanto de natureza química, física como biológica na camada biológica

“schmutzdecke” desenvolvida na superfície da areia bem como a colonização pelos organismos zooplancônicos nos primeiros centímetros do meio filtrante. Como resultado da intensificação dessas interações, a remoção de microesferas no filtro amadurecido por 20 dias foi 10 vezes superior quando comparada à remoção a remoção sob as mesmas condições operacionais no filtro sem amadurecimento.

Verifica-se ainda que, em função da melhor retenção de partículas nas camadas superiores do meio filtrante com o aumento do tempo de operação o número de microesferas retidas nas camadas mais profundas do meio filtrante foi gradativamente menor. Com tudo, o número de partículas retidas nos últimos 10 centímetros de areia do filtro 20 dias amadurecido é elevado (442 unidades) o que pode representar um risco de presença de partículas com dimensões e densidade próxima aos oocistos de *Cryptosporidium* na água filtrada em eventos de arraste de partículas.

Em relação às microesferas presentes na água filtrada, ou seja, que não ficaram retidas no meio filtrante, foi verificado que em média 0,61% das microesferas alimentadas atravessaram o meio filtrante do filtro não amadurecido até 72 horas após a interrupção da alimentação de água inoculada com microesferas. Com 10 de operação caiu para 0,06%. Já com 20 dias de operação do filtro esse percentual foi apenas de 0,01%, o que reforça a influência do tempo de operação (amadurecimento) dos filtros lentos na remoção de partículas com tamanhos próximos aos oocistos.

A Figura 3 apresenta fragmentos da schmutzdecke do filtro amadurecido por 20 dias com microesferas retidas.

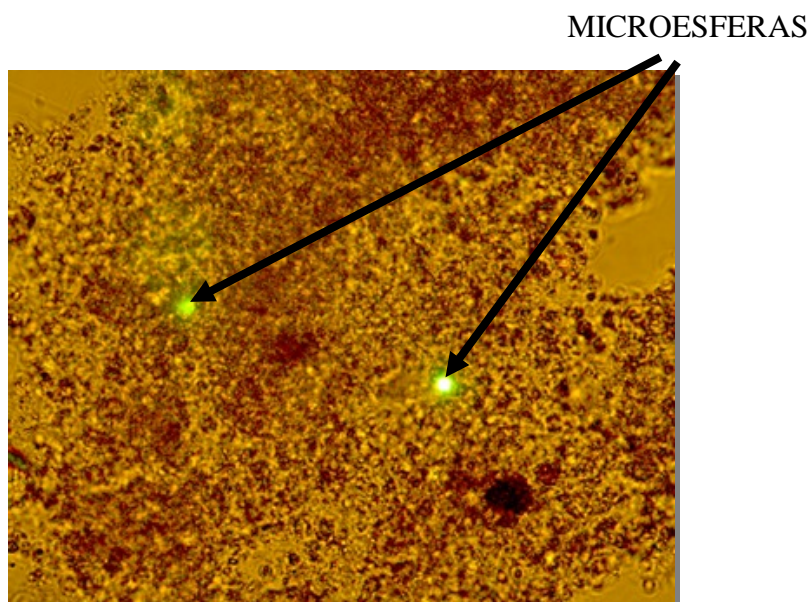


Figura 3: Microesferas retidas na schmutzdecke desenvolvida no FLA amadurecido por 20 dias

A Figura 4 ilustra o comportamento da concentração de microesferas nos afluentes dos filtros amadurecidos 24, 48 e 72 horas após a interrupção da alimentação de água bruta contendo microesferas.

Observa-se uma concentração muito próxima de microesferas, na ordem de 17 unidades/L, no afluente dos filtros com 10 e 20 dias de amadurecimento nas primeiras 24 horas após o término do pico de contaminação. Após esse período (48h e 72h) não foram detectadas microesferas na água filtrada. Isso indica que a maior fração das microesferas inoculadas na água bruta, perfazendo um total de 2×10^6 microesferas em 24 horas de alimentação da água bruta, correspondente a um percentual superior a 99,999%, permaneceram retidas no meio filtrante 72 horas após o término do pico de contaminação indicando alta eficiência de retenção de microesferas pelos filtros lentos amadurecidos. Em relação à influência do tempo de operação no arraste das microesferas os resultados se mostraram similares em ambas as condições de amadurecimento avaliadas, ou seja, o aumento do tempo de operação do filtro de 10 para 20 dias não parece influenciar no arraste de microesferas do meio filtrante.

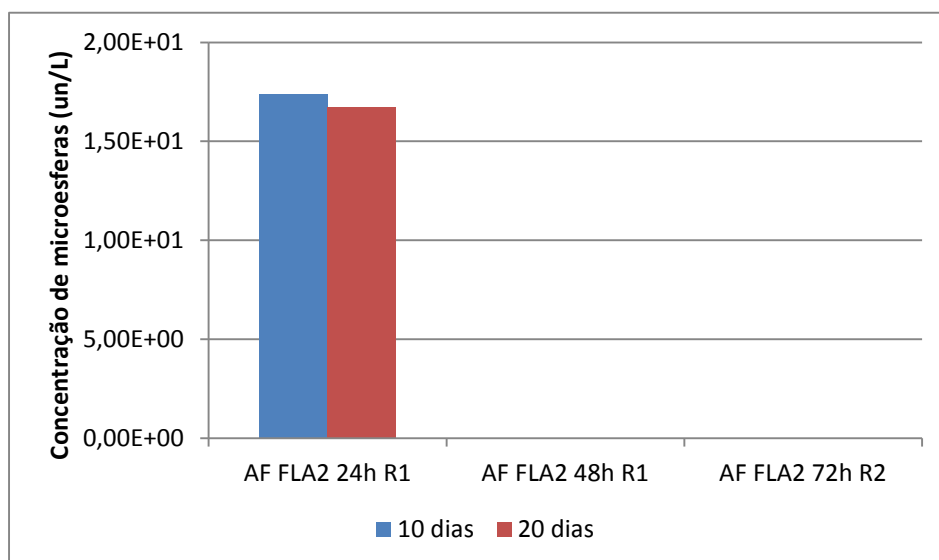


Figura 4: Arraste de microesferas nos filtros amadurecidos por 10 e 20 dias

Quanto à análise da microfauna colonizadora do meio filtrante, o material retirado nos 7 primeiros centímetros, incluindo a schmutzdecke, do meio filtrante dos filtros amadurecidos, foi analisado in vivo para identificação de organismos apontados como predadores naturais de oocistos de *Cryptosporidium*. Mediante a análise das amostras in vivo do meio filtrante dos filtros amadurecidos por 10 e 20 dias foram identificados protozoários da Classe Ciliata, representada pelas ordens Peritrichia (gênero *Vorticella*), Spirotricha (Subclasse Suctorina) e Holotrichia (Subordem Gymnostomata). Também foram visualizados metazoários pertencentes às Classes Rotatoria (Ordem Monogononta) e Nematoda.

Vários gêneros da Ordem Rotatoria têm sido avaliados e apontados como predadores naturais de oocistos de *Cryptosporidium*. Em estudo in vitro conduzido por Fayer *et al.* (2000) foi constatada a ingestão de até 15 oocistos/rotífero por seis gêneros da Ordem Monogononta. Protozoários pertencentes à Classe Ciliata (*Paramecium* e *Stylonichya*), também têm sido considerados predadores de oocistos (Stot *et al.*, 2003).

No material coletado da schmutzdecke do filtro lento amadurecido por 20 dias foram visualizadas no interior de alguns indivíduos pertencentes à ordem Monogononta, gênero *Keratella*, microesferas fluorescentes indicando que estes organismos podem ser potenciais predadores de oocistos de *Cryptosporidium*. A imagem com a microesfera no interior do organismo é ilustrada na Figura 4.

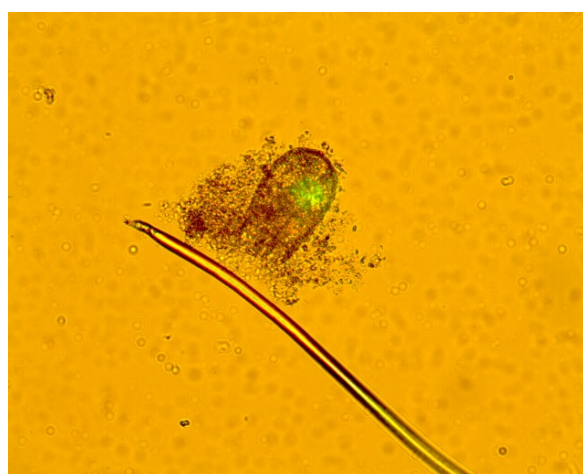


Figura 4: Rotífero da Ordem Monogononta (gênero *Keratella*) com microesfera no seu interior.

É importante destacar que, embora tenha sido observada a ingestão de microesferas com tamanhos próximos aos oocistos de *Cryptosporidium* por *Keratella*, o que se constitui em uma forte evidência da atuação do mecanismo biológico na remoção de microesferas, estas evidências não permitem confirmar a predação como mecanismo biológico de remoção de microesferas por filtração lenta. Para poder confirmar essa hipótese é necessário investigar se os organismos que compõem a comunidade zooplancônica que coloniza o meio filtrante, incluindo *Keratella*, são capazes de digerir completamente as microesferas. Caso as microesferas não sejam totalmente digeridas pelos organismos zooplancônicos, ou seja, sejam apenas retidas no trato intestinal e após certo tempo expelidas junto com o material fecal, a predação como mecanismo biológico direto de remoção de microesferas, e, portanto de *Cryptosporidium*, deve ser descartada.

Ainda deve ser avaliado se a permanência dessas partículas no trato intestinal dos rotíferos pode provocar alguma mudança em suas características superficiais que possa ter influências na retenção das microesferas no meio filtrante. Nessas condições, os organismos zooplancônicos que colonizam o meio filtrante de filtros lentos e que ingerem oocistos e/ou partículas com dimensões próximas a estes organismos estariam apresentando uma influência indireta na remoção das microesferas uma vez que os mesmos não digerem completamente essas partículas. Caso as variações na superfície das microesferas sejam constatadas deve se investigar se essas variações favorecem ou não sua remoção e/ou inativação durante a filtração lenta.

CONCLUSÕES

O tempo de operação, e por consequência o nível de amadurecimento, influencia na remoção pelos filtros lentos de microesferas com tamanhos próximos aos oocistos de *Cryptosporidium*. O aumento do tempo de operação dos filtros lentos de 10 para 20 dias pareceu promover uma melhora na remoção de microesferas. Verificou-se que, embora os níveis de remoção de microesferas dos filtros amadurecidos tenham sido elevados, para efluentes com turbidez menor ou igual que 0,5 uT foram detectadas microesferas.

Foi constatado um aumento na retenção de microesferas nos primeiros 20 centímetros do meio filtrante com o aumento no tempo de operação dos filtros de 0 para 20 dias, indicando a importância da intensificação das interações físicas, químicas e biológicas na retenção de partículas com dimensões e densidade próximas aos oocistos de *Cryptosporidium*. Entretanto, o tempo de operação (10 ou 20 dias) não parece influenciar no arraste das microesferas, sendo apenas detectadas em torno de 17 microesferas nos afluentes dos filtros 24 horas após o término da carreira de filtração.

A ocorrência na schmutzdecke e nos primeiros centímetros do meio filtrante de organismos zooplancônicos apontados como potenciais predadores de oocistos bem como a visualização de microesferas no interior de indivíduos pertencentes à ordem Monogononta (gênero *Keratella*) constitui uma forte evidência da atuação do mecanismo biológico na inativação, e/ou retenção de microesferas devido aos mecanismos indiretos de remoção, e da complexidade dos mecanismos responsáveis pela remoção de microesferas e possivelmente de oocistos de *Cryptosporidium* por esses organismos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. (APHA) American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21a Ed. Washington: APHA, AWWA, WEF. 2005.
2. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público, NBR 12216, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 1992.
3. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Nº 2914 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 República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF. 2011.
4. CERQUEIRA, D.A. Remoção de oocistos de *Cryptosporidium parvum* e de indicadores no tratamento de água por ciclo completo, filtração direta descendente e dupla filtração, em escala piloto. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, Belo Horizonte, MG. 214p. 2008.
5. DAI, X. E HOZALSKI, R. M. Evaluation of Microspheres as surrogates for *Cryptosporidium parvum* oocysts in filtration experiments. Environmental Science and Technology, v. 37, p. 1037 – 1042. 2003.

6. DULLEMONT, Y. J., SCHIVEN J. F., HIJNEN, W. A. M., COLLIN, M., MAGIC-KNEZEV, A., OORTHUIZEN, W.A. Removal of microorganisms by slow sand filtration. In: Gimbel, E. Graham, N.J. D., Collins, M.R. (eds) Recent progress in slow sand and alternative biofiltration processes. IWA Publishing, Londres, Inglaterra, p. 12-20. 2006.
7. SCHULER, P. F., GHOSH, M. M. & GOPOLAN, P. Slow sand and diatomaceous earth filtration of cysts and other particulates. *Water Research*, v. 25, n. 8, p. 995–1005. 1991.
8. STOTT, R., MAY, E., RAMIREZ, E., WARREN, A. Predation of *Cryptosporidium* oocysts by protozoa and rotifers: implications for water quality and public health. *Water Science and Technology*, v.47, p.77-88. 2003.
9. TIMMS, S., SLADE, J.S., FRICKER, C.R. Removal of *Cryptosporidium* by slow sand filtration. *Water Science and Technology*, v.31, n.5-6. p. 81-84. 1995.