

I-038 – REMOÇÃO DE INDICADORES DE *CRYPTOSPORIDIUM* NO TRATAMENTO DE ÁGUA POR FILTRAÇÃO EM MARGEM

Vitor Hugo Jangada ⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental (UNICENTRO) – Mestrando Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Renata Iza Mondardo

Bacharel em Química (UFSC) – Doutora em Engenharia Ambiental (UFSC) – Pós Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Maurício Luiz sens

Engenheiro Sanitarista (UFSC) – Doutor em Engenharia Ambiental (Université de Rennes I / França) – Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Endereço ⁽¹⁾: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – CTC – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – Campus Universitário – Trindade – Florianópolis – Santa Catarina- Brasil - CEP: 88040-900 – Fone/Fax: (48) 3721 9470 – mls@ens.ufsc.br

RESUMO

Este trabalho trata-se da remoção de *Cryptosporidium spp.* em sistema de filtração em margem através da simulação de *Cryptosporidium* em microesferas de poliestireno, as quais possuem as mesmas características do organismo real. O estudo foi realizado em um sistema piloto de colunas filtrantes de sedimento composto por 5 colunas de 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m e 3 m de leito filtrante, operando a uma vazão de entrada de 150 mL.h⁻¹. Após a montagem do sistema piloto, iniciou-se o período de aclimação durante 90 d, para estabilização e começar a apresentar resultados mais confiáveis. Após este período, a aplicação de microesferas foi feita através de pulsos no topo de cada coluna, e em seguida avaliou-se em microscópio de fluorescência a presença ou ausência destas microesferas na água filtrada. Os resultados obtidos no final do período de aclimação apresentaram remoções maiores do que as obtidas no período inicial, sendo que os parâmetros turbidez, cor aparente e pH enquadraram-se na legislação brasileira, já os parâmetros carbono orgânico total, condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido mesmo não sendo especificados na legislação, alcançaram valores condizentes com uma água de boa qualidade. Nas análises microscópicas, foi possível observar que a remoção das microesferas acontece a uma distância não menor do que 3 m, ou seja, apenas a maior coluna foi capaz de apresentar remoção completa das microesferas. Observou-se também que a turbidez não corresponde a um indicador confiável da presença de *Cryptosporidium spp.*, pois mesmo quando alcançava valores menores do que 0,5 uT, como recomenda a legislação nacional, não garantia a ausência destas microesferas.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração em Margem, *Cryptosporidium*, Tratamento de água, Turbidez.

INTRODUÇÃO

Dentre as diversas doenças que podem ser originadas através do meio aquático, algumas vêm ganhando grande destaque da parte dos pesquisadores nos últimos anos, como é o caso da Criptosporidiose, uma infecção causada no trato intestinal de seres humanos e animais através do protozoário *Cryptosporidium spp.* Este protozoário é comumente encontrado no ambiente na forma de oocisto, a qual possui forma esférica e apresenta proteção através de uma grossa parede que lhes garante maior resistência contra as rigorosas perturbações externas, incluindo até mesmo a resistência contra a desinfecção química por cloro, justificando assim, o maior interesse dos pesquisadores.

Uma atenção crescente tem sido dada a contaminação por *Cryptosporidium spp.*, muitas vezes presentes nos esgotos sanitários e nas atividades agropecuárias, sendo estas as principais fontes de contaminação de águas de abastecimento. Como este protozoário é capaz de sobreviver a estresses ambientais, possuir grande resistência à ação de desinfetantes, e seu tamanho ser pequeno o suficiente para facilitar a passagem através dos tratamentos físicos da água, a remoção torna-se difícil através dos processos de separação, como a decantação e a filtração (CIRQUEIRA, 2008).

Dentre as possíveis tecnologias não convencionais que possam atender aos novos padrões de qualidade da água, surge a filtração em margem, que consiste na captação de água através de poços localizados na margem de um rio ou lago (SENS *et. al*, 2006). A Filtração margem é capaz de remover e reduzir significativamente micro-poluentes como agrotóxicos, cianobactérias, cianotoxinas e microrganismos patogênicos. Destacam-se no Brasil os estudos com filtração em margem de lagoa para remoção de cianobactérias e saxitoxinas (MONDARDO, 2009), estudos com filtração em margem de rio na remoção de agrotóxico (MICHELAN, 2010). Essa técnica, simples e eficiente, é utilizada a cerca de 100 anos na Europa, presente em muitos rios e algum lagos, principalmente em países como Grã-Bretanha e Alemanha para o abastecimento de água potável. Os poços, perfurados em aquíferos livres, tem profundidade de 10 a 60 metros. Podem estar localizados desde 1 ou 2 m até 100 m distantes da margem, dependendo das condições hidrogeológicas. A qualidade da água obtida depende das características do solo por onde a água percola e da distância entre o aquífero de superfície e o poço.

Visando aumentar a qualidade microbiológica da água potável devido ao maior número de incidentes com cistos de *Giardia* e oocistos de *Cryptosporidium spp.*, a atual Portaria Nº 2914 do Ministério da Saúde implementou modificações no que se refere ao valor máximo permitido de turbidez, pois acredita-se que a partir do bom desempenho da etapa de filtração na remoção de partículas suspensas ocorra também a remoção de protozoários. O antigo valor permitido de 1 uT na pré-desinfecção por tratamento convencional, tornou-se mais rigoroso e estabeleceu-se em 0,5 uT para a mesma etapa do tratamento. Já para filtração lenta e para águas subterrâneas, no qual devido a semelhança enquadrou-se a filtração em margem, o valor abaixou de 2 uT para 1 uT.

O parâmetro turbidez vem sendo correlacionado com a presença do protozoário *Cryptosporidium spp.* devido ao fato de que águas mais turvas possam proporcionar abrigo a este microrganismo, já que os oocistos possuem certa facilidade a aderência em compostos orgânicos e inorgânicos. Portanto, é considerado que a presença de microrganismos está diretamente ligada ao grau de turbidez da água, de forma que quanto maior a medida de turbidez, maior a possibilidade de se encontrar o patógeno tanto em águas tratadas quanto em águas não tratadas (LIMA, 2003).

Apesar das mudanças ocorridas na Portaria Nº 2914, ainda é necessário realizar uma melhor avaliação da correlação existente entre a remoção do parâmetro físico turbidez e a remoção do protozoário *Cryptosporidium spp.*, a fim de garantir que a turbidez seja um indicador físico confiável na remoção deste microrganismo, e que as mudanças propostas pela nova portaria possuam razão científica para ser implementada.

Portanto, com o intuito de produzir água de melhor qualidade destinada ao consumo humano, diminuir os riscos de contaminação, e melhorar a saúde pública, este trabalho propõem a investigar a filtração em margem como método alternativo na remoção de *Cryptosporidium*.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido mediante a instalação de um sistema piloto de filtração em margem composto por colunas filtrantes de sedimento. A instalação deste sistema piloto foi realizada no Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOÁ), localizado na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

A água de estudo foi proveniente do manancial Lagoa do Peri, localizada em Florianópolis/SC/BR. Optou-se por realizar a diluição desta água antes de aplicar nas colunas, a diluição escolhida foi de 40% de água bruta (Lagoa) e 60% de água potável de torneira, a qual mostrou média de 3,3 uT. Para aplicação da água de estudo nas colunas de filtração em margem foi necessário realizar a adição de tiosulfato de sódio 1,8% na água de torneira, objetivando alcançar a inibição do cloro a fim de evitar a morte dos microrganismos presentes na água bruta e no próprio solo. O processo de inibição do cloro foi realizado como recomenda a Probac do Brasil (2013).

O sistema piloto é composto por um total de cinco colunas filtrantes (Figura 1), com escoamento descendente de 0,5 m, 1 m, 1,5 m, 2 m e 3 m de percurso no sedimento. Todas as colunas usadas no experimento possuem 150 mm de diâmetro, construída de policloreto de vinila (PVC), pois se trata de um material opaco cuja função foi evitar a influência da luz. O sistema piloto é alimentado continuamente através de 5 bombas dosadoras Exatta modelo EX00504 a uma vazão de entrada correspondente a 150 mL.h⁻¹.

O sedimento usado para preencher o interior das colunas foi proveniente do próprio solo da Lagoa do Peri, retirado a aproximadamente 5 metros de distância adentro da lagoa e 30 cm de profundidade no solo.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de projeto adotados para construção das colunas filtrantes, juntamente com o diâmetro efetivo e o coeficiente de uniformidade, obtidos após análise granulométrica realizada de acordo com a norma ABNT NBR 7181:1984.

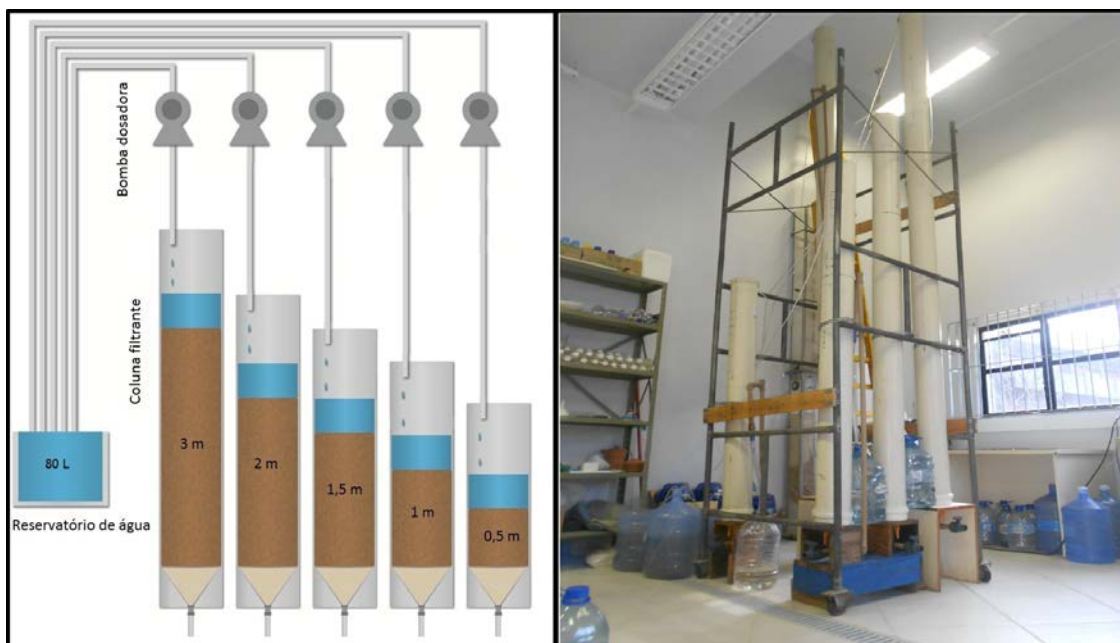


Figura 1: Esquema ilustrativo do sistema piloto completo

Tabela 1: Parâmetros de projeto empregado nas colunas filtrantes.

Parâmetro	Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5
Coefficiente de uniformidade do solo	1,69	1,69	1,69	1,69	1,69
Comprimento da coluna (m)	1,5	2	2,5	3,5	4
Diâmetro da camada suporte (mm)	2 – 30	2 – 30	2 – 30	2 – 30	2 – 30
Diâmetro do filtro (mm)	150	150	150	150	150
Diâmetro efetivo do solo (mm)	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
Espessura da camada suporte (cm)	10	10	10	10	10
Espessura do meio filtrante (m)	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0
Porosidade Total (%)	36,7	36,7	36,7	36,7	36,7
Taxa de filtração ($\text{m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$)	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Tempo de detenção (h)	21,6	43,2	64,8	86,5	130

Após a montagem do sistema piloto, iniciou-se o processo de aclimação das colunas correspondente ao período de 90 dias, pois acredita-se que o sistema possui um tempo próprio de adaptação e aclimação antes de começar a apresentar resultados estáveis e confiáveis. Os detalhes sobre os parâmetros avaliados neste período estão apresentados na Tabela 2.

Tabela2: Parâmetros, frequências e equipamentos utilizados durante a aclimação.

Parâmetros	Frequência de análise	Equipamento
Carbono orgânico total – COT (mg.L ⁻¹)	Semanal	Analizador de carbono Shimadzu TOC-L
Condutividade (µS.cm ⁻¹)	Semanal	Condutivímetro Lutron CD-4303
Cor Aparente (uH)	Semanal	Espectrofotômetro HACH DR 2800
Temperatura (°C)	Semanal	Condutivímetro Lutron CD-4303
Oxigênio dissolvido (mgO ₂ .L ⁻¹)	Semanal	Oxímetro portátil YSI 550A
pH	Semanal	pHmetro Orion model 330
Turbidez (uT)	Diária	Turbidímetro portátil HACH 2100P

Para a avaliação da remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. pela filtração em margem foram utilizadas microesferas de poliestireno, as quais correspondem a esferas sólidas com as mesmas características do protozoário, para que assim, possam desempenhar uma boa simulação deste microrganismo. Optou-se pelo uso destas microesferas para que se possa evitar o risco oferecido por este protozoário.

As microesferas utilizadas para simulação de *Cryptosporidium* spp. correspondem a micropartículas fluorescentes feitas de poliestireno e carboxilato, apresentando diâmetro de 4,5 µm com um coeficiente de variação de 7%. Maiores detalhes sobre as microesferas podem ser adquiridas com a empresa fabricante Polyscience Incorporation.

Preparou-se então uma solução contendo as microesferas na concentração de aproximadamente 1.5×10^6 partículas.mL⁻¹. A aplicação no sistema piloto foi realizada através do pulso de 2 mL desta solução em cada coluna filtrante, ou seja, aproximadamente 3×10^6 partículas.coluna⁻¹. A partir do momento em que são aplicadas as microesferas no topo das colunas, inicia-se uma amostragem a cada 12 h por um período total de 144 h (tempo suficiente para abranger aos tempos de detenção de todas as colunas). Esta amostragem corresponde em retirar uma amostra homogênea dos galões que recebem a água filtrada por este tempo, e em seguida realizar a análise da turbidez das mesmas, posteriormente, retira-se uma alíquota de 1 mL dessa amostra para se levar ao microscópio de fluorescência, onde será avaliado se houve ou não a presença das microesferas de poliestireno. Após a amostragem, descarta-se o restante de água filtrada contida no galão, e inicia-se outra amostragem de água por mais 12 h.

As passagens de microesferas no sistema piloto ocorreram com o intervalo mínimo de 2 semanas. Este tempo foi escolhido por ser suficiente para renovar toda a água dentro das colunas, para que não haja nenhuma liberação de microesferas provenientes de uma passagem anterior na amostragem atual. Outra precaução adotada para evitar este tipo de erro foi a amostragem no tempo 0 h, ou seja, assim em que o pulso contendo as microesferas era aplicado, coletava-se imediatamente uma amostra do filtrado para se ter certeza de não estar havendo liberação de microesferas das passagens anteriores.

RESULTADOS

Aclimação do sistema piloto

Os resultados obtidos no sistema piloto para os parâmetros turbidez e cor aparente nem sempre estiveram de acordo com os valores propostos pela Portaria nº 2914 do Ministério da Saúde, porém, este fato já era esperado durante o período de aclimação, pois trata-se de uma adaptação do sistema. No entanto, após o monitoramento de 90 dias foi possível observar que o sistema apresenta uma tendência a estabilizar e melhorar os resultados com o passar do tempo, que neste caso, foi suficiente para se enquadrar dentro dos valores propostos pela legislação, já que a partir de 36 d de aclimação nenhum resultado de turbidez foi encontrado abaixo de 1 uT, sendo este o valor máximo permitido por lei para águas subterrâneas e filtração lenta (considerando a filtração em margem como uma filtração muito lenta).

Por sua vez, os valores obtidos para cor aparente enquadraram-se na legislação a partir de 43 d, onde o sistema piloto obteve todos os resultados abaixo de 15 uH, correspondente ao valor máximo permitido pela legislação brasileira. Os resultados dos parâmetros turbidez e cor aparente são expostos na Figura 2 e 3, respectivamente.

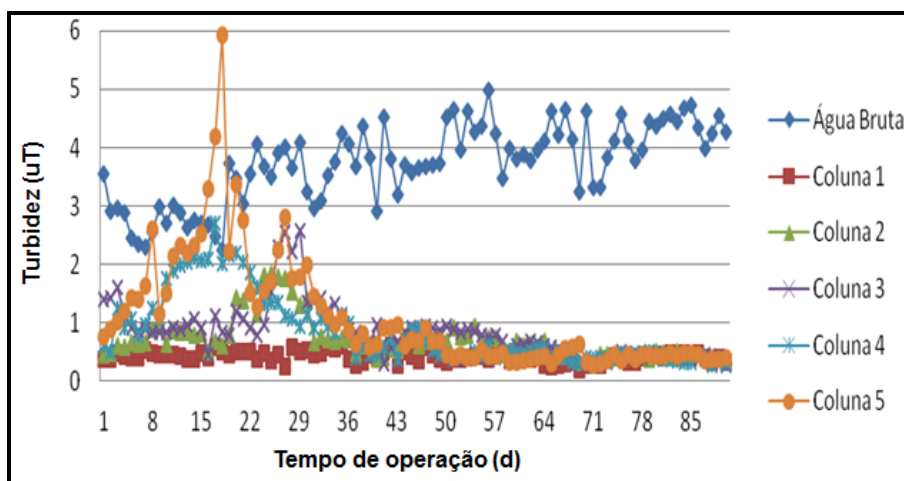


Figura 2: Acompanhamento diário da turbidez no sistema piloto

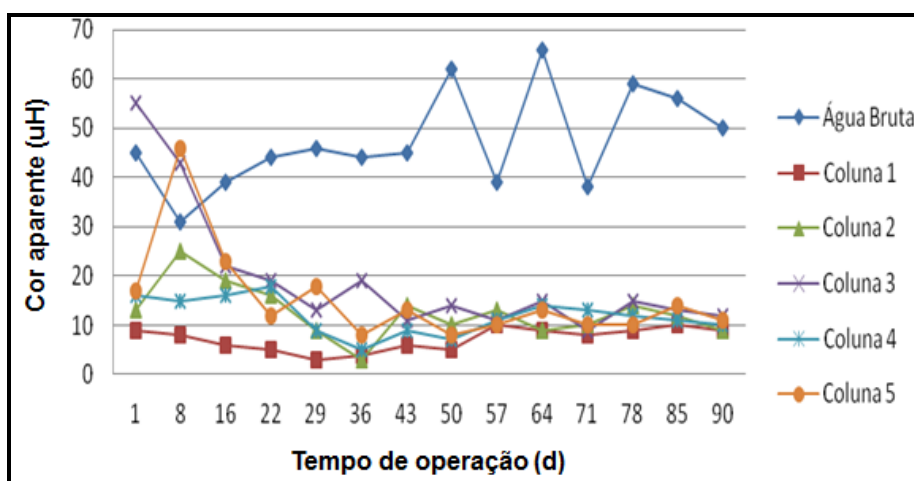


Figura 3: Evolução do parâmetro cor aparente no sistema piloto

De forma geral, os resultados observados no final do período de monitoramento mostraram maiores remoções do que os obtidos no período inicial do estudo, comprovando assim a importância do período de aclimação para um sistema pilotado de colunas de sedimentação.

Os parâmetros turbidez, cor aparente, e pH enquadraram-se na legislação brasileira. Em contrapartida, os parâmetros COT, condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido, mesmo não sendo especificados valores máximos permitidos, alcançaram valores condizentes com uma água de boa qualidade, porém, ainda não potável. Os resultados dos demais parâmetros podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Média e desvio padrão de parâmetros monitorados durante o período de estudo.

	Água Bruta	C1	C2	C3	C4	C5	Port. Nº 2914
Condutividade n = 14	70,3 ^a ± 4,3 ^b	73,4 ± 3,2	73,4 ± 2,8	74,0 ± 2,6	75,1 ± 6,5	75,8 ± 8,5	Não Especificado
Temperatura n = 14	19,8 ± 1,8	19,8 ± 1,9	19,8 ± 1,9	19,8 ± 1,9	19,8 ± 1,8	19,8 ± 1,9	Não Especificado
pH n = 14	5,9 ± 0,6	6,3 ± 0,6	6,4 ± 0,5	6,9 ± 0,3	7,1 ± 0,3	7,4 ± 0,2	6,0-9,5
Oxigênio Dissolvido n = 12	4,3 ± 0,4	4,8 ± 0,4	4,6 ± 0,3	4,6 ± 0,4	4,7 ± 0,4	4,7 ± 0,4	Não Especificado
COT n = 9	4,0 ± 0,6	1,9 ± 0,7	2,1 ± 0,5	1,9 ± 0,6	2,0 ± 0,5	2,1 ± 0,5	Não Especificado

Após os 90 dias de monitoramento do sistema piloto foi possível observar que a aclimação das colunas é de fundamental importância para que se possa obter resultados mais confiáveis e com maior eficiência de remoção.

Remoção de microesferas

Os resultados alcançados na microscopia para detecção de microesferas de poliestireno são expostos na Tabela 4, 5 e 6.

O que se pode observar nos resultados obtidos no sistema piloto é que a remoção de microesferas acontece a uma distância não menor que 3 m de percurso de infiltração. Nota-se que as microesferas estiveram presentes na água filtrada de 4 das 5 colunas estudadas, apenas a coluna 5, de 3 m de leito filtrante foi capaz de reter completamente e apresentar 100% de remoção das microesferas.

Tabela 4: Primeira passagem das microesferas de poliestireno no sistema piloto.

Microesferas de Poliestireno						Turbidez (uT)					
	C1	C2	C3	C4	C5		C1	C2	C3	C4	C5
0h	A	A	A	A	A	0h	0,22	0,38	0,45	0,41	0,45
0 - 12h	P	A	A	A	A	0 - 12h	0,33	0,42	0,48	0,47	0,41
12 - 24h	P	A	A	A	A	12 - 24h	0,31	0,34	0,47	0,45	0,44
24 - 36h	A	P	A	A	A	24 - 36h	0,39	0,4	0,39	0,38	0,36
36 - 48h	A	P	A	A	A	36 - 48h	0,43	0,44	0,3	0,35	0,48
48 - 60h	A	A	A	A	A	48 - 60h	0,4	0,31	0,32	0,37	0,47
60 - 72h	A	A	P	A	A	60 - 72h	0,29	0,36	0,39	0,43	0,44
72 - 84h	A	A	A	P	A	72 - 84h	0,34	0,42	0,48	0,37	0,39
84 - 96h	A	A	A	P	A	84 - 96h	0,35	0,3	0,35	0,43	0,34
96 - 108h	A	A	A	A	A	96 - 108h	0,39	0,31	0,29	0,33	0,42
108 - 120h	A	A	A	A	A	108 - 120h	0,37	0,27	0,34	0,49	0,41
120 - 132h	A	A	A	A	A	120 - 132h	0,41	0,43	0,36	0,35	0,44
132 - 144h	A	A	A	A	A	132 - 144h	0,29	0,38	0,37	0,36	0,36

A = Ausente; P = Presente; C1 = Coluna 1; C2 = Coluna 2; C3 = Coluna 3; C4 = Coluna 4; C5 = Coluna 5

Tabela 5: Segunda passagem das microesferas de poliestireno no sistema piloto.

Microesferas de Poliestireno						Turbidez (uT)					
	C1	C2	C3	C4	C5		C1	C2	C3	C4	C5
0h	A	A	A	A	A	0h	0,26	0,32	0,43	0,48	1,23
0 - 12h	P	A	A	A	A	0 - 12h	0,63	0,48	0,58	0,74	1,77
12 - 24h	A	A	A	A	A	12 - 24h	0,35	0,38	0,41	0,58	2,9
24 - 36h	A	A	A	A	A	24 - 36h	0,37	0,42	0,39	0,52	1,84
36 - 48h	A	P	A	A	A	36 - 48h	0,53	0,4	0,36	0,55	2,3
48 - 60h	A	A	A	A	A	48 - 60h	0,41	0,38	0,42	0,47	1,97
60 - 72h	A	A	P	A	A	60 - 72h	0,39	0,29	0,58	0,43	2,13
72 - 84h	A	A	A	A	A	72 - 84h	0,3	0,44	0,49	0,52	1,88
84 - 96h	A	A	A	P	A	84 - 96h	0,25	0,35	0,55	0,34	2,04
96 - 108h	A	A	A	A	A	96 - 108h	0,32	0,41	0,39	0,44	1,75
108 - 120h	A	A	A	A	A	108 - 120h	0,29	0,32	0,43	0,44	1,8
120 - 132h	A	A	A	A	A	120 - 132h	0,31	0,34	0,28	0,45	1,54
132 - 144h	A	A	A	A	A	132 - 144h	0,28	0,37	0,36	0,42	0,68

A = Ausente; P = Presente; C1 = Coluna 1; C2 = Coluna 2; C3 = Coluna 3; C4 = Coluna 4; C5 = Coluna 5

Tabela 6: Terceira passagem das microesferas de poliestireno no sistema piloto.

Microesferas de Poliestireno						Turbidez (uT)					
	C1	C2	C3	C4	C5		C1	C2	C3	C4	C5
0h	A	A	A	A	A	0h	0,26	0,46	0,33	0,36	0,59
0 - 12h	A	A	A	A	A	0 - 12h	0,32	0,65	0,3	0,35	0,92
12 - 24h	P	A	A	A	A	12 - 24h	0,28	0,57	0,29	0,38	0,54
24 - 36h	A	P	A	A	A	24 - 36h	0,23	0,39	0,25	0,33	0,71
36 - 48h	A	A	A	A	A	36 - 48h	0,35	0,4	0,39	0,36	0,66
48 - 60h	A	A	A	A	A	48 - 60h	0,23	0,28	0,32	0,37	0,59
60 - 72h	A	A	P	A	A	60 - 72h	0,28	0,3	0,34	0,29	0,59
72 - 84h	A	A	A	P	A	72 - 84h	0,26	0,27	0,33	0,36	0,6
84 - 96h	A	A	A	P	A	84 - 96h	0,21	0,21	0,33	0,28	0,55
96 - 108h	A	A	A	A	A	96 - 108h	0,26	0,29	0,34	0,34	0,53
108 - 120h	A	A	A	A	A	108 - 120h	0,36	0,32	0,36	0,41	0,66
120 - 132h	A	A	A	A	A	120 - 132h	0,25	0,3	0,42	0,4	0,54
132 - 144h	A	A	A	A	A	132 - 144h	0,3	0,3	0,35	0,48	0,48

A = Ausente; P = Presente; C1 = Coluna 1; C2 = Coluna 2; C3 = Coluna 3; C4 = Coluna 4; C5 = Coluna 5

Turbidez como indicador da presença de *Cryptosporidium* spp.

Como visto nos resultados de remoção de microesferas de poliestireno, apesar de quase todas as amostras estarem dentro do valor estabelecido de 1 uT, e da grande maioria estar de acordo com até mesmo o valor mais rígido da filtração rápida de 0,5 uT, é possível observar que houve presença das microesferas de poliestireno na água filtrada, tornando o parâmetro turbidez, um indicador não seguro da presença da *Cryptosporidium* spp.

A turbidez também se mostrou um indicador não confiável no trabalho de Nascimento (2009), que em escala piloto estudou a remoção de *Cryptosporidium* spp. por meio da filtração direta ascendente em areia. Nesse estudo, o autor avaliou estatisticamente se há alguma correlação existente entre a turbidez e a remoção do protozoário *Cryptosporidium* spp., e a partir desta avaliação, o autor afirmou que não houve correlação significativa entre a concentração de oocistos de *Cryptosporidium parvum* e os parâmetros turbidez, coliformes totais e *Escherichia Coli*.

Julga-se neste trabalho que a turbidez é um mau indicador da presença de *Cryptosporidium spp.* por evidenciar a presença das microesferas em amostras com valores de turbidez inferiores a 0,5 uT, e por não encontrar a presença destas microesferas em amostras que possuíam turbidez mais elevada, entre 1 e 2 uT, que estariam fora do que é requerido pela Portaria nº 2914, e portanto, estariam mais propensas a presença e risco que este protozoário confere.

Acredita-se que a melhor maneira de julgar a turbidez como indicador de *Cryptosporidium spp.* não é como é feito atualmente pela Portaria nº 2914, na qual estabelece valores fixos de turbidez, mas sim, através da eficiência de remoção nestes sistemas, isto porque a remoção de turbidez pode ser relativa, já que depende do valor encontrado na água bruta.

Apesar da turbidez da água filtrada na coluna 5 ter se mostrado alta durante a segunda passagem das microesferas, acredita-se que esta coluna seja a que possui o melhor desempenho de filtração, pois foi a única que conseguiu reter 100% das microesferas. Os valores elevados de turbidez neste período podem ser justificados através do fenômeno de dessorção/dissolução de carbono orgânico sólido no interior das colunas, esse efeito pode ser intensificado através do aumento da temperatura.

Esse mesmo fato foi relatado também por Shoenheinz (2004), em um estudo realizado com colunas filtrantes de sedimento, no qual observou a dessorção da matéria orgânica presente no próprio meio filtrante, conforme ocorreu o aumento da temperatura. Esquivel (2012) ainda relata que a maior parte da degradação é realizada nos primeiros centímetros de infiltração, onde ainda há presença de oxigênio, após isso as colunas passam a apresentar condições anóxicas/anaeróbias e consequentemente, degradações mais lentas.

Nieminski *et al.* (2008) em seu estudo, coletou dados de sete estações de tratamento de água localizadas de Utah, durante um período de sete anos. Dentre estes dados, estavam inclusos *Cryptosporidium spp.*, *Escherichia Coli*, turbidez e outros demais parâmetros de qualidade da água. O resultado das análises estatísticas revelou pobres correlações entre a presença de *Cryptosporidium spp.* com o valor de turbidez, assim também como foi observado para *Cryptosporidium spp.* e *E. Coli*.

O valor mínimo de turbidez em que foi observado a passagem das microesferas foi de 0,28 uT o que corresponde a uma eficiência de remoção de 92,3%. Portanto, avaliando o indicador turbidez a partir da eficiência de remoção, seria recomendável um valor mais que este alcançado de 92,3%.

CONCLUSÕES

No que concerne sobre a aclimação do sistema piloto, após os 90 dias de monitoramento do sistema piloto foi possível observar que a aclimação das colunas é de fundamental importância para que se possa obter resultados mais confiáveis e com maior eficiência de remoção.

A filtração em margem mostrou também seu grande potencial para o tratamento de água, sendo que os parâmetros turbidez, cor aparente e pH enquadraram-se perfeitamente na legislação brasileira. Em contrapartida, os parâmetros COT, condutividade, temperatura e oxigênio dissolvido, mesmo não sendo especificados valores máximos permitidos na Portaria nº 2914, alcançaram valores condizentes com uma água de boa qualidade, porém, ainda não potável devido à ausência de desinfecção.

Em termos gerais, os parâmetros avaliados neste estudo são substancialmente melhorados nos primeiros 0,5 m de infiltração, como observado na coluna 1, que com o menor percurso alcança muitas vezes os melhores resultados. Porém, conforme a distância de percurso no sedimento aumenta, observa-se o fenômeno de dessorção/dissolução de carbono orgânico sólido na água filtrada, como observado na coluna 5.

A partir dos resultados de remoção das microesferas simuladoras de *Cryptosporidium spp.*, conclui-se que a filtração em margem mostra-se efetiva na remoção destes a partir de 3 m de leito filtrante, pois apenas a maior coluna de 3 m de percurso no sedimento alcançou 100% de retenção das microesferas.

Já no que diz respeito a turbidez como indicador da presença de *Cryptosporidium spp.*, considera-se que este corresponde a um indicador não confiável, pois houve a presença das microesferas de poliestireno até mesmo quando a turbidez alcançava valores menores que 0,5 uT como recomenda a legislação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Portaria MS nº 2914 de 12/12/2011, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Ministério da Saúde. Brasília, 2011.
2. CIQUEIRA, A.D. 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 (doutorado em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos)- Programa de Pós- graduação em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais (2008).
3. GUPTA, V.; JOHNSON, W.P.; SHAFIEIAN, P.; RYU, H.; ALUM, A.; ABBASZADEGAN, M.; HUBBS, S.A.; RAUCH-WILLIAMS, T. Riverbank filtration: comparison of pilot scale transport with theory. *Environmental Science & Technology*. 43 (8), 2992-2992. 2009.
4. LIMA, E. C.; STAMFORD, T. L. M.; *Cryptosporidium* spp. no ambiente aquático: aspectos relevantes da disseminação e diagnóstico. *Ciênc. saúde coletiva* [online]. vol.8, n.3, pp. 791-800. ISSN 1413-8123. 2003.
5. MICHELAN, D. C. G. S.; Filtração em margem de rio precedendo a filtração lenta, para remoção de carbofurano, em tratamento de água para consumo humano. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina 2010.
6. MONDARDO, R. I.; Avaliação da filtração em margem como pré-tratamento à filtração direta descendente na remoção de células de cianobactérias e saxitoxinas. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2009.
7. NASCIMENTO, M.F. Remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por meio da Filtração Direta Ascendente em areia: avaliação em escala piloto. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 149p. 2009.
8. NIEMINSKI, E.; DURRANT, G.; HOYT, M.; KIDD, R.; OWENS, M.; PETERSON, L.; PETERSON, S.; TANNER, W.; ROSEN, J.; CLANCY, J. (2008) Is monitoring for *E. coli* a good surrogate for *Cryptosporidium* occurrence in water? American Water Works Association - Water Quality Technology Conference Proceedings, 2008.
9. PLUTZER J, TAKÓ MH, MÁRIALIGETI K, TÖRÖKNÉ A, KARANIS P. First investigations into the prevalence of *Cryptosporidium* and *Giardia* spp. in Hungarian drinking waters. *J Water Health*. 5: 573–584. 2007.
10. PROBAC DO BRASIL. Meios para análise de água probac – tiossulfato de sódio 1,8%. São Paulo. Disponível em: < <http://www.probac.com.br/bulas/bula-tiossulfatodesodio.pdf> > Acesso em: 17 Jun 2013.
11. SENS, M. L.; MONDARDO, R. I.; DALSSASSO, R.; MELO, L. C. Filtração em Margem. In: PROSAB (Ed.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano, Capítulo. Rio de Janeiro: ABES, p. 173-236. 2006.
12. TUFENKJI, N., RYAN, J.N., AND ELIMELECH M. The Promise of Bank Filtration. *Environmental Science & Technology*, Volume 36, pages 422A-428A, November 2002.
13. WEISS, W.; BOUWER, E.; ABOYTES, R.; LECHEVALLIER, M.; O'MELIA, C.; LE, B.; SCHWAB, K. Riverbank filtration for control of microorganisms: results from field monitoring. *Water Research*, v.39, n.10, p.1990–2001, 2005.