

## **I-038 - DIFERENTES SISTEMAS DE LIMPEZA EMPREGADOS EM UM FILTRO RÁPIDO CONTENDO COMO ELEMENTO FILTRANTE ESFERAS DE POLIESTIRENO**

**Juliana Marques Schöntag**<sup>(1)</sup>

Pós-doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Maurício Luiz Sens**<sup>(2)</sup>

Professor titular do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Endereço**<sup>(1,2)</sup>: Campus Universitário UFSC/CTC - Programa de Pós-Graduação em Eng. Ambiental - Bairro Trindade - CEP 88040-900 - Florianópolis - Santa Catarina - e-mail: [juschontag@gmail.com](mailto:juschontag@gmail.com)

### **RESUMO**

Em estações de tratamento de água convencionais, a limpeza dos filtros é feita com a utilização de água filtrada. A fim de economizar essa água e obter uma maior produção foi proposto a utilização das esferas de poliestireno como elemento filtrante granular, pois trata-se de um elemento granular com baixa massa específica. Por ser leve, esse material exige menor velocidade da água durante o processo de retrolavagem. O poliestireno granular foi aplicado em um filtro rápido descendente e seu desempenho hidráulico foi avaliado durante o processo de retrolavagem por ar e água intercalados. Além disso, foram testadas outras formas de retrolavagem para esse material e, apesar de ter uma elevada fluidez, com taxas inferiores (em comparação com filtros convencionais) de retrolavagem, esse fato não representa necessariamente uma economia da água de retrolavagem, pois necessita mais tempo para a limpeza.

**PALAVRAS-CHAVE:** Filtro rápido descendente, meio filtrante granular, esferas de poliestireno, sistemas de limpeza.

### **INTRODUÇÃO**

Diferentes materiais podem ser utilizados como meio filtrante visando melhorias no desempenho dos filtros. Materiais com diferentes densidades normalmente são utilizados com o objetivo de aumentar as carreiras de filtração (Knudsen, 1980) (Davies and Wheatley, 2012).

Durante o processo de limpeza dos filtros, a velocidade de retrolavagem precisa ser grande o suficiente para lavar (remover) o material capturado pelo leito, mas não tão alta que o material filtrante seja empurrado para fora do filtro (perda). Para prevenir a perda do material filtrante é necessário determinar a expansão do leito que ocorre com o material fluidizado.

Akgiray and Saatçi, (2001) demonstraram que a equação de Ergun é válida para os leitos fixos e expandidos. Contudo, em um leito fluidificado, a perda de carga passa a ser constante.

A perda de carga do material filtrante pode ser calculada e/ou avaliada através de ensaios de expansão do material e dependerá das características desse material.

Alguns autores utilizaram materiais alternativos com diferentes densidades, visando melhorar o desempenho dos filtros, como Farizoglu, Nuboglu, Yildiz, and Keskinler (2003) e Sierra Filho, Mattos, and Calò, (2005), que utilizaram a pedra pomes como elemento filtrante. Outros autores utilizam polímeros com a mesma finalidade como é o caso de (PEARCE; JARVIS, 2011), que utilizam esse material no tratamento de efluentes. Em 2008, Fabris, Chow, Drikas, and Eikebrokk, relatam sobre a estação de tratamento de água (ETA) de Skulderud, na Noruega. Essa ETA aplica a tecnologia de filtração direta descendente, cujos filtros possuem tripla camada filtrante (duas camadas de diferentes meios plásticos e uma camada de areia). Segundo relatos da engenheira chefe do departamento de água de Oslo, Marie Fossum (contato pessoal), a Estação funcionou bem por muitos anos e estavam satisfeitos com a qualidade da água. No entanto, a capacidade dos filtros se

deteriorou nos últimos anos, aparentemente porque as esferas de plástico são susceptíveis ao desgaste. Eles estão trabalhando em um projeto para melhorar a capacidade e substituir o material dos filtros pelo mesmo material ou usar outro material como elemento filtrante, com características similares ao usado atualmente. Contudo, nenhum desses autores menciona a utilização desses elementos filtrante de diferentes massas específicas com o objetivo de aumentar a eficiência de limpeza e/ou aumentar da produção efetiva de água.

Este estudo foi conduzido a fim de avaliar sistemas de limpeza para um filtro contendo como elemento filtrante as esferas de poliestireno, visando a otimização do sistema, com a perspectiva de que haja uma redução do consumo de água para a retrolavagem do filtro.

Esse material foi caracterizado e através de modelos matemáticos de retrolavagem apresentados por Turan, Sabah, Gulsen, and Celik, (2003), Naseer, Alhail, and Xi-Wu, (2011) e Mohammed, Abualhail, and Lu. (2013) foi possível simular o comportamento do material durante a retrolavagem (SCHÖNTAG *et al.*, 2015). Os autores observaram através dos modelos matemáticos, a necessidade de um cuidado especial durante o processo, pois é um elemento de baixa densidade. Embora velocidades baixas sejam suficientes para a fluidificação, o que resultaria em menores volumes de água durante o processo de limpeza, é necessário controlar outros parâmetros importantes durante o processo de retrolavagem, tais como: a tensão hidrodinâmica, o gradiente de velocidade e turbulência envolvendo a separação e rompimento dos flocos aderidos durante a filtração. Embora os grãos mais leves e menores aumentem a taxa de turbulência em relação aos grãos maiores e mais pesados, eles mostraram um menor coeficiente de tensão hidrodinâmica e baixa dissipação da turbulência. Assim, dependendo das características da água bruta, este filtro exige um apoio para aumentar o cisalhamento durante a retrolavagem, a fim de quebrar os flocos formados pelas impurezas retidas durante a filtração. Além disso, a taxa de lavagem (água) precisa ser grande o suficiente para arrastar as partículas coletadas durante a filtração.

A fim de avaliar o comportamento desse material durante a retrolavagem ele foi testado em escala experimental.

## MATERIAIS E MÉTODOS

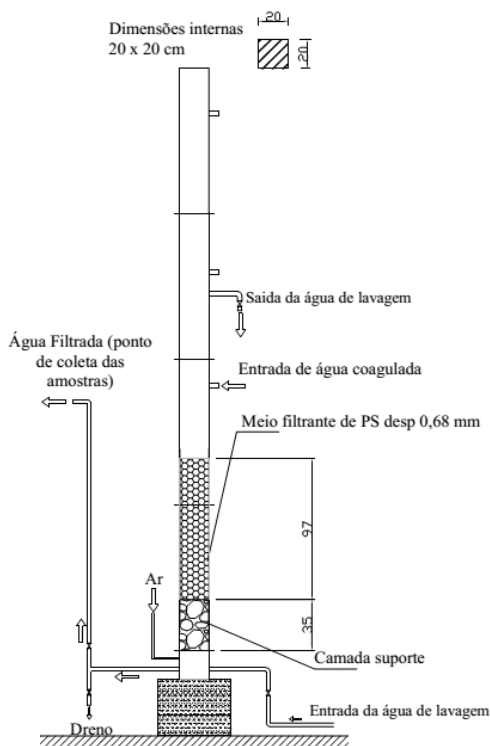
As características das esferas de poliestireno são apresentadas na Tabela 1 (SCHÖNTAG; SENS, 2014). A tecnologia de tratamento empregada foi filtração direta (coagulação/filtração).

**Tabela 1 – Características das Esferas de poliestireno (valor médio).**

Características	Esferas de Poliestireno
Diâmetro mínimo	0,50 mm
Diâmetro máximo	1,20 mm
Diâmetro Efetivo	0,66 mm
Coefficiente de uniformidade	1,36
Diâmetro médio	0,87 mm
Porosidade	0,387
Massa Específica	1,046 g/cm <sup>3</sup>

O filtro foi contruído em aço inoxidável, com uma seção quadrada de 20 cm (Figura 1). A relação L/d (altura do meio/diâmetro específico do grão) é um trade-off entre a eficiência de filtração e perda de carga do filtro. É recomendado que essa relação fique entre 1000 e 2000 (CRITTENDEN *et al.*, 2011). Estabeleceu-se que essa relação fosse de 1.426, aproximadamente. A taxa de operação foi de 8,66 m/h (208 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d) (constante) e carga hidráulica variável. A água bruta do manancial Lagoa do Peri (Santa Catarina/Brasil), chega em um reservatório e é conduzido para a unidade de mistura rápida, onde recebe o coagulante PAC (policloreto de alumínio), em uma dose de 1,08 mg Al<sup>+</sup><sub>3</sub>/L. O gradiente de velocidade da câmara de mistura rápida foi de 1200 s<sup>-1</sup>. Esses parâmetros foram definidos em testes de bancada (teste de jarros). Após a coagulação, a água foi encaminhada ao filtro descendente.

Amostras de água filtrada foram coletadas de um em um minuto, nos primeiros 30 minutos, para análise da recuperação do filtro.



**Figura 1 – Esquema de instalação do filtro Piloto.**

Piezômetros foram utilizados para a determinação do tempo das carreiras de filtração. As carreiras de filtração foram concluídas quando a perda de carga atingiu 2 metros.

Os primeiros processos de retrolavagem do filtro foram efetuados com ar e água, conforme a seguir:

**Retrolavagem do Filtro PS:** Através de ensaios de expansão verificou-se que a velocidade mínima de fluidificação de PS foi  $0,89 \pm 0,044$  m/h (SCHÖNTAG; SENS, 2014). Para atingir uma expansão de 40% foi necessária uma velocidade da água de 6,6 m/h (0,11 m/min), que é muito pequena se comparado as velocidades necessárias para a expansão da areia e antracito que varia entre 36 a 72 m/h (0,6 a 1,2 m/min). Assim, inicialmente, utilizou-se duas velocidades: 6,6 m/h e 22,8 m/h (0,11 e 0,38 m/min), para as expansões de 40 e 200%, respectivamente. No primeiro processo de retrolavagem utilizou-se para o filtro PS a velocidade de retrolavagem da água 6,6 m/h (0,11 m/min). Para os demais processos, utilizou-se a expansão de 200%, ou seja, velocidade de 22,8 m/h (0,38 m/min). A vazão de ar utilizada, na retrolavagem do filtro PS foi de aproximadamente 20 NL/min.

Foram realizados 10 processos de retrolavagem, que obedeceram os seguintes critérios: Nos 5 minutos iniciais foi introduzido o ar, após respeitou-se um intervalo de 1 a 2 minutos (para não haver perda de material), logo em seguida 10 minutos de água. O processo foi repetido obedecendo um intervalo de 1 a 2 minutos.

Durante a limpeza foram coletadas amostras da água de lavagem a cada minuto, e analisou-se a turbidez, dessa forma pode-se otimizar o tempo de retrolavagem.

Em um segundo momento, outras velocidades da água de retrolavagem foram utilizadas, além das dez já descritas, tais como:

- 1) 12,8 m/h – perfazendo uma expansão de 100% em 10 minutos de aplicação;
- 2) 17,0 m/h – perfazendo uma expansão de 150% em 10 minutos de aplicação;
- 3) 19,1 m/h – perfazendo uma expansão de 100% em 5 minutos de aplicação;
- 4) 29,3 m/h – perfazendo uma expansão de 200% em 5 minutos de aplicação;

Essas velocidades foram introduzidas após a aplicação do ar por 5 minutos e intervalos de 2 minutos, para não haver perda do material, conforme processo anterior.

Todas essas velocidades de retrolavagem foram realizadas três vezes, onde foram coletadas amostras da água de retrolavagem e foram extraídas a média e o desvio padrão.

Para todas as condições foi calculado o valor da produção efetiva e comparados aos valores do filtro A+A, considerando todos os processos otimizados.

Uma vez determinado o tempo de duração da carreira de filtração e os processos de retrolavagem é possível calcular a produção efetiva, segundo critérios estabelecidos por CRITTENDEN *et al.*, (2011), onde afirma que filtros podem ser projetados para alcançar uma produção efetiva de 95%, mas para isso a UVCF precisa atingir no mínimo 200 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Outros sistemas de limpeza foram testados, um utilizando a introdução de água na lateral do filtro, 21 cm abaixo do topo, com auxílio de uma mangueira propiciando uma turbulência no sentido helicoidal com velocidade da água de aproximadamente 10 m/h, e outra, utilizando um aspersor de água giratório. Ambos os sistemas foram instalados e testados individualmente.

O aspersor foi também instalado 21 cm abaixo do topo do leito e diâmetro de 14 cm. Conta com três hélices, cada uma com três orifícios de aproximadamente 1mm cada, e mais um no centro do dispositivo. A velocidade angular estipulada para o funcionamento foi de aproximadamente 1300 rad/min, ou 620 rpm e seu gradiente de velocidade no meio em 536 s<sup>-1</sup>. Esses sistemas não mostraram vantagens.

Decidiu-se reduzir a espessura do leito para 68 cm, visto que a profundidade atingida pelo leito fica na casa dos 40 cm conforme (SCHÖNTAG *et al.*, 2015). Com uma espessura menor, têm-se uma perda de carga inicial menor. Assim, reduziu-se a espessura do leito, a fim de verificar o comportamento quanto à produtividade.

Foram realizadas 5 carreiras de filtração, com essa configuração.

A retrolavagem do filtro foi efetuada após o final das carreiras. Ar e água foram introduzidos no sentido ascendente, os processos de retrolavagem foram realizados conforme apresentado a seguir:

**Retrolavagem do Filtro PS:** Foram realizados 5 processos de retrolavagem, que obedeceram os seguintes critérios: nos 3 minutos iniciais foi introduzido o ar à 20NL/min, após respeitou-se um intervalo de 1 a 2 minutos (para não haver perda de material), logo em seguida 3 minutos de água (21,4 m/h), logo mais 1 minuto de ar, mais 2 minutos de intervalo e em seguida mais 4 minutos de água, atingindo expansão de 182%.

Durante a limpeza foram coletadas amostras da água de lavagem a cada minuto, e analisou-se a turbidez, dessa forma pode-se otimizar o tempo de retrolavagem.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O filtro PS obteve duração média da carreira de filtração de 5,8 horas até atingir uma perda de carga de 2 metros.

Essa duração é curta, pois a porosidade do meio das esferas de PS é menor que a porosidade típica de um filtro com areia e antracito e o coeficiente de uniformidade ser maior que 1,25, conforme pode ser visto na Tabela 1. Além disso, a grande quantidade de cianobactérias (*cylindrospermopsis raciborskii*) presentes na água da Lagoa do Peri, faz com que a penetração (filtração em profundidade) seja baixa, em torno de 40 cm.

O período de recuperação foi verificado. O período de recuperação é o tempo que o filtro leva para estabilizar as características da água filtrada. Com 95% de confiança, o período de recuperação do filtro PS é de 12 minutos.

O processo de retrolavagem foi realizado ao final de cada carreira. Inicialmente, todo o processo de retrolavagem durou 37 minutos (Ar + Água). Inicialmente, utilizou-se a retrolavagem apenas com água na velocidade de 6,6 m/h (0,11 m/min), isto é, 40% de expansão. Observou-se que apenas a introdução da água no sentido ascensional não seria suficiente para promover o despreendimento e quebra dos flocos aderidos ao PS. A quebra e o despreendimento dos flocos são necessários, pois as partículas soltas são mais leves que as partículas aderidas, e assim podem ser carregadas mais facilmente pela água da retrolavagem. Estas partículas aderidas aos grãos de PS formaram flocos pesados, que sedimentaram para a parte inferior do filtro. Assim, aplicou-se o ar, durante os primeiros 5 minutos de lavagem. O ar realizou cisalhamento suficiente, causando despreendimento das partículas retidas. Após a aplicação do ar, a água foi aplicada novamente, com a velocidade de 6,6 m/h, durante 10 minutos. Embora não houvesse a presença de partículas aglomeradas aderidas aos grãos de PS, a aplicação da água nesta velocidade não obteve força suficiente para arrastar as partículas de sujeira, mas promoveu a segregação entre grãos e partículas. A fim de aumentar a força de arrasto, a velocidade superficial da água foi aumentada para 10,8 m/h (0,18 m/min), isto é, expansão de 100 %, após aplicação do ar. Verificou-se que as partículas foram arrastadas com a expansão, mas não o suficiente até a saída do filtro. Assim, a velocidade superficial foi aumentada novamente para 22,8 m/h (0,38 m/min), isto é, expansão de 200%. Apenas essa velocidade superficial de água foi suficiente para remover as partículas coletadas ao longo da filtração, até o ponto de saída do filtro.

O processo de retrolavagem com expansão de 200% foi realizado. Para essa velocidade o material leva dez minutos para atingir esse grau de expansão.

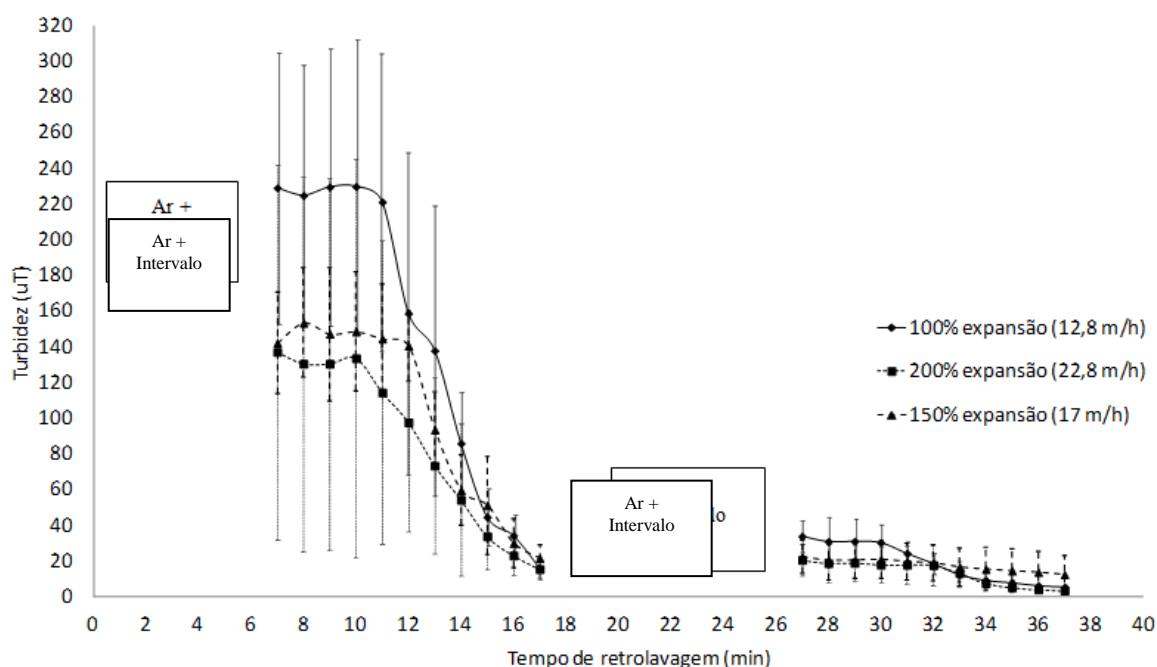
Quando os tempo de retrolavagem com água são otimizados, ou seja, 10 minutos para o filtro PS, o valor da produção efetiva pode ser calculado conforme Tabela 3, a seguir:

**Tabela 3 - Produção efetiva do filtro de areia e antracito e esferas de poliestireno, valores médio obtidos a partir de cinco carreira de filtração, com otimização dos resultados.**

Filtro PS					
Tempo de Operação (h)	5.8	Taxa de operação (m/h)	8.7	UVCF (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	50.3
Tempo de retrolavagem com água (h)	0.16	velocidade (m/h)	22.8	UVR (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	3.8
Tempo de recuperação (h)	0.18	taxa de recuperação (m/h)	8.7	Uvrec (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	1.6
Tempo total (h) (tempo CF + retr. + ar + interv.)	6.1	Volume total - volume de retrolavagem (m <sup>3</sup> )	46.5	qEF (m/h)	7.6
Produção Efetiva (%)	90%				

O tempo de retrolavagem do filtro PS é alto, e uma carreira de filtração curta, o que reduz a produção efetiva. Afim de melhorar os valores de produção efetiva do filtro PS, alterações foram feitas. O ponto de saída da água de lavagem foi reduzido à 20 cm acima do ponto de expansão de 100%.

Então, outras velocidades de retrolavagem foram aplicadas. O resultado da turbidez da água de retrolavagem, para diferentes velocidades de expansão, pode ser visto na Figura 2 e Tabela 4.



**Figura 2 - Curva de turbidez obtida durante a retrolavagem do filtro com esferas de poliestireno, com expansão de 100, 150 e 200% em 20 minutos de retrolavagem com água, ou seja, 12,8, 17 e 22,8 m/h respectivamente. (valores médios e desvio padrão de uma amostra de dez carreiras).**

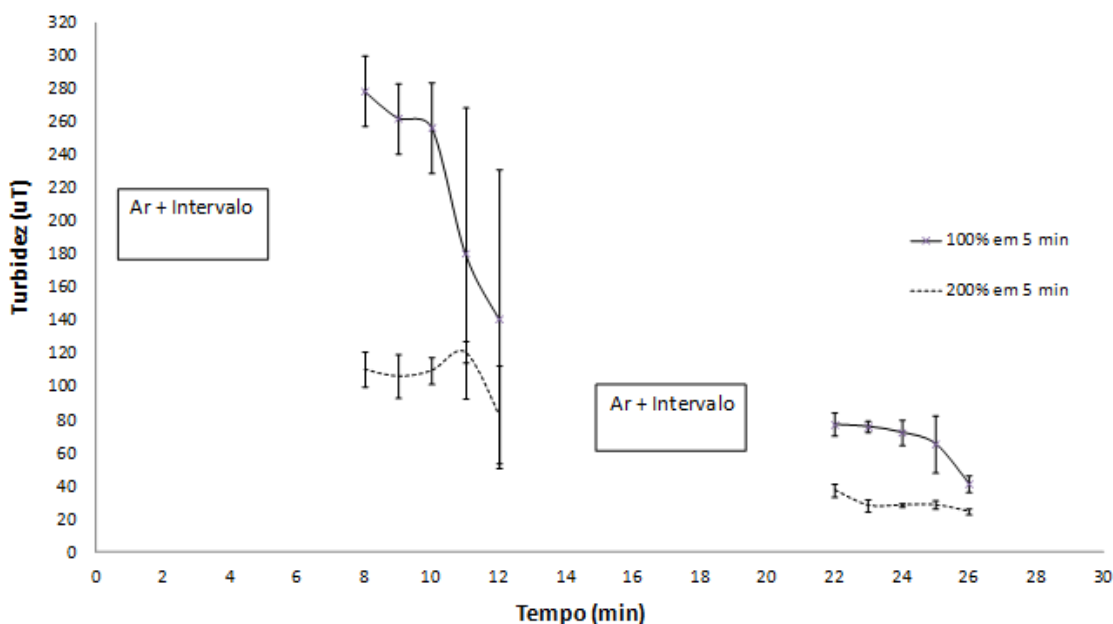
A limpeza foi estendida por 20 minutos de aplicação de água, contudo observa-se que não há necessidade, podendo ser reduzida para 10 minutos apenas. Com esses graus de expansão, houve uma boa limpeza.

Outros valores de velocidade menores foram testadas, com 7 m/h, com expansão de 50% em 10 minutos, porém a limpeza não foi boa, atingindo apenas 49,1 uT ao final da retrolavagem, além do que visivelmente observou-se que placas aderidas com grãos e partículas mais pesadas sedimentaram para o fundo do leito.



Foi observado que as esferas de poliestireno levam um tempo para atingir um determinado grau de expansão, e esse tempo é muito maior que o tempo dos materiais convencionais como areia e antracito. Isso ocorre devido a sua característica esférica e de leveza. Contudo, esse tempo maior não é favorável quando deseja-se uma maior produção efetiva. Afim de auxiliar o processo, ajustou-se as velocidades, de tal forma que o material atingisse, os mesmos graus de expansão na metade do tempo com que vinham sendo realizados, ou seja, em vez de 10 minutos até atingir determinado grau de expansão, optou-se por 5 minutos para o mesmo feito.

Assim, foram realizados três processos de retrolavagem para cada velocidade, após as carreiras de filtração. O período de recuperação do filtro foi o mesmo. Os resultados da turbidez da água de retrolavagem, para essas velocidades de expansão são apresentadas na Figura 3.



**Figura 3 - Curva de turbidez da água de lavagem do filtro com esferas de poliestireno, com expansão de 100 e 200% em 5 minutos de retrolavagem com água, ou seja, 19,1 e 29,3 m/h respectivamente. (valores médios e desvio padrão de uma amostra de 3 carreiras).**

Para cada velocidade, obteve-se um grau de expansão, em determinado tempo, e um resultado referente a qualidade da retrolavagem e produção efetiva, conforme Tabela 4.

**Tabela 4 – Valores médios referente a cada velocidade de retrolavagem aplicada.**

Velocidade de retrolavagem da água (m/h)	Grau de expansão (%)	Tempo (min)	Duração da carreira (h)	Turbidez de retrolavagem final (NTU)	Avaliação qualitativa da limpeza	Produção efetiva (%)
29,3	200	5	6,3	24,5	Boa	89
19,1	100	5	7	14,7	Boa	93
17	150	10	7	21,6	Boa	92,4
12,8	100	10	6,3	15,9	Boa	93
7	50	10	6,6	49,1	Ruim	93,8

De acordo com a Tabela 4, os melhores resultados foram alcançados pelas velocidade 19,1 m/h e 12,8 m/h, ou seja, 100% de expansão, com boa limpeza, atingindo índices de turbidez na ordem dos 15 uT e uma produção efetiva de 93%. Se comparado a produção efetiva obtida pelo filtro A+A de 93,8%, esse valor apesar de próximo não é satisfatório. Assim, testes com outros sistemas de limpeza foram realizados.

Primeiro testou-se a instalação de uma mangueira de 2 cm de diâmetro à 21 cm abaixo do topo do leito. A idéia foi instalar a entrada de água tangencial, de forma a propiciar uma turbulência em sentido helicoidal, com velocidade de aproximadamente 10 m/h. Contudo essa limpeza não foi eficiente, pois não causou um cisalhamento, quebra e arraste dos flocos. O leito dividiu-se e as partículas aderidas ficaram estacionadas, sendo que água não teve força de arrastá-las até o ponto de saída.

Como o sistema de limpeza utilizando a mangueira com água tangencial não causou cisalhamento suficiente, testou-se um o aspersor giratório. Ele também foi instalado 21 cm abaixo do topo do leito. Diferente da aplicação do ar, onde são necessários 5 minutos para o despreendimento total das partículas aderidas, na utilização do aspersor giratório são necessários 2 minutos para que as partículas adensadas nas primeiras camadas do leito se soltem. Contudo, nesse processo a água foi utilizada para o acionamento do dispositivo. Apesar de, o aspersor conseguir um bom grau de cisalhamento dos grãos entre 2 e 3 minutos do seu funcionamento, ele sozinho, com uma velocidade de 10,6 m/h, não tem força suficiente para arrastar as partículas do material até o ponto de saída da água de lavagem, precisando ser combinado com a limpeza ascensional do filtro. Algumas combinações do sistemas foram realizadas e melhoram um pouco a produção efetiva do filtro PS, conforme Tabela 5.

**Tabela 5 – Valores médios referente a cada velocidade de retrolavagem aplicada.**

Testes	Aspersor giratório (10.6 m/h) (min)	Água ascensional (19.1 m/h) (min)	Aspersor + Ascensional (28.03 m/h) (min)	Intervalos (min)	Carreira de filtração (h)	Turbidez da água de lavagem no final do processo de limpeza (NTU)	Avaliação qualitativa da limpeza	Produção Efetiva (%)
1	2	4	3	0	7,5	109	Ruim	92,3
2	2	6	0	0	7,1	55	Ruim	93,5
3	4	4	0	1	7,0	18	médio	94

Nos calculos da Tabela 5, foi considerado o mesmo tempo de recuperação. Todos os testes foram realizado uma única vez. Mesmo as diferentes combinações não mostraram benefícios no que diz respeito a produção efetiva.

Assim, analisando os resultados obtidos, para o desempenho das esferas PS, decidiu-se reduzir a espessura do leito para 68 cm. As carreiras de filtração tiveram uma duração média de 8,1 horas para o filtro PS. As carreiras de filtração foram terminadas quando a perda de carga atingiu 2 metros. A retrolavagem ótima do filtro PS obedeceu a seguinte configuração:

3 minutos de ar; 2 minutos de intervalo; 3 minutos de água; 1 minuto de ar; 2 minutos de intervalo; 4 minutos de água, com expansão de 182% em 5 minutos, perfazendo um total de 15 minutos de retrolagem no total. Não observou-se transpasse.

Além disso, o tempo de recuperação do filtro PS também foi menor, em torno de 6 minutos. Assim, a produção efetiva desse filtro teve um aumento, como observado na Tabela 7.

**Tabela 7 – Valores médios referente a cada velocidade de retrolavagem aplicada. Espessura do leito com 68 cm.**

Tempo carreira de filtração (h)	Taxa de operação (m/h)	UVCF
8,1	8,67	70,22
Tempo de retrolavagem com água (h)	Velocidade (m/h)	UVR
0,116	21,4	2,48
Tempo de recuperação (h)	taxa de recuperação (m/h)	Uvrec
0,10	8,67	0,86
Tempo total (h) (tempo CF + retr. + ar+ interv.)	Volume total - volume de retrolavagem	qEF
8,32	67,74	8,14
Produção Efetiva (%)	95,2 %	

Com a redução da espessura do leito, houve um aumento do tempo de carreira de filtração, e elevou-se a produção efetiva, sem a necessidade e incrementos no processo de limpeza. Acredita-se que isso ocorreu, porque a perda de carga inicial foi menor, além do que houve um espalhamento maior das impurezas ao longo do leito filtrante (devido a maior carga hidráulica), fazendo com que levasse mais tempo para atingir os 2 metros, pela diferentes perdas de carga inicial e pela inclinação das curvas de perda de carga. É importante ressaltar que o material é bastante homogêneo (diâmetros iguais), não sofrendo estratificação pela retrolavagem, como por exemplo a areia ou antracito, Em um filtro convencional de areia e antracito, após sucessivas lavagens, os grãos menores ficam no topo do leito filtrante, isso não ocorre com as esferas de poliestireno (PS).

Considerando essa produção efetiva, avaliou-se a produção dos filtros PS de acordo com o tempo de duração da carreira. Observou-se que a produção cresce rapidamente no início da produção, mas com a elevação do tempo de filtração a tendência é a estabilização da produção em um mesmo valor.

Assim, estimou-se a produção a longo prazo, em termos reais de volume de produção em uma ano, ou 8760 horas de produção, o Filtro PS produz um 70165 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

## CONCLUSÕES

As esferas de poliestireno vêm mostrando potencial como elemento filtrante. O objetivo desse estudo foi verificar a eficiência dos sistemas de limpeza empregados em um filtro contendo como elemento filtrante as esferas de poliestireno, e se esse elemento pode representar uma redução dos volumes de água empregados na retrolavagem.

Várias configurações do processo de retrolavagem foram testados. Vale ressaltar que os processos de limpeza dos filtros convencionais, não só podem como devem ser otimizados, pois muitas vezes tempos e vazões são convencionados sem preocupação com a verificação desses, causando por vezes desperdício de água tratada com limpezas excessivas e aumento do tempo de recuperação do filtro. Primeiramente, o filtro PS foi retrolavado da forma convencional, contudo, não demonstrou vantagens no que diz respeito a produção efetiva, porque apesar de utilizar menores velocidades de lavagem, esse necessita de mais tempo para propiciar o arraste das partículas, além do que a carreira de filtração desse filtro foi consideravelmente menor, na casa das 5,8 horas em média, quando a espessura era de 97 cm.

Outras velocidades e graus de expansão foram testados com tempos menores, porém não demonstraram vantagens. Então testou-se outros dispositivos de limpeza, como a introdução de água lateralmente, mas essa não provocou um cisalhamento satisfatório para quebrar os flocos formados e assim arraste das partículas com baixa velocidade.

Já o aspersor giratório utilizado provoca o cisalhamento, mas sozinho não produz arraste das partículas precisando ser combinado com a água ascensional, o que não gera economia.



Após esses testes, decidiu-se reduzir a espessura do leito filtrante para 68 cm. A duração da carreira de filtração que era em média 5,8 horas subiu para 8,1 horas, ou seja 40% maior. O processo de limpeza com ar e água foi aplicado e otimizado, perfazendo um total de 15 minutos de processo. Além disso, houve uma diminuição do tempo de recuperação do filtro para em média 6 minutos. Com isso, a produção efetiva foi para 95,2%. A primeira vista, essa vantagem pode parecer pouca, ou quase inexpressiva, não justificando a utilização desse material mais caro. Todavia, estimando a utilização desse material em filtros maiores e a longo prazo, ele pode ser vantajoso. A estimativa é que em dois meses e meio esse material já cobriaria o seu custo. E por ser leve possui outras vantagens, como a construção de reservatórios menos elevados ou a diminuição dos componentes e conexões necessários para a realização da retrolavagem.

Algumas observações devem ser levadas em consideração para a utilização desse material como meio filtrante, como o processo de cisalhamento e o ponto de saída da água de lavagem. O cisalhamento ou despreendimento das partículas aderidas ao meio filtrante deve ser realizado antes da introdução da água de retrolavagem, pois corresse o risco de haver perda de material filtrante durante o processo, devido as características do material. O ponto de saída da água de lavagem não deve ficar muito além de 20 cm acima do limite máximo da expansão, para que a água de retrolavagem consiga expulsar as partículas, contudo essa elevação da expansão não é instantânea devido as características do material filtrante, e para que haja uma maior produção efetiva de água o tempo de retrolavagem (por água) deve ser otimizado de acordo com as características do filtro e da água bruta à tratar.

## AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer o suporte dos órgãos de fomento FINEP/HABITARE, FAPESC/PRONEX e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento e Tecnológico).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKGIRAY, Ö.; SAATÇI, A. A New look at filter backwash hydraulics. **Water Supply**, v. 1, n. 2, p. 65–72, 2001.
2. CRITTENDEN, J. .; TRUSSELL, R. .; HAND, D. .; HOWE, K. .; TCHOBANOGLOUS, G. **Water Treatment Principles and Design**. 2<sup>o</sup>. ed. Hoboken, NJ: John Wile & Sons, 2011. p. 880–932
3. DAVIES, P. D.; WHEATLEY, A. D. Pilot plant study of alternative filter media for rapid gravity filtration. **Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research**, v. 66, n. 12, p. 2779–84, jan 2012.
4. FABRIS, R.; CHOW, C. W. K.; DRIKAS, M.; EIKEBROKK, B. Comparison of NOM character in selected Australian and Norwegian drinking waters. **Water research**, v. 42, n. 15, p. 4188–96, set 2008.
5. FARIZOGLU, B.; NUBOGLU, A.; YILDIZ, E.; KESKINLER, B. Performance of pumice as a filter bed material under rapid filter. **Filtration + Separation**, n. Abril, p. 41–46, 2003.
6. KNUDSEN, P. The effect of media selection on filtration performance. **Process Engineering - Sydney Australia**, v. 8, n. 4, 1980.
7. MOHAMMED, R. .; ABUALHAIL, S.; LU., X. W. Fluidization of fine particles and its optimal operation condition in multimedia water filter. **Des. Wat. Treat.**, v. 51, n. 22/24, p. 4768–4778, 2013.
8. NASEER, R.; ALHAIL, A. .; XI-WU, L. Fluidization and Optimum backwashing conditions in multimedia filter. **Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol.**, v. 3(11), p. 1302–1307, 2011.
9. PEARCE, P.; JARVIS, S. Operational experiences with structured plastic media filters: 10 years on. **Water and Environment Journal**, v. 25, n. 2, p. 200–207, 5 jun 2011.
10. SCHÖNTAG, J. M.; SENS, M. .; HYNMO, F.; PIZZOLATTI, B. .; JANGADA, V. . Water Quality Produced by Polystyrene Granules as a Media Filter on Rapid Filters. **Journal of Water Process Engineering**, p. 17, 2015.
11. SCHÖNTAG, J. M.; SENS, M. L. Characterization of polystyrene granules as granular media filters. **Desalination and Water Treatment**, n. June, p. 1–13, 18 jun 2014.
12. SIERRA FILHO, A.; MATTOS, A. .; CALÒ, F. **Meio Filtrante à base de Pomes e tela Termoplástica - Alternativa para a filtração de água potável**, 2005
13. TURAN, M.; SABAH, E.; GULSEN, H.; CELIK, M. . Influence of media characteristics on energy dissipation in filter backwashing. **Environ. Sci. Technol.**, v. 37, n. 18, p. 4288–4292, 2003.