

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE TRATAMENTO RESIDUAL DE METAIS
PESADOS POR FILTRAÇÃO LENTA**

ARISTON MELO JUNIOR¹

¹ Engenheiro Agrícola e Civil pela UNICAMP. Professor Doutor em Engenharia Civil na área de Recursos Hídricos e Energéticos pela UNICAMP, Pós Doutor em Engenharia Sanitária e Ambiental pela UNICAMP e Pós Doutor em Ciências Atmosféricas pela USP. Professor Adjunto das Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU).

PATRÍCIA CACHO DO NASCIMENTO²

² Engenheira Civil pela FAAP. Professora Especialista pela FGV em Construção Civil e Coordenadora do curso de Engenharia Civil da FMU.

PAULO SERGIO GERMANO³

³ Engenheiro Mecânico pela FEI. Professor Doutor em Engenharia Mecânica pela USP e Coordenador do curso de Engenharia Mecânica da FMU.

CLOVIS CHIEZ⁴

⁴ Engenheiro Civil pela USP. Professor Mestre em Engenharia Civil.

Endereço: Rua Padre Cristóvão Cordeiro, 101, apartamento 12-C, Bairro Artur Alvim, São Paulo, Capital. CEP: 03590-190. Brasil. **E-mail:** juniorariston@gmail.com

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo avaliar o grau de remoção de metais pesados em um sistema piloto de tratamento de esgoto por filtração lenta usando a Fluorescência de Raios X por Reflexão Total com Radiação Síncrotron (SR-TXRF). A filtração lenta é um processo relativamente simples onde a remoção de resíduos químicos orgânicos e inorgânicos e de material biológico ocorre através da passagem do esgoto por meios de diferentes granulometrias. Este filtro é composto por areia e brita de diferentes tamanhos em ordem decrescente de porosidade. Este procedimento é muito usado na Inglaterra, mas no Brasil seu uso ainda é recente. O uso da filtração lenta tem grande relevância na conservação dos recursos hídricos. O sistema piloto de tratamento foi instalado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, sendo composto por barris (60 L), contendo areia e brita com diferentes granulometrias. As coletas foram realizadas semanalmente durante 16 semanas no período de dezembro de 2014 até Março de 2015. As amostras foram coletadas na entrada e saída do sistema, sendo detectados os seguintes elementos químicos: P, S, Cl, K, Cr, Mn, Fe, Zn em praticamente todas as amostras. A máxima concentração de Fe foi de 5,66 mg.L⁻¹ na entrada e 2,99 mg.L⁻¹ na saída enquanto que para o Zn a concentração foi de 1,68 mg.L⁻¹ e 0,73 mg.L⁻¹ na entrada e na saída, respectivamente. Para o elemento Cr os valores foram de 0,2 mg.L⁻¹ na entrada enquanto que na saída foi de 0,11 mg.L⁻¹. Para o K as variações na entrada e saída foram de 41,75 e 33,21 mg.L⁻¹, respectivamente, mostrando uma eficiência de 98,73% na remoção deste elemento. Desta forma concluiu-se que, a eficiência de remoção foi alta para a maioria dos elementos detectados. Revelando a viabilidade desta tecnologia para a remoção de metais presentes no esgoto doméstico.

PALAVRAS-CHAVE: Remoção, depuração de esgoto, recursos hídricos.

26º. Encontro Técnico AESABESP

INTRODUÇÃO

Há alguns séculos atrás e mesmo sem possuir grandes conhecimentos, o ser humano já sabia diferenciar água esteticamente limpa de outra que se apresenta turva, com sabor ou odor.

A filtração, como parte do tratamento de água para consumo humano, foi desenvolvida pelo homem como resultado da observação da limpidez da água subterrânea, a qual era atribuída à sua passagem pelos solos naturais, tendo-se notícia do emprego da filtração para clarificação desde o século XVI (Di BERNARDO, 1993).

Os primeiros sistemas de tratamento surgiram no século passado por intermédio de John Gibb em Paisley (Escócia) e por James Simpson em Londres (Inglaterra).

Em Londres o processo se baseava principalmente na remoção de sólidos suspensos da água bruta. Em 1850 John Snow mostrou que o cólera que era transmitido pela água (ainda não era conhecida a bactéria patogênica transmissora). A solução encontrada para evitar essa transmissão e a presença de outros sólidos indesejáveis seria a filtração da água ou o abandono dos mananciais contaminados.

No Brasil essa tecnologia foi empregada em algumas cidades até a década de 60, mas nos anos subsequentes ocorreu à degradação da qualidade do manancial, e a maioria das instalações de filtração lenta, foram reformadas e convertidas em sistemas de tratamento completo, com coagulação química e filtração rápida (Di BERNARDO, 1993).

PARTE EXPERIMENTAL

As amostras foram coletadas durante quatro meses, iniciando-se em dezembro de 2014 até março de 2015 dentro do sistema piloto de tratamento de esgoto por filtração lenta instalado no campo experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI (UNICAMP), conforme figura 1.



Figura 1: Vista da estação de tratamento de esgoto por filtração lenta da FEAGRI (UNICAMP).

O esgoto que desce por gravidade da caixa de captação instalada acima da estação de filtro lento, à cerca de 50 m de distância, entra no sistema composto de 3 tanques cilíndricos de capacidade volumétrica 60 L, onde no primeiro entra o esgoto bruto e nos dois tanques seguintes ocorre a saída do esgoto pré-tratado. Sendo que esses últimos são compostos de 3 camadas de brita de diferentes granulometrias, juntamente com três camadas de areia.

As amostras da entrada podem ser retiradas pela válvula de entrada frontal, localizada abaixo do tanque, junto à tubulação de entrada, e o mesmo pode ser feito na válvula localizada na parte inferior dos tanques de saída, sendo estas válvulas utilizadas também para fazer a descarga de limpeza do sistema.

A coleta foi semanal (dentro do período de estudo), onde se retirou amostras de entrada do esgoto e saída após pré-tratamento, obtendo-se assim 2 amostras semanalmente: uma na entrada (afluente) e uma na saída (efluente) da câmara com carvão ativado. O que resultou para o período de 4 meses de pesquisa um total de 32 amostras que foram mantidas sob refrigeração para a preservação.

Um volume de 50 mL de cada amostra coletada foi filtrado em membrana de acetato de celulose (0,45 µm de porosidade).

26º. Encontro Técnico AESABESP

Após a filtragem, foi tomada uma alíquota de 1 mL da amostra filtrada e adicionado 100 µL (102,5 mg.L⁻¹) de uma solução de Gálio (Ga) usado com padrão interno.

Cinco microlitros da mistura resultante foram depositados em um disco lucite (Perspex) e submetidos à secagem com lâmpada infravermelha. Todas as amostras foram preparadas em triplicata.

Os discos foram posteriormente acondicionados em placas de Petri para proteção e transporte das amostras até o Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), onde as medidas foram realizadas na linha D09B-XRF na geometria de Reflexão Total.

A Figura 2 apresenta uma visão geral da linha D09B-XRF de análises do LNLS por onde passa o feixe de luz síncrotron que funciona pelo princípio de excitação de radiação dos elementos químicos contidos nas amostras coletadas e preparadas.



Figura 2: Foto da tubulação do anel para a linha D09B – XRF do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron.

As amostras analisadas conforme a Figura 2, foram excitadas por 100 segundos empregando-se um feixe policromático e os raios X medidos com um detector semicondutor de Ge hiperpuro, com resolução de 150 eV a 5,9 keV.

Na SR-TXRF não há a ocorrência do efeito de absorção e reforço como na ED-XRF ou WD-XRF, não sendo necessária a correção do efeito matriz em razão da espessura muito fina da amostra. Portanto, a análise quantitativa é feita através da equação 1, onde I_i = intensidade líquida de raios X para o elemento i (cps); C_i = concentração do elemento i (ppm ou µg.mL⁻¹) e S_{Ri} = sensibilidade relativa para o elemento i (cps/ppm ou cps.mL. µg⁻¹).

$$I_i = s_i \cdot C_i \quad \text{Equação 1}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para calcular a sensibilidade elementar foram utilizadas cinco soluções padrão contendo elementos conhecidos e em diferentes concentrações, acrescidas do elemento gálio (Ga) utilizado como padrão interno.

Para a calibração do sistema foram determinadas as sensibilidades experimentais para cada elemento contido na solução padrão e, em seguida foi feito o ajuste desta curva para os elementos na faixa de energia de interesse, incluindo aqueles para os quais não se dispunha de padrões.

A tabela 1 apresenta a sensibilidade relativa para a linha K.

26º. Encontro Técnico AESABESP

Tabela 1: Sensibilidade relativa experimental para a série K.

Número Atômico (Z)	Elemento Químico	Sensibilidade Relativa Experimental
19	K	0,051170
20	Ca	0,076287
22	Ti	0,159690
24	Cr	0,301810
26	Fe	0,501466
28	Ni	0,713218
30	Zn	0,845466
31	Ga	0,852609
34	Se	0,618315
38	Sr	0,158471

Através do ajuste dos dados experimentais é obtida a equação que relaciona a sensibilidade relativa (S_{Ri}) com o número atômico (Z) do elemento (Figura 3), sendo a equação e o coeficiente de determinação (R^2), apresentados na equação 2.

$$S_{Ri} = \exp(-9,71415025 + 0,10144873 \cdot Z + 0,0238887 \cdot Z^2 - 5,55444762 \cdot 10^{-4} \cdot Z^3)$$

Equação 2

$$R^2 = 0,98855$$

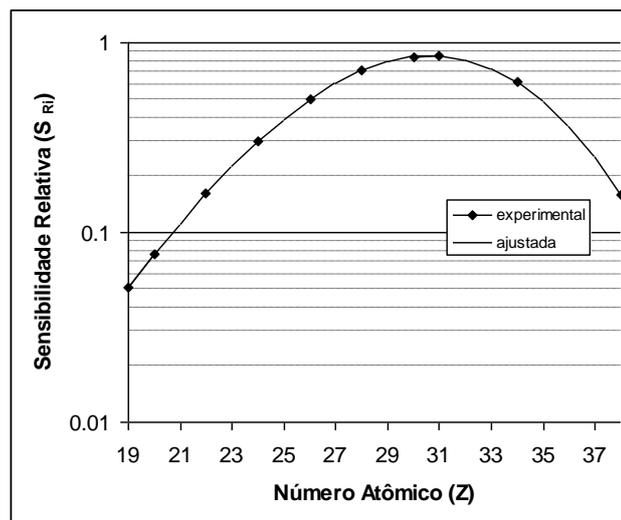


Figura 3: Curva da sensibilidade relativa (S_{Ri}) para série K utilizando SR-TXRF.

Depois de obtida a curva de sensibilidade observadas na figura 3 acima, foram determinadas as concentrações dos elementos presentes no afluente do leito cultivado, apresentadas na Tabela 2.

26º. Encontro Técnico AESABESP

Tabela 2: Concentração (mg.L^{-1}) dos elementos presentes nas amostras da entrada do sistema.

PERÍODO (semanas)	P	S	Cl	K	Cr	Mn	Fe	Zn
1	1,6	0,9	10,7	15,2	0,012	0,047	0,80	0,26
2	6,4	6,6	44,5	28,4	0,035	0,065	0,83	0,39
3	4,1	10,8	75,8	41,8	0,017	0,048	0,87	0,30
4	4,5	8,6	37,8	21,1	0,200	0,070	1,49	0,20
5	4,1	2,9	39,8	17,6	0,027	0,110	4,93	0,22
6	3,3	3,7	66,6	24,3	0,087	0,039	2,02	0,14
7	3,8	4,7	44,7	20,1	0,032	0,047	1,83	0,21
8	3,3	3,1	82,3	25,0	0,014	0,042	0,45	1,68
9	3,2	2,4	72,7	19,4	0,050	0,015	0,40	0,20
10	3,8	3,0	61,0	25,0	0,014	0,040	2,83	0,21
11	4,1	2,7	53,0	16,2	0,250	0,053	3,80	0,21
12	4,1	3,7	44,3	18,5	0,014	0,027	0,77	0,14
13	3,7	4,0	78,0	23,2	0,067	0,026	0,75	0,14
14	3,4	3,3	72,6	24,6	0,025	0,020	0,91	0,15
15	4,0	2,7	63,8	22,1	0,067	0,028	1,39	0,23
16	3,2	3,0	65,7	22,8	0,200	0,050	5,66	0,30

Podendo inclusive ser observado o comportamento evolutivo durante o período de estudo nas Figuras 4 e 5 a seguir.

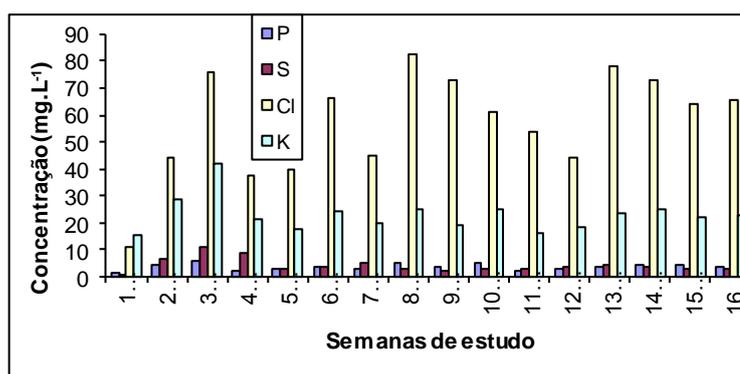


Figura 4: Concentrações de P, S, Cl e K na entrada do sistema.

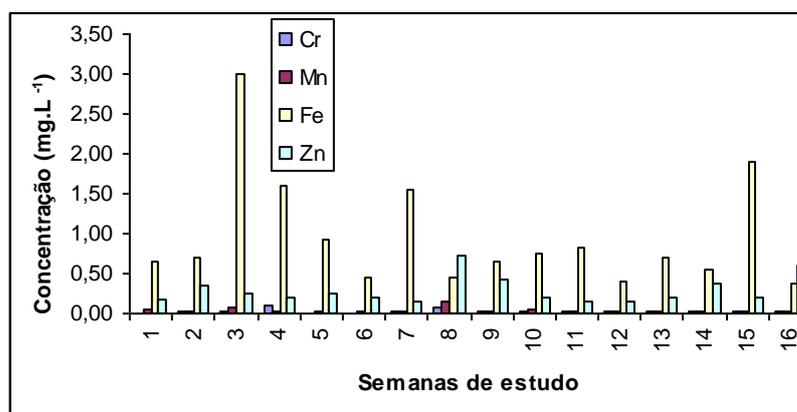


Figura 5: Concentrações de Cr, Mn, Fe e Zn na entrada do sistema.

26º. Encontro Técnico AESABESP

Os elementos detectados nas amostras coletadas na saída do sistema de filtração lenta foram agrupados na tabela 3 abaixo.

Tabela 3: Concentração (mg.L^{-1}) de elementos na saída do filtro lento.

PERÍODO (semanas)	P	S	Cl	K	Cr	Mn	Fe	Zn
1	1,6	0,9	13,1	17,3	0,007	0,045	0,66	0,18
2	4,3	2,4	30,2	33,2	0,014	0,029	0,70	0,34
3	6,1	1,7	27,3	21,7	0,016	0,072	2,99	0,26
4	1,9	2,8	66,3	28,5	0,110	0,036	1,60	0,19
5	2,7	2,6	46,3	29,1	0,011	0,021	0,93	0,25
6	3,9	2,6	55,9	24,7	0,010	0,032	0,46	0,21
7	2,7	3,9	76,9	27,0	0,013	0,032	1,54	0,16
8	5,3	2,5	58,9	22,1	0,078	0,150	0,44	0,73
9	3,3	1,8	48,3	20,2	0,016	0,027	0,65	0,43
10	4,7	2,2	64,7	22,6	0,018	0,050	0,76	0,20
11	2,2	2,2	41,8	19,6	0,015	0,029	0,83	0,16
12	2,9	2,7	70,1	23,2	0,018	0,021	0,39	0,16
13	3,9	2,4	63,2	21,8	0,030	0,027	0,71	0,21
14	4,6	2,2	59,7	18,6	0,016	0,036	0,56	0,37
15	4,5	2,6	58,2	22,9	0,027	0,036	1,89	0,19
16	3,3	2,3	70,9	17,7	0,014	0,027	0,37	0,61

Os dados determinados e catalogados na tabela anterior podem ser observados de forma mais detalhada através das figuras 6 e 7.

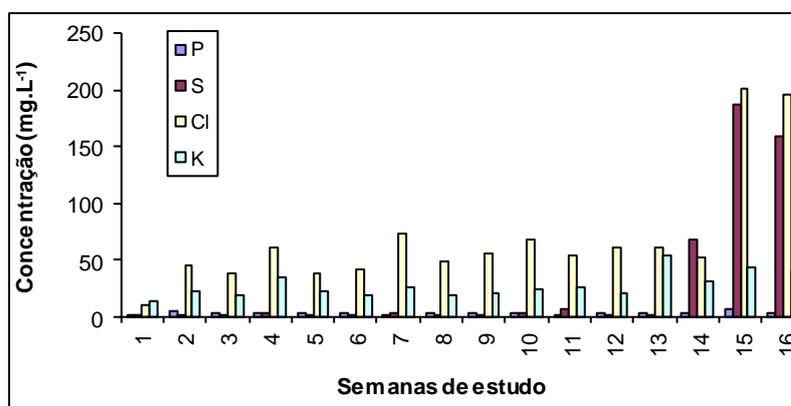


Figura 6: Concentrações de P, S, Cl e K na saída do sistema.

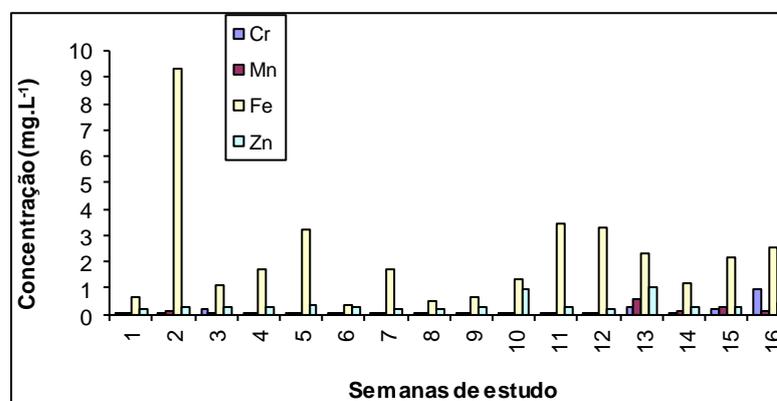


Figura 7: Concentrações de Cr, Mn, Fe e Zn na saída do sistema.

26º. Encontro Técnico AESABESP

A tabela 4 mostra a eficiência de remoção dos elementos durante o período de coleta das amostras no sistema de tratamento de esgoto alternativo.

Tabela 4: Eficiência de remoção do tratamento pelo sistema de filtração lenta.

Elemento Químico	Porcentagem de remoção (%)
P	95,84
S	56,82
Cl	93,22
K	98,73
Cr	37,17
Mn	92,16
Fe	52,07
Zn	93,37

CONCLUSÕES

O sistema de filtração lenta promoveu uma diminuição da concentração dos elementos ao longo do período de estudo, mostrando um alto grau de eficiência.

Trata-se de um sistema de potencial que pode agregar um grande valor na conservação dos recursos hídricos.

Dentre os elementos analisados no estudo, o sistema mostrou uma alta eficiência para os elementos P, Cl, K, Mn e Zn, com porcentagens de remoção acima de 90%, enquanto que para o S e Fe a eficiência foi de aproximadamente 50%.

Para o elemento Cr a remoção não foi tão significativa (37,17 %), mas deve-se considerar que este elemento apresenta elevada toxicidade e, portanto qualquer remoção justifica o emprego do tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água, 2 (1993).

PATERNIANI, J. E. S. Tese de Doutorado, EESC - USP, (1991).

MABWETTE, T. S. A., GRAHAM, N. J. D. - Filtration and separation. 24, (1987).

KLOCKENKÄMPER, R.; VON BOHLEN, A. Elemental Analysis of Environmental Samples by Total Reflection X-ray Fluorescence: a Review. **X-ray Spectrometry**, 25, 156-162, 1996.