

I-029 - AVALIAÇÃO HIDRODINÂMICA DE FILTRO DE AREIA E CARVÃO TRATANDO ÁGUA DA CHUVA COLETADA EM UMA INSTITUIÇÃO DE ENSINO

Anna Carla Ribeiro⁽¹⁾

Acadêmica de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão.

Aline Yumi Hatorri

Acadêmica de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão.

Eudes José Arantes

Engenheiro Civil pela Universidade de São Paulo (2000). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão.

Fernando Hermes Passig

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba (UTFPR).

Karina Querne de Carvalho

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba (UTFPR).

Endereço⁽¹⁾: BR-369, km 0,5, Caixa Postal 271 – Campo Mourão – Paraná - CEP: 87.301-006 – Brasil – Tel: +55 (44) 3518-1434 - e-mail: annacarlar@hotmail.com

RESUMO

O objetivo deste artigo é avaliar a possibilidade de aproveitamento de água da chuva tratada por filtros de areia e carvão e avaliar seu regime hidrodinâmico. Para isso foram realizadas determinações físico-químicas das amostras de água bruta e tratada e ensaios hidrodinâmicos de estímulo-resposta. Para a caracterização físico-química foi feita em duplicata com determinação da temperatura, pH, turbidez, condutividade, DQO, ST, SST, alcalinidade total e concentração de ácidos voláteis em amostras de água da chuva (brutas e filtradas). Os ensaios de estímulo-resposta tipo pulso foram feitos em triplicata utilizando eosina y e azul de bromofenol como traçadores. De acordo com os resultados das análises físico-químicas é possível notar que as características de água da chuva bruta estão fora do padrão de potabilidade, verificando assim a necessidade de um tratamento para se adequar aos valores estabelecidos. No entanto é possível seu uso para fins não potáveis como lavagem de pátios, rega de jardins e descarte em sanitários. Com os ensaios hidrodinâmicos foi possível concluir que os filtros de areia e de carvão ativado apresentaram comportamento similares ao modelo de dispersão de pequena intensidade para os ensaios com ambos os traçadores. Além disso, foi verificado atraso da resposta dos traçadores nas amostras do efluente dos filtros em todos os ensaios, o que pode indicar adsorção deste traçador no interior dos filtros.

PALAVRAS-CHAVE: Comportamento, turbidez, traçador.

INTRODUÇÃO

No intuito de adequar a qualidade da água da chuva a esses padrões de potabilidade, realiza-se tratamentos físico-químicos ou até mesmo biológico através da implantação de filtros como etapa subsequente do tratamento simplificado (SCHUJMAN, ALVES, ZANELLA, DANIEL, 2009).

O processo de filtração ocorre quando há a retenção de partículas em suspensão e microorganismos associados presentes na água, mediante sua passagem por meio poroso (CIPRIANO, 2004). Seu meio poroso pode ser constituído de diversos materiais granulares, sendo a areia o material granular mais comum, seguida de antracito, areia de granada e carvão ativado granular (CARDOSO, 2009).

Os filtros podem ser classificados como rápido ou lento isso devida à taxa de filtração a qual são submetidos e pelo método de limpeza. No filtro lento, as baixas taxas de filtração ($3 \text{ a } 9 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$) determinam um desempenho diferenciado dos filtros rápidos, cujo a camada superficial do filtro é responsável por praticamente todo o mecanismo da filtração (MURTHA e HELLER, 2003).

Com o emprego de filtros lentos na tratabilidade da água da chuva, é necessário um melhor conhecimento acerca do comportamento hidrodinâmico das unidades de tratamento, sendo esse obtido com o monitoramento das aplicações de produtos químicos nos filtros com certa cautela, visto a influência do gradiente de velocidade e do tempo de agitação na eficiência da coagulação e, conseqüentemente, no desempenho das unidades subsequentes (DI BERNARDO, 2005).

Afim de conhecer o comportamento hidrodinâmico, estuda-se tempo de detenção hidráulica (TDH), que é o tempo médio de permanência das moléculas de água em uma unidade de tratamento, alimentado continuamente. Segundo Di Bernardo (2005) o tempo teórico de detenção, denominado de T_0 , é obtido por V_u/Q_a , sendo V_u o volume útil e Q_a a vazão afluente.

Nesse tipo de ensaio, primeiramente é necessário escolher o tipo de traçador a ser usado, pois pode-se encontrar diversas substâncias para a mesma finalidade. Os fatores que influenciam nessa decisão são de diversas ordens, tais como: a vazão afluente, o tamanho das unidades de tratamento, a qualidade da água e o custo do produto. Além disso, fazer uma pesquisa prévia na escolha dos traçadores se faz necessário devido as características essenciais necessária para que o produto seja ideal, como: concentração na água consistentemente baixa e aproximadamente constante, ausência de reação com compostos presentes na água e facilidade na detecção e medição na água (DI BERNARDO, 2005).

MATERIAIS E MÉTODOS

O aparato experimental era composto de dois filtros confeccionados em PVC com 10 mm de diâmetro, 50 cm de altura, $0,00785 \text{ m}^2$ de área e $0,025 \text{ m}^3$ de volume. O recheio dos filtros era composto de carvão ativado e areia. Os filtros foram alimentados com água da chuva coletada em uma instituição de ensino, operados com vazão de 3 L/h, taxa de aplicação superficial de $3 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, TDH de 1,2 h e alimentado por uma bomba dosadora solenóide da marca Prominent, modelo Conb 1201 que recalrava a água da chuva de um reservatório de 220 L.

A caracterização físico-química foi feita em duplicata com determinação da temperatura, pH, turbidez, condutividade, DQO, ST e SST em amostras de água da chuva (brutas e filtradas) de acordo com Eaton et al. (2005). Alcalinidade total e concentração de ácidos voláteis foram realizadas segundo metodologia de Dillalo e Albertson (1961) e Ripley et al. (1986), respectivamente.

Os ensaios de estímulo-resposta tipo pulso foram feitos em triplicata utilizando eosina y e azul de bromofenol como traçadores, com injeção de volume de 20 mL e tempo de 30 s. As amostras eram coletas em intervalos de 10 min com duração total de 8 h. As concentrações dos traçadores nas amostras foram determinadas pela leitura do comprimento de onda pelo método colorimétrico de absorbância com espectrofotômetro Hach uv-vis, modelo DR/5000, sendo 516 nm e 590 nm para eosina y e azul de bromofenol, respectivamente.

O ajuste das curvas experimentais de distribuição do tempo de detenção hidráulica em função do tempo adimensional foi realizado com base nos modelos teóricos uniparamétricos de dispersão - de pequena (PD) e de grande intensidade (GD) e de tanques em série (N-CSTR) de acordo com Levenspiel (2000).

O volume de zonas mortas no interior dos filtros foi calculado de acordo com metodologia reportada por Penã et al. (2006) com base nos valores de TDH teórico e real obtidos a partir dos ensaios hidrodinâmicos e do volume total dos filtros.

A presença de curtos-circuitos (Ψ) foi verificada pela relação entre o tempo do primeiro aparecimento do traçador no efluente (τ_k , h) dos filtros e seus respectivos valores de TDH teórico (τ_r , h) de acordo com Sarathai et al. (2010). A relação de 0,3 ou menor reflete em fluxo com efeito pronunciado de curto-circuito Thackston et al. (1987).

A eficiência hidráulica dos filtros (λ) é a razão entre a vazão de água tratada (Q) e a vazão de água bruta (Q_{bruta}) em série (N) de acordo com [6], e pode ser classificada em: (i) boa eficiência hidráulica para $\lambda > 0,75$; (ii) eficiência hidráulica satisfatória para $0,5 > \lambda > 0,75$; (iii) eficiência hidráulica pobre para $\lambda \leq 0,5$.

RESULTADOS

Segundo [13], a areia foi classificada como agregado miúdo (0,6 mm a 2,0 mm), com grãos caracterizados em torno de 1,18 mm, mediante cálculos do Diâmetro Máximo Característico (DMC) e de módulo de finura inferior a 2,4 (1,27), representando areia média. A porcentagem de massa retida foi obtida a partir da peneira de 2,4 mm para areia I, II e mista. Para o filtro de carvão, a caracterização do meio filtrante, foi de Areia Média, com 65% das partículas retidas nessa faixa, 20% como areia fina, 13% como areia grossa e 2% como pedregulho.

Os resultados obtidos na caracterização físico-química das amostras de água da chuva são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Resumo dos resultados obtidos na caracterização físico-química.

Parâmetros	Precipitação Livre				Corredor				Telhado Cerâmico				Ginásio			
	X	DP	Máx	Mín	X	DP	Máx	Mín	X	DP	Máx	Mín	x	DP	Máx	Mín
Temperatura (°C)	21,3	0,14	21,4	21,2	21,05	0,07	21,10	21,0	22,0	-	22,0	22,0	24,0	-	24,0	24,0
pH	6,9	0,42	7,2	6,6	6,8	0,5	6,8	6,1	5,1	-	5,1	5,1	6,1	-	6,1	6,1
Turbidez (UNT)	16,1	3,82	18,8	13,4	24,6	12,9	33,7	12,2	33,1	-	33,1	33,1	14,2	-	14,2	14,2
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}^2$)	26,95	8,98	33,3	20,6	57,5	17,3	69,8	41,4	95,3	-	95,3	95,3	17,4	-	17,4	17,4
Alcalinidade a bicarbonato (mgCaCO_3/L)	6,95	3,32	9,3	4,6	7,0	1,2	7,8	6,0	7,6	-	7,6	7,6	4,5	-	4,5	4,5
Ácidos Voláteis (mgHAc/L)	23,1	1,41	24,1	22,1	24,4	1,5	25,5	23,4	25,7	-	25,7	25,7	23,0	-	23,0	23,0
DQO bruta (mg/L)	<10,0	-	-	-	48,0	9,0	54,4	0,0	64,8	-	64,8	64,8	3,4	-	3,4	3,4
DQO filtrada (mg/L)	<10,0	-	-	-	<10,0	-	-	-	<10,0	-	-	-	<10,0	-	-	-
Sólidos Totais (mg/L)	36,15	5,02	39,7	32,6	68,6	2,5	70,0	58,8	66,3	-	66,3	66,3	25,1	-	25,1	25,1
Sólidos Totais Voláteis (mg/L)	20,7	1,98	22,1	19,3	38,6	5,0	42,1	30,5	39,9	-	39,9	39,9	19,3	-	19,3	19,3
Sólidos Totais Fixos (mg/L)	17,7	0,14	17,8	17,6	39,3	6,2	43,6	20,0	23,2	-	23,2	23,2	16,0	-	16,0	16,0
Sólidos Suspensos Totais (mg/L)	11,05	0,21	11,2	10,9	15,9	2,8	17,9	10,0	18,5	-	18,5	18,5	10,9	-	10,9	10,9
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	6,1	0,85	6,7	5,5	9,9	1,1	10,7	3,4	13,7	-	13,7	13,7	2,3	-	2,3	2,3
Sólidos Suspensos Fixos (mg/L)	3,25	1,48	4,3	2,2	6,5	1,0	7,2	3,0	12,4	-	12,4	12,4	4,6	-	4,6	4,6

x: média aritmética; DP: desvio padrão; Máx: valor máximo; Mín: valor mínimo.

Pela Tabela 1 é possível notar que as características de água da chuva bruta estão fora do padrão de potabilidade estabelecido por [14], verificando assim a necessidade de um tratamento para se adequar aos valores estabelecidos. No entanto é possível seu uso para fins não potáveis como lavagem de pátios, rega de jardins e descarte em sanitários.

Na Figura 1 são apresentados os resultados obtidos com o ajuste das curvas de distribuição do tempo de residência pelos modelos matemáticos teóricos bem como os valores de correlação para os filtros. Os valores de TDH real obtidos para os filtros de areia e carvão resultaram maiores do que o TDH teórico de 1,2 h, o que pode indicar o atraso na resposta do traçador utilizado devido à adsorção do traçador no meio filtrante. Nota-se ainda que o modelo teórico de N-CSTR indicou 2 a 3 e 4 a 9 para o filtro de areia e de 2 a 3 e 4 a 9 para o filtro de carvão, utilizando eosina Y e azul de bromofenol, respectivamente.

Figura 1: Valores médios obtidos com o ajuste dos dados experimentais aos modelos teóricos uniparamétricos e coeficientes de correlação.

Tipo de Filtro	Traçador	TDH real (h)	N-CSTR (N)	N-CSTR (correl)	PD (D/uL)	PD (D/uL) (correl)	GD (D/uL)	GD (D/uL) (correl)
Filtro de Areia	Eosina Y	2,4 ± 0,8	3	0,642	0,221	0,727	0,142	0,659
	Azul de Bromofenol	2,4 ± 0,8	7	0,955	0,077	0,869	0,061	0,659
Filtro de Carvão	Eosina Y	1,7 ± 0,3	2	0,673	0,253	0,729	0,176	0,654
	Azul de Bromofenol	2,4 ± 0,8	7	0,643	0,077	0,869	0,061	0,659

Na Figura 1 são apresentadas as médias das curvas de distribuição do tempo de residência hidráulica ($E\theta$) em função do tempo adimensional (θ) para os filtros de areia e carvão respectivamente.

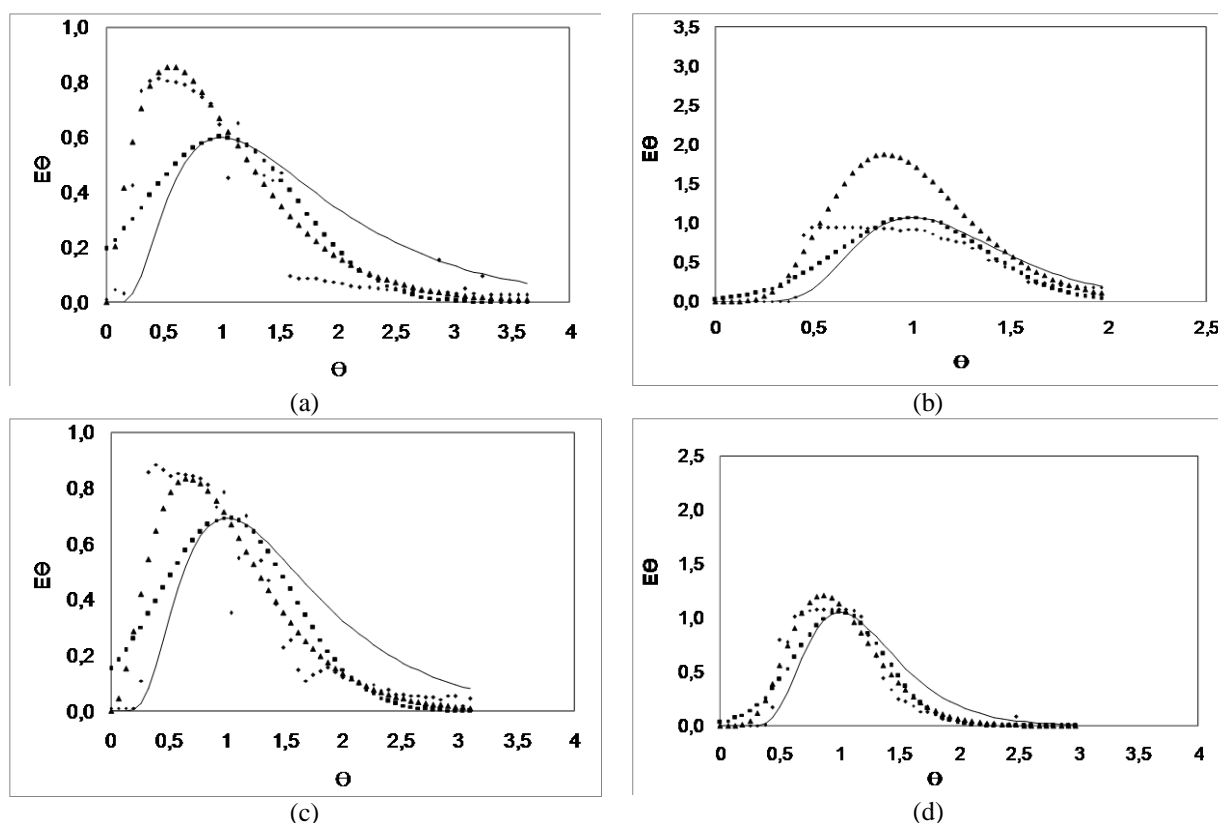


Figura 1: Médias das curvas de DTR obtidas experimentalmente para os ensaios de estímulo-resposta: filtro de areia - a) eosina Y, b) azul de bromofenol; filtro de carvão - c) eosina Y, d) azul de bromofenol. Legenda: -♦- Dados Experimentais; -■- N-CSTR em série; -▲- Pequena Dispersão; -●- Grande Dispersão.

Em relação aos modelos uniparamétricos de dispersão, o modelo de grande intensidade apresentou melhor ajuste aos dados experimentais em todos os ensaios realizados para o filtro lento de areia, apesar de inicialmente os ensaios não respeitarem suas premissas ($D/uL < 0,01$ e dispersão idêntica dentro e fora do volume de controle). Entretanto, isto não significa que o ajuste tenha sido satisfatório, pois, mesmo neste modelo, foi grande a dispersão em relação aos valores experimentais.

No filtro de carvão devido à elevada dispersão longitudinal encontrada no parâmetro D/uL nos modelos de dispersão de pequena e grande intensidade, ao valor do parâmetro N encontrado e ao melhor de ajuste dos dados experimentais pelo modelo de dispersão de pequena intensidade em relação aos demais modelos.

O volume de zonas mortas para todos os ensaios resultou em ausência de zonas mortas para ambos os tipos de filtros. Ao relacionar os valores de TDH com os volumes de zonas mortas nota-se que devido ao atraso da resposta do traçador resultou na ausência de zonas mortas, uma vez que a presença de zonas mortas resulta na diminuição do volume útil do reator, e consequentemente permitindo que o traçador seja liberado mais rapidamente. A eficiência hidráulica média para o filtro de areia foi de 0,63 e 0,88, e de 0,57 e 0,88 para o filtro de carvão, com eosina Y e azul de bromofenol, respectivamente. Para ambos os filtros e traçadores não foram verificados curto-circuitos hidráulicos, sendo os valores de 0,42 e 0,83 para o filtro de areia e de 0,48 e 0,80 para o filtro de carvão para eosina Y e azul de bromofenol, respectivamente.

CONCLUSÃO

Verificou-se o filtro lento de areia não apresentou eficiência na retenção de algumas partículas, o que pode ser atribuído ao pico no valor da turbidez no afluente de aproximadamente 112 UNT que provavelmente causou a colmatação do recheio filtrante e consequentemente no arraste de sólidos suspensos no efluente do filtro (188 UNT). Dessa maneira, é possível notar que o filtro não se comportou de modo satisfatório, apresentando no decorrer dos dias, amostras de efluente com parâmetros acima do exigido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde.

Além disso, o curto tempo de operação e monitoramento do filtro pode também ter contribuído para esses resultados, causando retardo na formação do filme microbiano Schmutzdecke, uma vez que esse tem papel essencial na eficiência de remoção de bactérias pelo filtro lento descendente e quando o mesmo não se desenvolve a contento, pode ocorrer maior penetração de impurezas no interior do leito filtrante. Isso pode ter ocorrido devido ao carregamento de material em suspensão provavelmente gerado pelo acúmulo de matéria inorgânica no reservatório e dentro do filtro, o que pode ter elevado a turbidez das amostras. No efluente, esse resultado pode indicar uma possível saturação no filtro, reduzindo assim sua eficiência, sendo necessária a sua lavagem para posterior recuperação da eficiência na remoção da turbidez.

Com os ensaios hidrodinâmicos foi possível concluir que os filtros de areia e de carvão ativado apresentaram comportamento similares ao modelo de dispersão de pequena intensidade para os ensaios com ambos os traçadores. Além disso, foi verificado atraso da resposta dos traçadores nas amostras do efluente dos filtros em todos os ensaios, o que pode indicar adsorção deste traçador no interior dos filtros. O fenômeno de cauda observado nas curvas obtidas é resultante da difusão dos traçadores e de sua lenta liberação no efluente dos filtros. Em termos de eficiência hidráulica foi possível concluir que os valores obtidos para eosina Y indicam eficiência satisfatória e eficiência boa para azul de bromofenol, sem a ocorrência de curtos circuitos em ambos os casos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SCHUJMAN, O. S.; ALVES, W. C.; ZANELLA, L.; DANIEL, L.A. 2009. Procedimentos operacionais em sistemas de aproveitamento de água de chuva no IPT. In: Assembléia Nacional da ASSEMAE, 39, 2009, Gramado. Anais... Gramado: Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento.- ASSEMAE, 2009.
2. CIPRIANO, R. F. P. Tratamento de águas de chuva escoadas sobre telhado e avaliação do seu uso. 2004. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Fundação Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.
3. CARDOSO, M. P. Viabilidade do Aproveitamento de Água de Chuva em zonas urbanas: Estudo de caso no Município de Belo Horizonte – MG. 2009. 74 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2009.
4. MURTHA, N. A., HELLER, L. Avaliação da influência de parâmetros de projeto e das características da água bruta no comportamento de filtros lentos de areia. Artigo Técnico. Ed Engenharia Sanitária e Ambiental, vol. 8, 2003.
5. DI BERNARDO, L.; Dantas, Â. B. Métodos e técnicas de tratamento de água– segunda edição. São Carlos: RiMa, 2005.
6. EATON, A.D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E.W.; GREENBERG, A. E. (Ed.). (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation.

7. LEVENSPIEL, O. (2000) Engenharia das Reações Químicas. 3 ed. São Paulo. Ed. Edgard Blücher Ltda.
8. DILLALO, R.; ALBERTSON, O.E. (1961) "Volatile acids by direct titration" Journal of Water Pollution Control Federation, v. 33, n. 4, p. 356-365.
9. RIPLEY, L.E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J.C. (1986) "Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes" Journal Water Pollution Control Federation, v. 58, n. 5, p. 406-411.
10. PENÃ, M. R.; MARA, D.D.; AVELLA G.P. Dispersion and treatment performance analysis of an UASB reactor under different hydraulic loading rates. Water Research. P.445-453. 2006.
11. SARATHAI, Y.; KOOTTATEP, T.; MOREL, A. Hydraulic characteristics of an anaerobic baffled reactor as onsite wastewater treatment system. Journal of Environmental Sciences. p. 1319-1326. 2010.
12. THACKSTON, E. L.; SHIELDS JR F D, SCHROEDER P R. Residence time distributions of shallow basins. Journal of Environmental Engineering. 1987.
13. PERSSON J.; SOMES N. L. G.; WONG, T. H. F. Hydraulics efficiency of constructed wetlands and ponds. Water Science and Technology, 40: p. 291 – 300, 1999.
14. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1982) NBR 7217/1982 - Agregados: Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro.