

AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO DESCARTE DA PRIMEIRA ÁGUA DE CHUVA, DO TRATAMENTO POR FILTRO LENTO E DA ALTURA DA CAMADA FILTRANTE NA QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA

Mariah Siebert Zipf¹, Brenda Knop², Ivone Gohr Pinheiro³ e José Alexandre Borges Valle⁴

Resumo: *Visando a contribuir com o uso racional de água, este trabalho teve como objetivo, tratar a água de chuva através de filtro lento de areia a qual possui um coeficiente de uniformidade de 1,88 e um diâmetro efetivo de 0,25. A condutividade hidráulica do meio filtrante foi de $4,76 \times 10^{-3}$ m/s, com uma permeabilidade de $4,8 \times 10^{-10}$ m². O filtro operou com fluxo descendente com três taxas de filtração, 2, 4 e 6 m³/m²/dia, correspondentes, respectivamente, a número de Reynolds de $1,3 \times 10^{-3}$, $2,6 \times 10^{-3}$ e $3,9 \times 10^{-3}$. Avaliaram-se o pH, a cor aparente, a turbidez, a temperatura, coliformes totais e Escherichia coli na entrada, na saída e em diferentes alturas do meio filtrante, bem como se avaliou pH, cor aparente e temperatura no reservatório de descarte da primeira água de chuva. A importância do reservatório de descarte fica evidenciada quando se compara a cor aparente e a turbidez da água de chuva realizando o primeiro descarte e não realizando, comparação que acusa a redução de, em média, 64% da cor aparente e 67% de turbidez da água com descarte. Os parâmetros microbiológicos tiveram uma remoção bastante eficiente, principalmente em relação aos coliformes totais. O filtro apresenta eficiência na remoção de cor, turbidez e microrganismos, para todas as taxas de filtração. Análises nas saídas laterais indicam que a camada filtrante pode diminuir 30 cm para o caso da taxa de filtração mais baixa, de 2m³/m²/dia.*

Palavras-chave: Água de chuva. Qualidade. Filtração lenta. Parâmetros físico-químicos. Parâmetros microbiológicos.

1 Introdução

O crescimento populacional, a urbanização e a industrialização, além da falta de consciência ambiental fazem com que a água se torne um bem escasso (JAQUES, 2005). “A escassez não é privilégio apenas de regiões áridas; muitas outras regiões cujos recursos hídricos são abundantes e passíveis de escassez podem sofrer por demandas excessivamente elevadas e de conflitos entre usos e restrições de consumo.” (CIPRIANO, 2004, p.14).

O problema da diminuição das reservas de água tem gerado preocupação e incentivado ao racionamento e à busca de soluções alternativas para a escassez (HAGEMANN, 2009). A água de chuva tem se configurado como uma promissora fonte alternativa de água, principalmente em

regiões metropolitanas e do semiárido (MORUZZI; CARVALHO; OLIVEIRA 2012).

Além do seu potencial para gerar quantidades consideráveis de água, o aproveitamento de água da chuva se torna menos caro em comparação a outros métodos, como perfuração de poços (ALADENOLA; ADEBOYE, 2009). Ainda contribui para a diminuição de enchentes causadas por chuvas torrenciais em grandes cidades, onde grande parte da superfície tornou-se impermeável devido às construções, impedindo a infiltração da água (TOMAZ, 2003).

O tratamento necessário da água de chuva dependerá da utilização final que se dará a essa água (AMORIM; PEREIRA, 2008). Essa água pode servir para usos não potáveis e, após o tratamento adequado, também pode fornecer água potável para consumo humano e animal (ALADENOLA; ADEBOYE, 2009). O controle da qualidade

¹ E-mail: mariah.zipf@gmail.com

² E-mail: brenda.knop@hotmail.com

³ E-mail: ivonegp@furb.br

FURB - Universidade Regional de Blumenau . PPGEA – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental . CAMPUS II Complexo Tecnológico Rua São Paulo, 3250 - Sala I 103. Itoupava Seca - 89030-000 Blumenau – SC

⁴ E-mail: alex@furb.br; alexandre.valle@ufsc.br

da água para consumo humano constitui uma preocupação dominante para muitas entidades gestoras de sistemas de abastecimento de água de todo o mundo industrializado (BASTOS, 2007).

Consegue-se um primeiro melhoramento da qualidade da água de chuva apenas desprezando a primeira descarga de um evento. Esse procedimento é também denominado de autolimpeza da água da chuva. Como opção de tratamento, a filtração lenta é um método barato para melhorar a qualidade bacteriológica da água (HELMREICH; HORN, 2009; TOMAZ, 2003).

A filtração lenta, com o uso de filtros de areia, tem sido indicada como alternativa de largo potencial de aplicabilidade, especialmente em pequenas comunidades de países em desenvolvimento. São atribuídas a esta técnica características como facilidade operacional, baixos custos de implantação e operação e grande eficiência na remoção de sólidos e organismos patogênicos (MURTHA; HELLER, 2003).

O conhecimento do meio filtrante é imprescindível para o desempenho do filtro lento, sendo este, influenciado pela taxa de filtração, temperatura, espessura do meio filtrante, tamanho dos grãos da areia, idade da “Shmutzdecke”, e pela maturidade microbiológica do meio filtrante, entre outros (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999). Além disso, segundo Kemerich e Junior (2010), os tamanhos das partículas de areia influenciam na vazão do sistema.

Então o presente trabalho teve como objetivo, montar e monitorar um sistema piloto de tratamento de água de chuva através de filtração lenta em areia, realizando a caracterização física e hidrodinâmica do sistema, a fim de otimizar o processo e verificar a possibilidade de diminuir a altura da camada filtrante.

2 Material e métodos

A coleta e armazenamento da água de chuva, assim como o seu tratamento na instalação piloto, ocorreram em uma casa modelo, situada no Campus II da Universidade Regional de Blumenau (FURB), localizada em Blumenau, Santa Catarina.

A casa modelo possui 97,42 m² de área projetada de telhado, com 84,32 m² de efetiva área de captação de água de chuva. A casa é composta por um pavimento, suspensão por pilotis, cuja área inferior foi

utilizada para a instalação do sistema de captação e armazenamento da água de chuva (CORDERO, 2011). A água de chuva coletada passa por um gradeamento, a fim de remover os sólidos de maior diâmetro, pelo reservatório de descarte da primeira água de limpeza do telhado, sendo armazenada em um reservatório de 5000 litros, seguindo então, para o tratamento no filtro, através de uma bomba helicoidal.

2.1 Caracterização da água da chuva bruta

Anteriormente a instalação dos filtros, durante três meses, realizou-se a caracterização da água de chuva, avaliando-se os parâmetros cor aparente, turbidez, pH e temperatura. As coletas foram realizadas a cada evento de chuva, totalizando 17 séries de análise.

Em cada série, foram realizadas análises com a água de chuva a ser desprezada (reservatório de descarte) e com a água armazenada para posterior tratamento nos filtros (reservatório de armazenamento), a fim de avaliar a diferença da qualidade com o procedimento de separação da primeira água de chuva.

2.2 Montagem do filtro

A instalação piloto consiste em um filtro com suporte cilíndrico feito de PVC rígido com diâmetro de 0,20 m e altura de 1,65 m. No fundo do tubo foi colocado um tampão (CAP) e a quatro centímetros do fundo do filtro foi colocada uma placa de acrílico com orifícios circulares, a fim de sustentar o material filtrante.

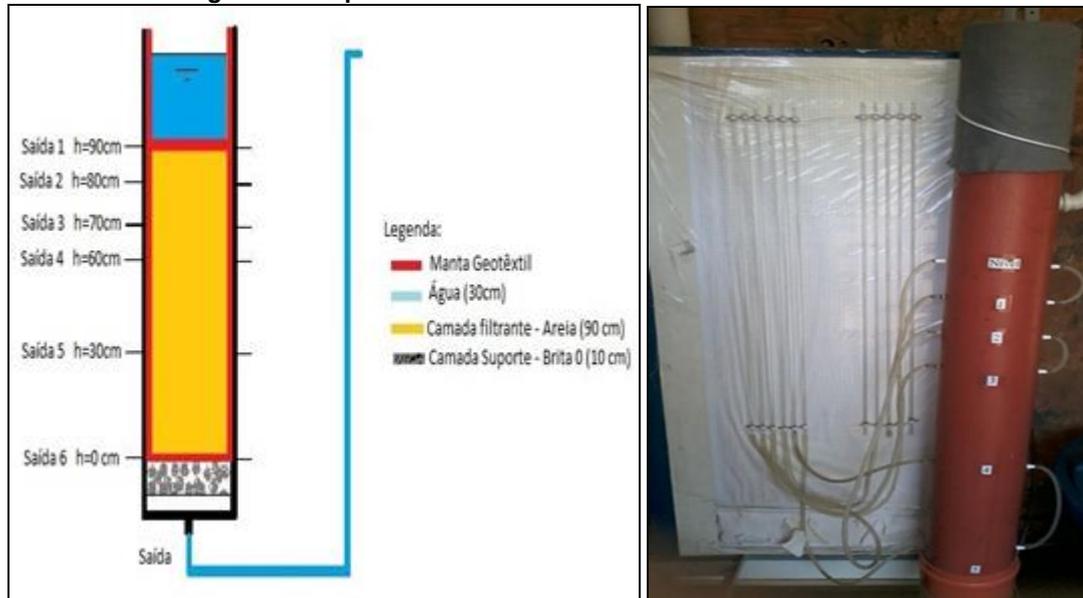
Ao longo do tubo de PVC foram instaladas saídas laterais em faces opostas. Em uma face elas são destinadas ao quadro de piezômetros e na outra elas servem para coletar amostras de água em diferentes alturas da camada filtrante. A fim de evitar que o material filtrante pudesse entupi-las foi utilizado uma manta geotêxtil, envolvendo todo o material. Todas as saídas foram numeradas para oferecer um mapeamento mais adequado do sistema (Figura 1).

A espessura de cada camada assim como as características dos materiais utilizados no filtro foram determinadas segundo a NBR 12216 (ABNT, 1992), resultando em um filtro que se caracteriza por ser constituído de 90 cm de camada

filtrante e 10 cm de camada suporte. As camadas de areia e de brita também foram envolvidas por uma manta geotêxtil, a qual

também foi colocada entre a camada suporte e a areia, e no topo da camada filtrante (Figura 1).

Figura 1 – Esquema e foto do filtro com o nível das saídas laterais.



Fonte: Os autores (2013).

A escolha da areia adequada para filtração lenta foi determinada através de análises granulométricas e características determinadas pela NBR 12216 (ABNT,1992), tendo sido realizados ensaios de granulometria com oito (8) tipos de areia. Através da distribuição granulométrica determinou-se o diâmetro superficial médio, D_s , (Equação 1), o diâmetro efetivo D_{10} , o diâmetro D_{60} , o coeficiente de uniformidade, C_u (Equação 2) e o módulo de finura, MF (Equação 3).

$$D_s = \frac{\sqrt{\sum_i^n \frac{\Delta X_i}{D_i}}}{\sqrt{\sum_i^n \frac{\Delta X_i}{D_i^3}}} \quad (1)$$

Onde D_i é o diâmetro interno da peneira (mm) e ΔX_i é a porcentagem parcial retida nessa peneira.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (2)$$

Onde D_{10} é o diâmetro efetivo que corresponde a abertura da malha que permite a passagem de apenas 10% da areia e D_{60} corresponde ao diâmetro que permite a passagem de 60% da areia.

$$MF = \frac{\% \text{ Acumulada sem o fundo}}{10} \quad (3)$$

A areia escolhida foi submetida a diversas lavagens através de um separador hidráulico e testes preliminares, em nível de bancada. A instalação piloto é composta, além do filtro, de um quadro de piezômetros com a finalidade de medir a perda de carga do sistema, e de uma bomba helicoidal responsável por abastecer o filtro com a água armazenada no reservatório.

2.3 Condições de experimentação

Inicialmente buscou-se caracterizar o meio filtrante, determinando-se sua condutividade hidráulica (Equação 4) e a permeabilidade intrínseca através da lei de Darcy (Equação 5).

$$Q = \frac{K_d S \Delta H}{L} \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão do filtro (m³/s)

K_d = Condutividade hidráulica (m/s)

S = área de seção transversal do filtro (m²)

ΔH = carga hidráulica disponível (m)

L = espessura da camada filtrante (m)

$$Q = \frac{KS\Delta P}{\mu L} \quad (5)$$

Onde:

Q = vazão do filtro (m³/s)

K = Permeabilidade (m²)

S = área de seção transversal do filtro (m²)

ΔP = diferença de pressão (Pa)

μ = viscosidade dinâmica (ou absoluta) (Pa.s)

Para a taxa de filtração, têm sido recomendados valores entre 2 e 5 m³/m²/dia, variação esta que depende da qualidade do afluente e da carga hidráulica disponível total (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999). A NBR 12216 (ABNT, 1992) sugere uma taxa de filtração máxima para filtros lentos de 6 m³/m²/dia. Com base nessas referências, optou-se por utilizar as taxas de filtração de 2, 4 e 6 m³/m²/dia, que, com base na área da seção superficial do filtro, configuram vazões de 2,62; 5,23 e 7,85 litros por hora, respectivamente. O fluxo foi descendente.

A eficiência do filtro, assim como a qualidade da água foram avaliadas através de parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Avaliou-se a turbidez, a cor aparente, a temperatura e o pH, bem como os coliformes totais e fecais.

2.4 Análises físico, químicas e microbiológicas

Para a determinação dos coliformes totais e fecais foi utilizado o método das cartelas Collilert. A turbidez foi determinada com o turbidímetro, marca Hach, modelo 2100P e a cor aparente com espectrofotômetro Hach, modelo DR 2800. Para medição de pH foi utilizado um pHmetro modelo DM21 da Digimed, e um termômetro escala de -20° a 120° para medição de temperatura.

As análises de pH, cor aparente, turbidez e temperatura foram realizadas de duas a quatro vezes por dia, sempre em triplicata, na entrada e saída do sistema. Também foram feitas análises das saídas laterais para cada taxa de filtração, após o sistema ter entrado em regime permanente, bem como as análises microbiológicas na entrada e saída do filtro para cada taxa de filtração.

3 Resultados

3.1 Caracterização da descarga da primeira água de chuva

Observa-se que a água da chuva da primeira descarga, responsável pelo arraste de poluentes da atmosfera e do telhado, possui valores consideravelmente mais altos de cor aparente e turbidez, sendo que o processo de descarte da mesma já proporciona uma grande melhoria da qualidade da água armazenada (Tabela 1).

Em média, a cor aparente na água do reservatório de armazenamento foi 65% mais baixa que na água do reservatório de descarte. Para a turbidez, essa diferença foi em média de 67%. O pH médio para a água de descarte foi de 6,25, já para a água de armazenamento foi de 6,13. A temperatura da água variou conforme temperatura ambiente, indo de 21 °C a 31 °C, sendo que não houve diferença de temperatura entre água de descarte e água de armazenamento.

3.2 Caracterização do meio filtrante

Comparando-se a curva granulométrica da areia escolhida para a camada filtrante com os valores fornecidos pela NBR 7211 (ABNT, 1983), constata-se que ela fica caracterizada como areia fina, com um módulo de finura igual a 1,98, diâmetro médio de 0,26 e coeficiente de uniformidade de 1,88 (Tabela 2).

3.3 Caracterização das condições hidrodinâmicas do escoamento e do meio filtrante

Os experimentos foram executados com três taxas de filtração em fluxo descendente, 2, 4 e 6 m³/m²/dia cujas velocidades de aproximação e respectivos

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 31-43, jan./jul. 2013

números de Reynolds podem ser verificados na Tabela 3.

A condutividade hidráulica da areia utilizada no meio filtrante foi de $4,8 \times 10^{-3}$ m/s

com um desvio padrão de $1,3 \times 10^{-4}$ m/s. A permeabilidade da camada filtrante foi de $5,0 \times 10^{-10}$ m² com um desvio padrão de $1,3 \times 10^{-11}$ m² (Figura 2).

Tabela 1 – Caracterização da água da chuva - reservatório de descarte e reservatório de armazenamento.

Ensaio	Cor Aparente (mg PtCo L ⁻¹)			Turbidez (NTU)			pH	
	Reserv. Descarte	Reserv. Armaz.	Diferença (%)	Reserv. Descarte	Reserv. Armaz.	Diferença (%)	Reserv. Descarte	Reserv. Armaz.
1	163	29	82	10	2	80	6,44	6,23
2	116	40	66	17	1	94	6,27	5,96
3	36	24	33	2	1	50	6,59	6,00
4	36	21	42	2	1	50	6,42	6,00
5	38	20	47	12	1	92	6,33	6,21
6	49	22	55	3	1	67	6,24	5,80
7	79	13	84	3	1	67	5,77	6,43
8	146	14	90	10	1	90	6,08	6,47
9	31	15	52	1	1	0	6,86	6,54
10	43	20	53	2	1	50	5,68	5,77
11	68	19	72	3	1	67	5,33	5,95
12	78	29	63	15	1	93	7,05	6,47
13	46	12	74	2	1	50	5,76	6,06
14	53	19	64	6	1	83	6,37	6,51
15	96	21	78	5	1	80	6,76	6,17
16	86	25	71	2	1	50	6,19	5,81
17	56	17	70	4	1	75	6,27	5,78
Média	72	21	64	6	1	67	6,26	6,13
Desvio padrão	39	7	16	5	0	24	0,44	0,28

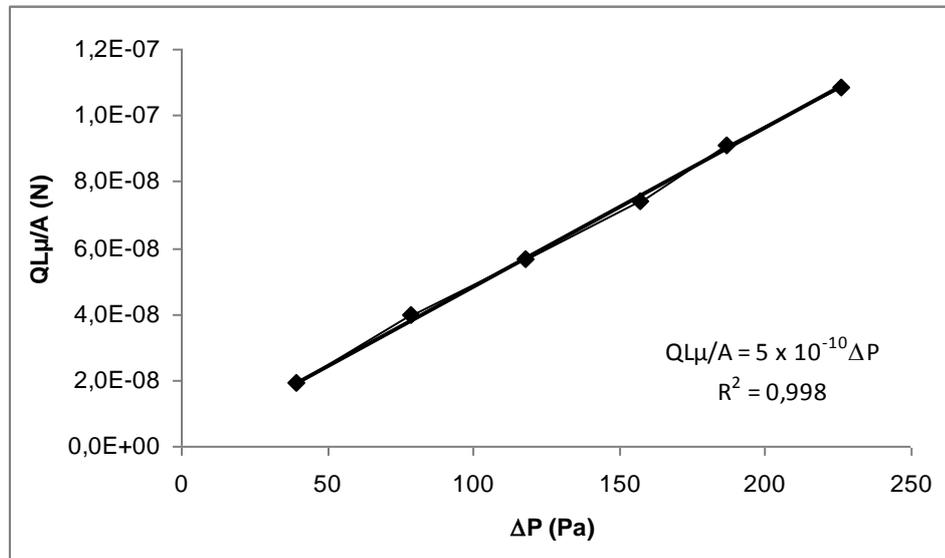
Fonte: Os autores (2013).

Tabela 2 – Caracterização granulométrica da areia

Coeficiente de uniformidade (CU)	1,88
D ₁₀ (mm)	0,25
D ₆₀ (mm)	0,47
Diâmetro médio (D _s) (mm)	0,26
Módulo de finura (MF)	1,98

Fonte: Os autores (2013).

Figura 2 – Permeabilidade do meio filtrante (areia)



Fonte: Os autores (2013).

Tabela 3 – Condições hidrodinâmicas do escoamento

Taxas de Filtração (m ³ /m ² /dia)	Velocidade de aproximação (m/s)	Número de Reynolds
2	2,3 x 10 ⁻⁵	1,3 x 10 ⁻³
4	4,6 x 10 ⁻⁵	2,6 x 10 ⁻³
6	6,9 x 10 ⁻⁵	3,9 x 10 ⁻³

Fonte: Os autores (2013).

3.4 Eficiência do filtro

A Figura 3 apresenta os valores médios das análises de cor aparente para cada taxa de filtração. Observa-se que, com a taxa de filtração de 2 m³/m²/dia, 82 % dos valores encontrados para cor aparente na saída do filtro atenderam ao limite estabelecido de 15 mg PtCo L⁻¹ segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007) e a portaria n. 2.914 (MS, 2011), sendo que dentre as amostras que ultrapassaram o limite, o valor máximo atingido foi de 24 mg PtCo L⁻¹. Para a taxa de filtração de 4 e 6 m³/m²/dia, 100 % dos valores obtidos da cor aparente atenderam aos limites estabelecidos, sendo que o valor máximo encontrado na saída do filtro foi de 11 e 14 mg PtCo L⁻¹, respectivamente.

No que diz respeito à turbidez (Figura 4), a NBR 15527 (ABNT, 2007)

estabelece um valor máximo permitido de 2,0 NTU. Para usos menos restritivos este limite é de 5,0 NTU. Considerando-se este último, verifica-se que a totalidade dos valores observados na saída do filtro, para qualquer uma das taxas de filtração, está dentro do limite. Considerando-se o valor de 2 NTU, verifica-se que para taxa de filtração de 2 m³/m²/dia mais de 87% dos valores encontrados na saída do filtro obedeceram esse limite. Para as taxas de 4 e 6 m³/m²/dia, todos os valores foram iguais ou inferiores a 2 NTU, atendendo a NBR 15527 (ABNT, 2007) para usos mais restritivos.

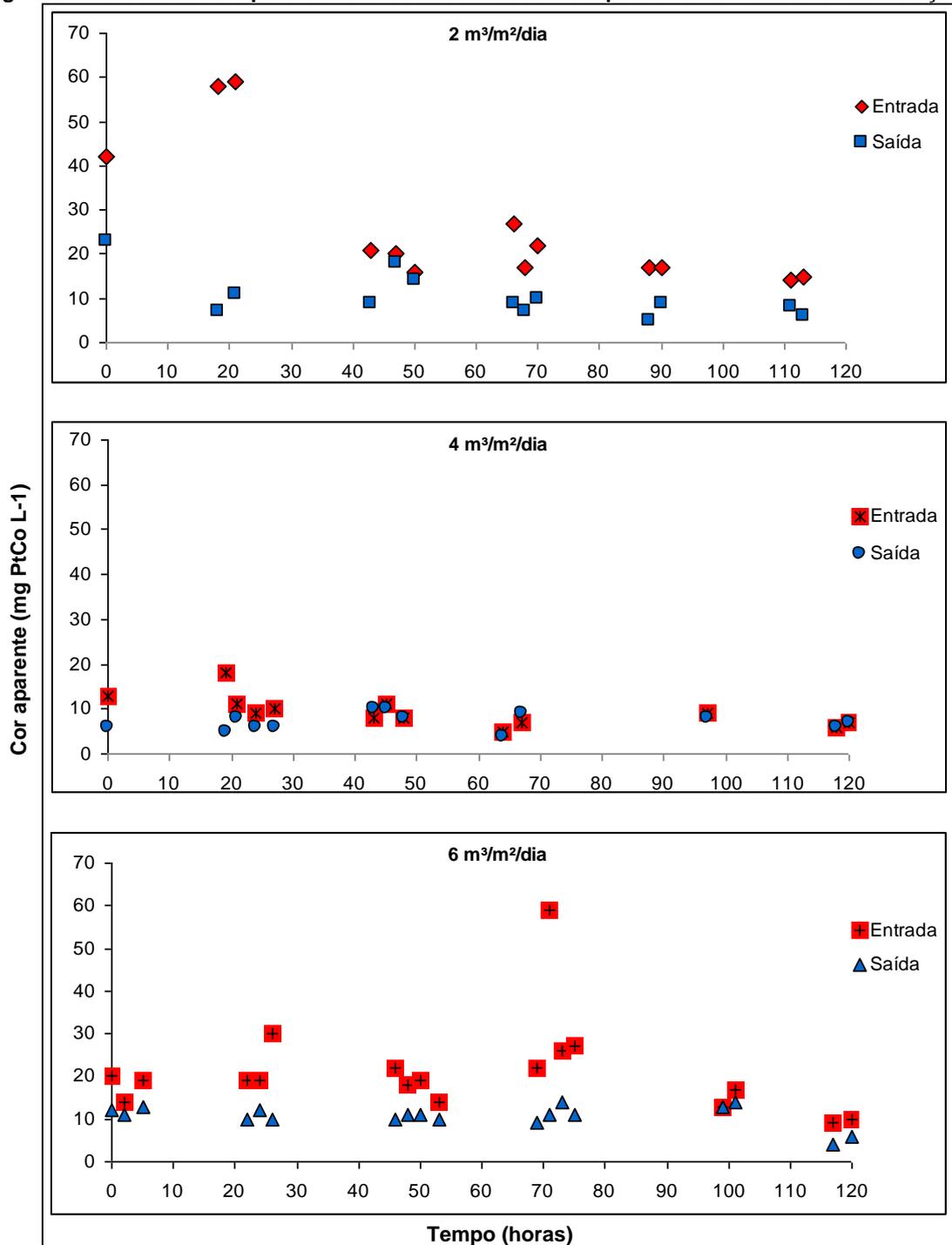
Visando atender aos padrões de potabilidade, portaria 2.914 (MS, 2011), verifica-se que para a taxa de 2 m³/m²/dia, 51% dos valores obtidos na saída do filtro atingiram turbidez igual a 1 NTU. Dos valores que foram maiores que 1 NTU, o valor máximo encontrado foi de 4 NTU. Para a

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 31-43, jan./jul. 2013

taxa de 4 m³/m²/dia, observa-se que mais de 95% dos valores obtidos na saída do filtro atingiram o valor máximo de 1 NTU, sendo que os valores maiores que 1 NTU, não ultrapassaram 2 NTU, estando em conformidade com a portaria 2.914. Já para

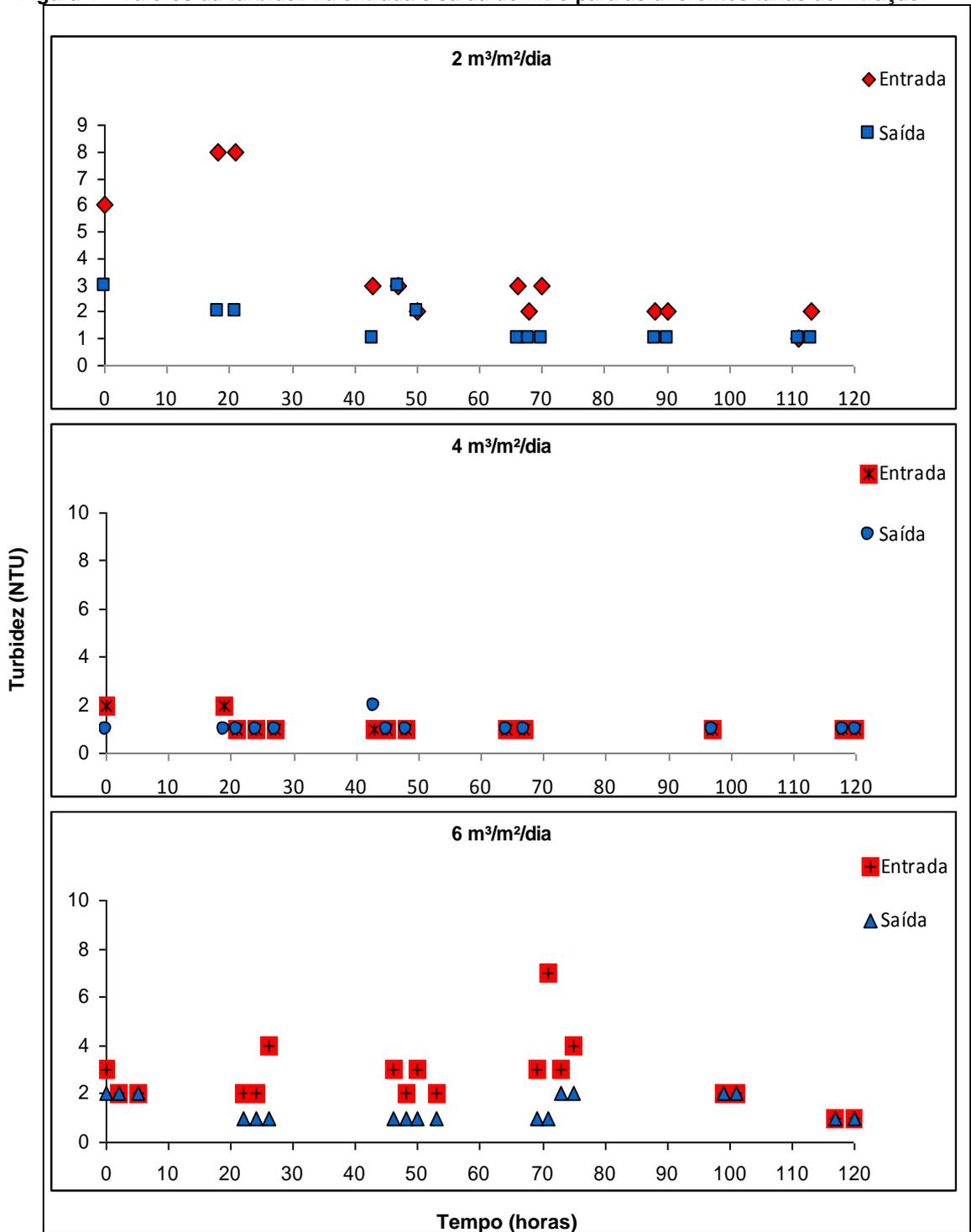
a taxa de 6 m³/m²/dia, mais de 59% dos valores obtidos na saída do filtro atingiram o valor máximo de 1 NTU, portanto não obedecendo à portaria 2.914 (MS, 2011), porém todos os valores maiores que 1 NTU, não ultrapassaram 2 NTU.

Figura 3 – Valores da cor aparente na entrada e saída do filtro para as diferentes taxas de filtração.



Fonte: Os autores (2013).

Figura 4 – Valores da turbidez na entrada e saída do filtro para as diferentes taxas de filtração.



Fonte: Os autores (2013).

Na Tabela 4 é possível verificar os valores de eficiência de remoção obtidos com o filtro para os parâmetros turbidez e cor aparente. Verifica-se que a água de entrada no filtro já possui uma boa qualidade, sendo

que algumas vezes inclusive os valores de turbidez e cor já atendem aos valores máximos permitidos para pelo menos uma das referências, NBR 15527 (ABNT, 2007) ou portaria 2914 (MS, 2011). Mesmo com a

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 31-43, jan./jul. 2013

alta qualidade da água de entrada, o filtro obteve eficiência de remoção.

Para a taxa de 2 m³/m²/dia a eficiência de remoção para cor aparente variou de 10 a 87%, sendo que os valores absolutos de entrada foram de 14 a 59 mg PtCo L⁻¹. Para a turbidez as eficiências de remoção variaram de 0 a 75 %, sendo que os valores absolutos de entrada foram de 1 a 8 NTU. Para a taxa de 4 m³/m².dia a eficiência de remoção para cor aparente variou de 0 a 72%, sendo que os valores absolutos de entrada foram de 5 a 18 mg PtCo L⁻¹. Para turbidez as eficiências de remoção variaram de 0 a 50%, sendo que os valores absolutos de entrada foram de 1 a 2

NTU. Para a taxa de 6 m³/m².dia a eficiência de remoção para cor aparente variou de 0 a 81%, sendo que os valores absolutos de entrada foram de 9 a 59 mg PtCo L⁻¹. Para turbidez as eficiências de remoção variaram de 0 a 85 %, sendo que os valores absolutos de entrada foram de 1 a 7 NTU.

Observa-se que os valores de cor aparente e turbidez variam proporcionalmente. Com isso, nota-se que a cor aparente, devida aos sólidos em suspensão, é removida do filtro com eficiência, podendo relacionar os valores de cor ainda restantes aos materiais dissolvidos, a exemplo de carbono orgânico.

Tabela 4- Eficiência de remoção da cor e turbidez para as três taxas de filtração.

2 m ³ /m ² /dia		4 m ³ /m ² /dia				6 m ³ /m ² /dia					
Cor (mg ptCO L ⁻¹)		Turbidez (NTU)		Cor (mg ptCO L ⁻¹)		Turbidez (NTU)		Cor (mg ptCO L ⁻¹)		Turbidez (NTU)	
Entr.	Efic. (%)	Entr.	Efic. (%)	Entr.	Efic. (%)	Entr.	Efic. (%)	Entr.	Efic. (%)	Entr.	Efic. (%)
42	42	6	50	13	54	2	50	20	40	3	33
58	88	8	75	18	72	2	50	14	21	2	0
59	81	8	75	11	27	1	0	19	32	2	0
21	57	3	67	9	33	1	0	19	47	2	50
20	10	3	0	10	40	1	0	19	37	2	50
16	12	2	0	8	0	1	0	30	67	4	75
27	67	3	67	11	9	1	0	22	55	3	67
17	59	2	50	8	0	1	0	18	39	2	50
22	55	3	67	5	20	1	0	19	42	3	67
17	71	2	50	7	0	1	0	14	29	2	50
17	47	2	50	9	11	1	0	22	59	3	67
14	43	1	0	6	0	1	0	59	81	7	86
15	60	2	50	7	0	1	0	26	46	3	33
-	-	-	-	5	20	1	0	27	59	4	50
-	-	-	-	6	0	1	0	13	0	2	0
-	-	-	-	-	-	-	-	17	18	2	0
-	-	-	-	-	-	-	-	9	56	1	0
-	-	-	-	-	-	-	-	10	40	1	0

Entr. = Entrada

Efic. = Eficiência

Fonte: Os autores (2013).

Murtha e Heller (2003) em trabalhos realizados obtiveram eficiência de cor aparente variando de 33% a 95%, para cor

aparente afluyente inferior a 30 PtCo. Seus experimentos foram realizados em filtro lento descendente, com 0,75 m de camada

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 31-43, jan./jul. 2013

filtrante, diâmetro efetivo de 0,25 mm e coeficiente de desuniformidade igual a 2,4, operando nas taxas de 7,2; 4,7 e 2,3 m³/m².dia. A água utilizada para análise foi captada da rede de distribuição pública, sendo removido o cloro residual e então, dosada com esgoto sanitário, argila e folhas de mate.

Quanto à temperatura da água, constata-se que ela variou de acordo com a temperatura ambiente, sendo o valor mínimo de 17 e máximo de 24 °C, considerando-se todos os experimentos. A temperatura influenciará no tempo de contato mínimo a ser observado na etapa de desinfecção para o caso de se atingir as condições de água potável, estabelecido pela portaria 2.914 (MS, 2011).

No que diz respeito ao pH, pode-se verificar que para a taxa de filtração de 2

m³/m²/dia o valor encontrado na saída do filtro ainda se encontrava levemente ácido, sendo que em 53% dos valores estava abaixo de 6,0. O valor mínimo encontrado foi de 5,4 e o máximo de 7,4. Com taxa de filtração de 4 m³/m²/dia, o pH na saída do filtro praticamente não variou, assumindo valores compreendidos entre 6,00 e 6,28. E para a maior taxa de filtração, 6 m³/m²/dia, ele variou de 5,9 a 6,6, sendo que em 11% das análises ele encontrava-se levemente abaixo de 6,0.

Referente a análises microbiológicas, observa-se na Tabela 5 que o filtro promove uma eficiência de remoção para coliformes totais e fecais, porém não atingindo a meta de ausência na saída do filtro segundo a NBR 15527 (ABNT, 2007) e a portaria 2.914 (MS, 2011), fazendo-se necessário acrescentar uma etapa de desinfecção.

Tabela 5 – Análises microbiológicas para as três diferentes taxas de filtração.

Taxa de Filtração (m ³ /m ² /dia)	Coliformes Totais (NMP/100 ml)			<i>Escherichia coli</i> (NMP/100 ml)		
	Entrada	Saída	Eficiência (%)	Entrada	Saída	Eficiência (%)
2	165,0	19,9	88	3,1	3,1	0
4	52,8	3,1	94	1,0	<1	100
6	179,3	3,0	98	1,0	<1	100

Fonte: Os autores (2013).

Bellamy et al. (1985b apud LOGSDON et al.,2002), observaram uma remoção superior a 98% de coliformes totais para filtros lentos com areia de diâmetro efetivo de 0,29 mm e remoção de 96% com diâmetro efetivo de 0,62 mm, utilizando uma vazão de 0,12 m/h, ou seja, taxa de filtração de 2,88 m³/m².dia.

Ferraz e Paterniani (2002) obtiveram em seus experimentos uma porcentagem média na remoção de coliformes totais, independente da taxa de filtração, na ordem de 89%. Em contrapartida, Brito et al. (2005) observam remoções de 98% para coliformes totais e 97% para *Escherichia coli*. Vissler e Galvis (1986 apud MURTHA;HELLER, 2003), indicam que a eficiência na remoção de *Escherichia coli* em filtros lentos varia de 95 a 99%, frequentemente de 99 a 100%.

Para as taxas de 4 e 6 m³/m².dia, as eficiências de remoção apresentadas são similares as encontradas na literatura, diferenciando-se pela boa qualidade da água

de entrada e um menor tempo de funcionamento.

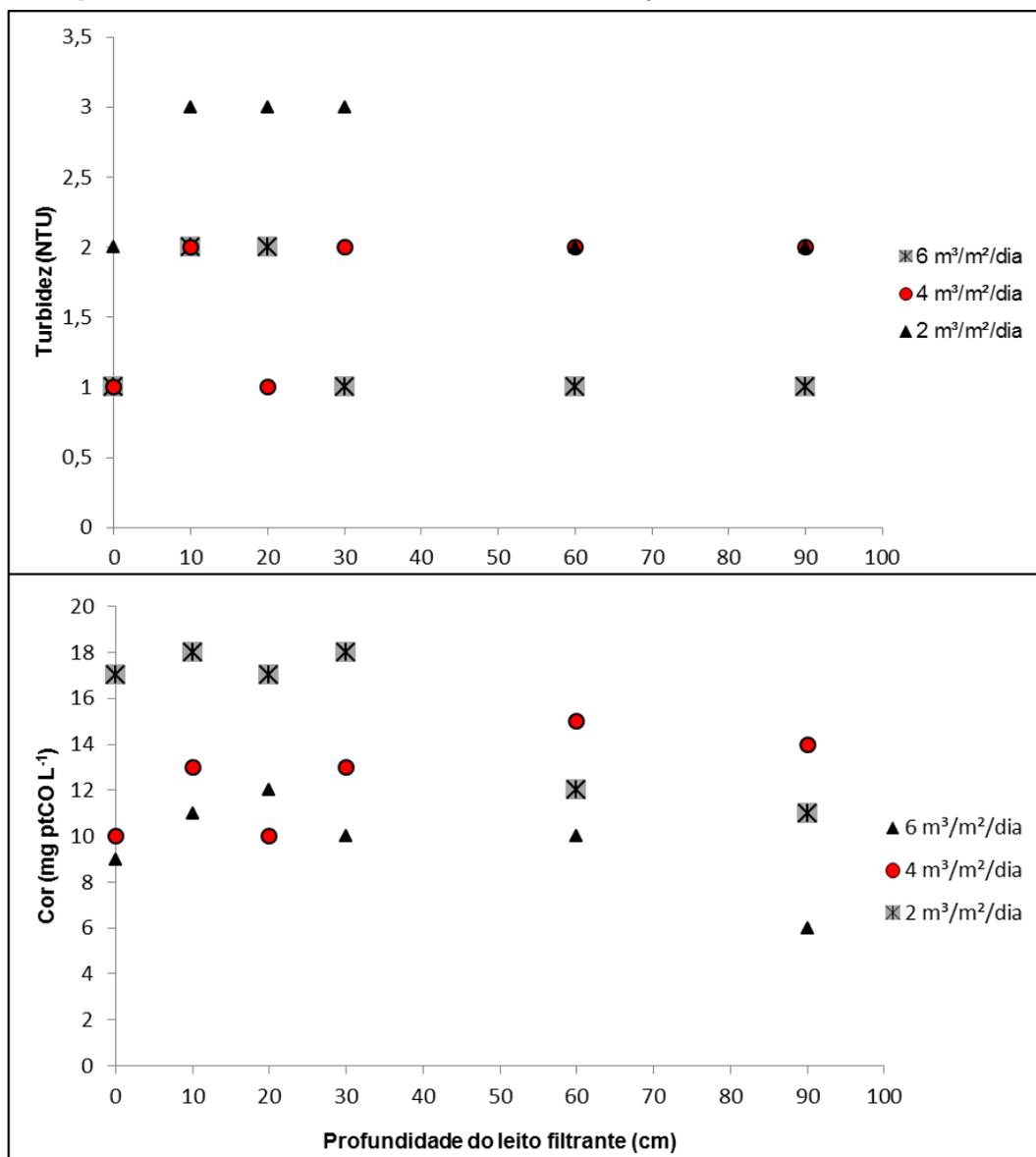
Nos trabalhos apresentados por Brito et al. (2005), Murtha e Heller (2003) e Logsdon et al. (2002), menores taxas de filtração apresentaram melhor eficiência na remoção dos parâmetros microbiológicos. No entanto, pode-se verificar no presente trabalho que a taxa de 2 m³/m²/dia apresenta a mais baixa eficiência, fato que pode ser relacionado ao período de funcionamento do filtro, visto que nos trabalhos dos autores o meio filtrante apresentava maior maturidade biológica. Também influenciou a qualidade da água de entrada, nas pesquisas realizadas pelos dois primeiros autores citados, a água foi captada da rede de distribuição pública e então sintetizada a fim de obter uma pior qualidade de água de entrada no sistema. Para representar as bactérias, os autores dosaram esgoto sanitário na água, obtendo valores na ordem de 10⁵ e 10³ NMP/100 ml, para coliformes totais e *Escherichia coli*, respectivamente.

3.5 Influência da espessura da camada filtrante

Os parâmetros cor e turbidez foram utilizados para se verificar a eficiência das diferentes alturas da camada filtrante, nas três taxas de filtração. Na taxa de 6 m³/m²/dia, a turbidez apresenta-se dentro dos padrões de potabilidade nas camadas mais próximas da superfície, ou seja, camadas com menor espessura (Figura 5). Entretanto, a redução da cor mostra-se mais eficiente após a saída 5, que corresponde à

camada filtrante de 60 cm. Na taxa de 4 m³/m²/dia, não se consegue perceber uma variação dos parâmetros analisados em função da espessura do meio. Contudo a melhora dos mesmos ocorre nas partes inferiores do meio filtrante. Em contrapartida, para a taxa de filtração mais baixa, 2 m³/m²/dia, pode-se diminuir até 30 cm da camada filtrante, uma vez que a 60 cm de altura da superfície (e o fluxo é descendente) ocorre uma melhora significativa dos valores de entrada.

Figura 5 – Valores de turbidez e cor aparente em função da altura da camada filtrante.



Fonte: Os autores (2013).

Murtha e Heller (2003) avaliaram turbidez e cor aparente, além de microorganismos nas diferentes alturas do meio filtrante, utilizando filtro descendente, com 0,75 m de camada filtrante, operando nas taxas de 7,2; 4,7 e 2,3 m³/m².dia. A remoção de turbidez ocorreu predominantemente nos 10 cm iniciais do leito filtrante, enquanto que a remoção de cor a 15 cm iniciais do leito filtrante, a partir de onde pequenas oscilações foram verificadas. Referente a parâmetros microbiológicos, perceberam que a remoção ocorre predominantemente nos 30 cm iniciais, posteriormente a isso ocorrem variações pouco significativas.

Brito et al. (2005), em trabalho semelhante, avaliando a profundidade do leito através da remoção de microorganismos, perceberam que os 0,45 m iniciais apresentavam melhor eficiência na remoção de microorganismos que as demais camadas, no entanto a remoção ainda prosseguia nas demais profundidades do leito.

4 Conclusões

A filtração lenta em areia aplicada ao tratamento de água da chuva mostrou-se eficiente na remoção de cor aparente e

turbidez, adequando a água para usos menos restritivos. No entanto, parte das análises realizadas indicou que a água tratada ainda não atende os critérios para os usos mais restritivos e para uso potável, Seria necessário aumentar a maturidade biológica do filtro ou ainda acrescentar uma etapa de tratamento, como por exemplo, adsorção por carvão ativado, realizando um maior número de análises para verificação,

Quanto à remoção de coliformes fecais e totais, o filtro promove uma ótima eficiência de remoção, porém não atinge a meta de ausência na saída do filtro, fazendo-se necessário acrescentar uma etapa de desinfecção.

Os resultados obtidos nas saídas laterais indicam que a camada filtrante apresenta uma boa altura, podendo ainda diminuir de 30 cm, para a taxa de filtração de 2 m³/m²/dia.

Como a qualidade da água de chuva de entrada já apresentava valores de cor e turbidez muito baixos, a determinação, com mais propriedade, da melhor altura da camada filtrante assim como o desempenho geral do filtro, pode ser testado através de experimentos com a água de entrada de menor qualidade, o que poderia ser feito aumentando-se sinteticamente a cor e turbidez da água da chuva coletada.

5 Evaluation of the first rainwater discharge, of the treatment by slow sand filter and from the layer filter thickness on rainwater quality

Abstract: *Aiming to contribute to the rational water use, this work aimed to treat rainwater with sand filter that has a uniformity coefficient of 1.88 and an effective diameter of 0.25. Hydraulic conductivity and permeability of the filter medium was respectively $4.76 \cdot 10^{-3}$ m/s and $4.8 \cdot 10^{-10}$ m². Essays with the sand filter were carried out with three filtration rate, 2, 4 and 6 m³/m²/day corresponding, respectively, to a Reynolds number of 1,3, 10^{-3} , $2,6 \cdot 10^{-3}$ e $3,9 \cdot 10^{-3}$. Turbidity, apparent color, pH, temperature, total coliforms and Escherichia coli were assessed in the input, output and at different layers of the sand filter as well as the first-flush rainwater was assessed by pH, apparent color and temperature. The importance of the first rainwater discharge is evidenced by the comparison of color and turbidity of rainwater without and after the first discharge, since the rainwater after of the first discharge shows an average reduction of 64% of the apparent color and 67% of turbidity. Microbiological parameters had a very efficient removal, especially in relation to total coliform. The filter is efficient at removing apparent color, turbidity and micro-organisms, for all filtration rates. Analyses at the side output of the filter indicate that filter layer may decrease of 30 cm in the case of the smaller filtration rate, i.e., 2 m³/m²/day.*

Keywords: Rainwater. Quality. Sand filter. Physicochemical parameters. Biological parameters.

6 Referências

ALADENOLA, O. O.; ADEBOYE, O. B. Assessing the Potential for Rainwater Harvesting. **Water**

Resources Management, v. 24, n. 10, p. 2129-2137, 2009.

AMORIM, S.V.de; PEREIRA, D.J.de A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento

REA – Revista de *estudos ambientais* (Online)
v.15, n. 1, p. 31-43, jan./jul. 2013

de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.8, n.2, p. 53-66, abr./jun.2008.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527**. Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em áreas urbanas – Diretrizes. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**. Agregados para concreto. Rio de Janeiro, 1983.

BASTOS, F.P. **Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV**. (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.

BRITO, L.L.A. et al. Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação em instalação piloto. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.10, n.4, p. 307-317, 2005.

CIPRIANO, R.F.P. **Tratamento das Águas de Chuva Escodas sobre Telhados e Avaliação do seu Uso**. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2004.

CORDERO, A et al. Contribuição ao ensino de engenharia através de casa modelo – geração de energia e captação e aproveitamento de água da chuva. In: XXXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA (COBENGE), 39, 2011, Blumenau. **Anais...** Blumenau, 2011. Não paginado.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e Técnicas de Tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: RiMa, 2005. 792 p.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 144p.

FERRAZ, C.F; PATERNIANI, J.E.S. Redução da espessura da camada suporte através da substituição por mantas não-tecidas na filtração lenta de águas de abastecimento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 7, n. 1, 2002. (NOTA TÉCNICA).

HAGEMANN, S.E. **Avaliação da Qualidade da Água da Chuva e da Viabilidade de sua Captação e Uso**. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

HELMREICH, B.; HORN, H. Opportunities in rainwater harvesting, **Desalination**, v. 248, n. 1-3, p. 118-124, 2009.

JAQUES, R.C. **Qualidade da Água de Chuva no Município de Florianópolis e sua Potencialidade para Aproveitamento em Edificações**. (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

KEMERICH, P.D.C; JUNIOR, H.R. Filtros para água da chuva: Análise de Eficiência. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santos do Pinhal, v.7, n.4, p. 201-210, out/dez 2010.

LOGSDON, G.S.; KOHNE, R.; ABEL, S.; LABONDE, S. Slow sand filtration for small water systems. **Journal of Environmental Engineering and Science**, v.1. Issue 5, p.339-348, september, 2002.

MORUZZI, R.B.; CARVALHO, G.S.; OLIVEIRA, S.C. Procedimentos para o dimensionamento de reservatório de água pluvial para residências unifamiliares: viabilidade e aprimoramento metodológico. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, n.19, p.89-99, 2012.

MS-MINISTERIO DA SAUDE. PORTARIA N.º 2.914, estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Ministério da Saúde; 12 de dezembro de 2011.

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. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.8, n.4, p. 257-267, 2003.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Navegar, 2003.

7 Agradecimentos

A FAPESC, referência 17419/2011-0 e ao CNPq pela bolsa de estudos de mestrado concedida à primeira autora deste trabalho e pela bolsa de iniciação científica concedida à segunda autora deste trabalho.