

I-329 - DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE PROTÓTIPO DE FILTRO LENTO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA EM DOMICÍLIOS RURAIS

Raissa Maria Cometa Mota Moruzzi⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade de Brasília e Antropóloga pela Università di Bologna

Camila Rebello Amui⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade de Brasília e Diretora de Desenvolvimento Social da ONG Litro de Luz Brasília.

Cristina Celia Silveira Brandão⁽³⁾

Professora Associada do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília.

Endereço⁽¹⁾: SQN 402 Bloco P, Apto 208 - Asa Norte - Brasília - Distrito Federal - CEP: 70834-160 - Brasil – Tel +55 (61) 99823-5737 - e-mail: raissa.moruzzi@gmail.com

RESUMO

A garantia do acesso equitativo à água potável é um dos principais desafios da atualidade. Para ampliar o atendimento, as alternativas de tratamento precisam se adequar às diferentes realidades encontradas, como a do meio rural, onde os domicílios são distantes e não são atendidos pela rede de abastecimento. Dentre as opções de tratamento que se adequam ao meio rural, a filtração lenta é uma alternativa por apresentar baixa necessidade de manutenção, fácil operação e eficiência na remoção de patógenos. Este trabalho visou o desenvolvimento de um protótipo de filtro lento domiciliar para tratamento de água em áreas rurais. Para concepção do protótipo, foram realizados experimentos em escala piloto a fim de avaliar o comportamento de duas colunas de filtração lenta operadas com duas taxas de filtração (2,4 m/d ou 4,8 m/d) na Etapa I e duas espessuras da camada filtrante (40 cm ou 35 cm) na Etapa II. Na Etapa I, os filtros apresentaram valores de remoção semelhantes, sendo a porcentagem de remoção máxima atingida igual a 96% para coliformes totais, 90% para *E. coli*, e 47% para turbidez. As remoções obtidas foram abaixo do encontrado na literatura, visto que o tempo de operação dos filtros foi reduzido. O FLA 1 se sobressaiu nos resultados, portanto foi adotada a taxa de 2,4 m/d para prosseguir na Etapa II. Na Etapa II, alcançou-se 97% de remoção para turbidez e 99,9% para coliformes totais para ambos os filtros. Foi feita contagem de partículas na água a fim de avaliar a remoção de partículas de tamanho semelhante a (oo)cistos de protozoários (*Cryptosporidium* e *Giardia*), a qual mostrou resultados crescentes de remoção ao longo do tempo de operação. A espessura de 40 cm mostrou-se a opção mais segura a ser adotada no protótipo. A partir da avaliação experimental e da análise de modelos de filtros domiciliares existentes, foi obtido o protótipo denominado *Momui*, que possui capacidade de tratar 55 litros de água por dia. Após a montagem e os testes hidráulicos do filtro *Momui*, concluiu-se que ele pode ser implementado mediante políticas públicas para o tratamento de água para áreas rurais isoladas.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração Lenta, Protótipo, Saneamento Rural, Tratamento de Água, Filtro Lento Domiciliar.

INTRODUÇÃO

Grande parcela da população brasileira ainda não possui acesso à água potável, um direito humano fundamental que deveria ser garantido pelo Estado. A ampliação do acesso à água tratada no Brasil deve ser tratada como política de saúde pública preventiva e como instrumento de melhoria da qualidade de vida da população. Os investimentos na busca da universalização do acesso à água de qualidade devem assegurar que as opções de abastecimento e tratamento se adequem às diferentes realidades brasileiras, alcançando as parcelas da população normalmente excluídas.

Por ser um país de escala continental, o Brasil apresenta muitas comunidades pequenas e residências isoladas que são distantes de centros urbanos e que, geralmente, possuem poucos recursos financeiros. A ligação a uma rede de abastecimento se torna impraticável no caso dos domicílios rurais isolados. Devido a contaminação da água por fezes, derivada da presença de animais e despejo inadequado de efluentes domésticos, nas áreas rurais o risco de surtos de doenças de veiculação hídrica é elevado (Stukel *et al.*, 1990). Para evitar a ingestão e o contato dérmico com patógenos de veiculação hídrica faz-se necessário a correta disposição dos esgotos e

resíduos, a proteção dos mananciais e o tratamento da água. Dentre as opções de tratamento que se adequam ao meio rural, a filtração lenta é uma alternativa viável por apresentar baixa necessidade de manutenção, fácil operação e elevada eficiência na remoção de patógenos.

A filtração lenta é um tratamento simplificado no qual a água passa por um meio filtrante de granulometria fina, em baixa velocidade de escoamento, onde a purificação é resultado principalmente de mecanismos biológicos, mas também físicos e químicos. A estrutura dos filtros lentos é basicamente constituída por uma alimentação de água bruta, um meio filtrante geralmente de areia, uma camada sobrenadante que garante que a camada biológica permaneça afogada, uma camada drenante, um sistema de drenagem com saída localizada acima do nível da areia, garantindo a lâmina de água sobrenadante. A camada biológica que se forma na superfície do meio filtrante é denominada *schmutzdecke* e é a principal responsável pela remoção de partículas e microrganismos contidos na água bruta (Haarhoff e Cleasby, 1991).

A eficiência da filtração lenta na remoção de patógenos já foi comprovada por diversos autores. Se projetado e operado sob condições adequadas, a eficiência de remoção de filtros lentos pode alcançar mais que 99% para Coliformes Totais e para Coliformes Termotolerantes/*E. Coli*, mais que 99% para cisto de *Giárdia*, e mais que 99,9% para oocistos de *Cryptosporidium* (Bellamy *et al.*, 1985; Palmateer *et al.*, 1999, Heller *et al.*, 2004; Devi *et al.*, 2008; entre vários outros)

Devido a sua eficiência e simplicidade operacional, os filtros lentos são utilizados como opção de tratamento de água em diversas escala, desde tratamento para cidades até domiciliares. O tratamento domiciliar possibilita que a população que não está conectada à rede de abastecimento tenha acesso a água segura. Visando a ampliação do acesso ao tratamento de água, alguns filtros domiciliares foram desenvolvidos por organizações internacionais. Um dos modelos mais conhecidos foi proposto pelo Canadense David Manz e hoje é distribuído mundialmente em países em desenvolvimento pela organização Canadense CAWST (Baker *et al.*, 2006). O filtro popularizado pela CAWST é composto por estruturas frequentemente encontradas em diversos filtros lentos a nível domiciliar. Outros filtros semelhantes foram propostos pela organização peruana DESEA (2014), por Smet *et al.* (1998), e pela Organização Panamericana de Saúde (OPAS, 2005).

Apesar dos modelos existentes representarem boas soluções, algumas características são passíveis de aperfeiçoamento. Uma possível melhoria é a redução da espessura da camada filtrante, que diminui os custos com areia, o volume e o peso da estrutura proposta, tornando o filtro mais acessível. Poucos estudos avaliaram a influência desse parâmetro na qualidade da água filtrada, portanto identificou-se a necessidade de aprofundar essa questão.

Adicionalmente, constatou-se que a maioria das estruturas não é dotada de reservatório de água filtrada acoplado. Esta característica faz com que em muitos casos sejam usados recipientes não apropriados, gerando um risco de recontaminação da água tratada. Outra questão relevante é a quantidade de água que os filtros domiciliares conseguem tratar, geralmente restringindo-se a um volume que não atende as demanda básicas de água da casa.

Neste contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um protótipo de filtro lento para tratamento de água em domicílios rurais que contemple essas melhorias.

OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo geral o desenvolvimento de um protótipo de filtro lento domiciliar com meio filtrante de espessura reduzida, com reservatório acoplado, voltados para o tratamento de água em domicílios rurais isolados.

Os objetivos específicos são:

- Avaliar a eficiência da filtração lenta sob diferentes condições operacionais – taxa de filtração e espessura da camada filtrante – visando definir os parâmetros de projeto do filtro domiciliar;
- Conceber, dimensionar, projetar, confeccionar e testar o funcionamento hidráulico de um protótipo de filtro lento de acordo com a taxa de filtração e espessura da camada filtrante obtidas na avaliação experimental e condições hidráulicas de funcionamento adequadas, visando um produto de custos reduzidos.

Acredita-se que o protótipo de filtração lenta proposto neste trabalho pode ser uma boa alternativa de tratamento de água no meio rural brasileiro devido: à simplicidade do protótipo proposto, à eficiência da filtração lenta já comprovada por diversos estudos e aplicações, a não necessidade de produtos químicos no processo, à simples manutenção do filtro e à eficácia da aplicação de modelos semelhantes. Dessa forma, a filtração lenta pode ser uma forte aliada na busca da universalização do saneamento no meio rural.

METODOLOGIA UTILIZADA

Para concepção do protótipo, dividiu-se o trabalho na fase de estudo em escala piloto e a fase de desenvolvimento do protótipo. Na fase de estudo em escala piloto, foi avaliada a eficiência da filtração lenta operadas com taxas de filtração e espessuras de meio filtrante distintas. Os parâmetros de avaliação da eficiência de remoção do filtro selecionados foram: turbidez, coliformes totais, *Escherichia coli* e contagem de partículas de tamanho semelhantes a oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*. Também foram monitorados o pH e o oxigênio dissolvido na água filtrada, para analisar possíveis instabilidades no sistema. Os experimentos foram feitos utilizando três colunas em escala piloto, com altura de 90 cm e diâmetro interno de 8,5 cm, denominadas Filtro Lento de Areia (FLA) 1, 2 e 3. Em cada coluna havia uma camada de pedregulho de 6,5 cm sobreposta por uma camada filtrante de areia de 35 ou 40 cm, a depender da etapa.

As análises de qualidade da água bruta e filtrada foram feitas seguindo as recomendações do Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2005), sendo efetuadas a cada 2 dias e respeitando os tempos de detenção dos filtros. A contagem de partículas foi realizada utilizando-se o contador de partículas para líquidos HIAC 9703+, modelo HRDL-400.

O estudo em escala piloto foi dividido em três etapas: a Etapa Preliminar, Etapa I e Etapa II. Uma descrição das etapas é feita na Figura 1.

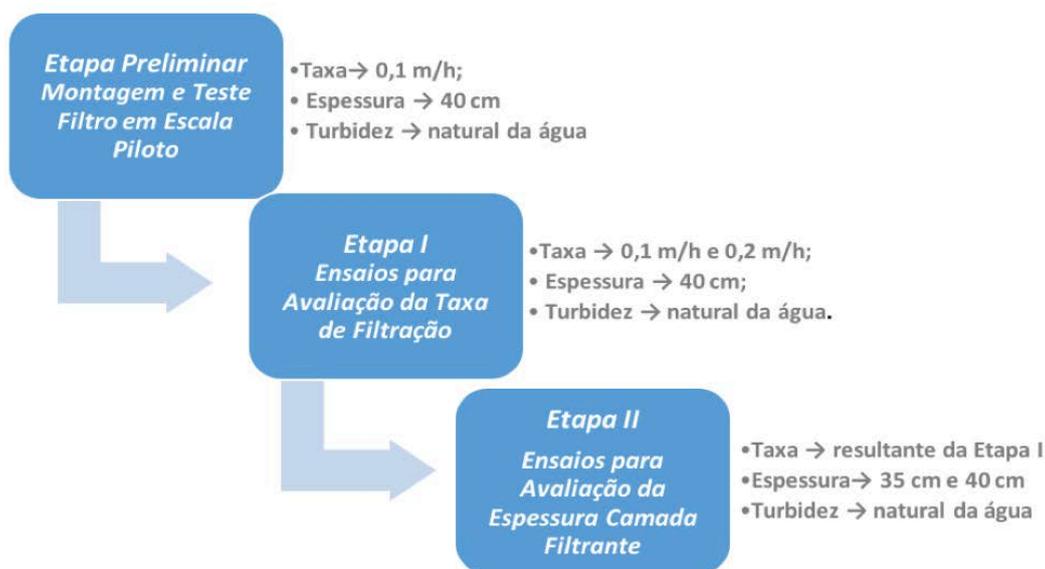


Figura 1 - Esquema das etapas metodológicas do estudo em escala piloto

A Etapa Preliminar do experimento foi composta pela montagem da coluna filtrante, teste do funcionamento do filtro em escala piloto e familiarização com os equipamentos. Na Etapa I avaliou-se o comportamento do filtro para duas taxas de filtração, mantendo-se constante a espessura da areia em 40 cm. Nessa etapa foram utilizados o FLA 1 e FLA 3, operados com taxas de filtração de 0,1 e 0,2 m/h (2,4 e 4,8 m/d), respectivamente. As taxas foram escolhidas com base nas recomendações da literatura científica (Di Bernardo *et al.*, 1999; Haarhoff e Cleasby, 1991; entre outros).

Na Etapa II avaliou-se o comportamento do FLA 1 e FLA 2 com espessura do meio filtrante igual a 40 e 35 cm, respectivamente, operados com taxa de filtração de 0,1 m/h (2,4 m/d). As espessuras utilizadas foram

selecionadas considerando a profundidade onde, segundo Haarhoff e Cleasby (1991), ocorre a atividade biológica. Os resultados do estudo em escala piloto foram utilizados para o desenvolvimento do protótipo.

Na fase de desenvolvimento do protótipo, concebeu-se a estrutura física do filtro, baseado nos resultados obtidos na avaliação experimental em escala piloto e na revisão da literatura. A concepção foi efetuada visando uma unidade de baixo custo e estrutura simplificada e que o funcionamento hidráulico atendesse às condições desejadas. Além disso, considerou-se que essa unidade possa ser confeccionada em larga escala por meio de políticas públicas, seja por meio de unidades pré-fabricadas ou montadas pela própria comunidade, ou ainda pelo próprio usuário. Em seguida, foram elaborados os croquis do filtro proposto, especificando componentes da estrutura, materiais necessários e dimensões, e construiu-se o protótipo com os materiais especificados. Por fim, o funcionamento hidráulico do protótipo foi testado. Nessa fase, também foi verificada a estanqueidade da estrutura.

RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

Na Etapa I foi avaliado o efeito da adoção de diferentes taxas de filtração sobre a eficiência de remoção de turbidez e coliformes. Os filtros pilotos foram operados por 14 dias e não apresentaram bom desempenho. A Figura 1 mostra os resultados de turbidez residual do FLA 1 e do FLA 3, operados, respectivamente, com taxa de filtração de 0,1 m/h (2,4 m/d) e de 0,2 m/h (4,8 m/d).

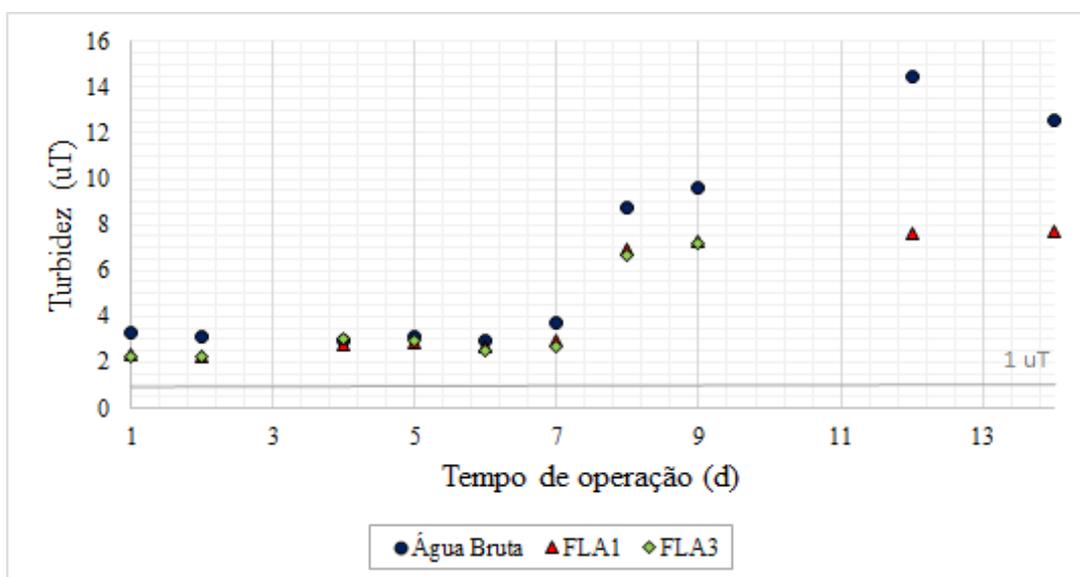


Figura 2 - Evolução da turbidez da água bruta e da água efluente dos filtros lentos de areia (FLA) na Etapa I

Os filtros apresentaram comportamento semelhante com relação à qualidade da água filtrada. A remoção máxima de turbidez foi de 47%. Os valores residuais se mantiveram superiores a 1 uT, não atendendo o valor do padrão de potabilidade determinado pela Portaria MS 2.914 (BRASIL, 2011).

Os resultados obtidos na Etapa I com relação às bactérias do grupo coliformes são apresentados na Tabela 1 e Tabela 2. Importante mencionar que a remoção de coliformes, juntamente com a remoção de turbidez, são indicadores da maturidade biológica dos filtros.

Tabela 1 - Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão dos dados de coliformes totais e *E. coli*. no afluente e nos efluentes dos filtros na Etapa I

PARÂMETROS	AMOSTRA	MÁX (%)	MÍN (%)	MÉDIA (%)*	DESVIO PADRÃO*
Coliformes Totais	AB	>2419,6	261,3	663,0	842,9
	FLA 1	387,3	41,0	149,7	125,9
	FLA 3	435,2	28,5	136,0	147,6
<i>E. coli</i>	AB	214,2	31,3	82,9	52,7
	FLA 1	77,1	7,5	26,9	21,6
	FLA 3	79,4	9,7	29,5	23,5

* Os valores das médias e dos desvios padrão estão subestimados, pois houve amostras que ultrapassaram o limite de detecção.

Tabela 2: Valores máximos, mínimos, médios de remoção de coliformes totais e *E. coli*. nos efluentes dos filtros na Etapa I

PARÂMETROS	AMOSTRA	MÁX (%)	MÍN (%)	MÉDIA (%)
Remoção de Coliformes Totais	FLA 1	96,9	29,4	61,7
	FLA 2	96,4	32,9	57,1
Remoção de <i>E. coli</i>	FLA 1	89,2	7,8	59,6
	FLA 2	86,0	15,4	48,3

Os valores de remoção de coliformes obtidos na Etapa 1 foram inferiores aos reportados em diversas pesquisas com filtros lentos. Vários autores (*e.g.*: Bellamy *et al.*, 1985; Cleasby, 1991, Devi *et al.*, 2008; Murtha e Heller, 2003) relatam valores maiores que 99% de remoção de coliformes totais, porém esses dados foram reportados após os filtros terem sido operados por períodos consideravelmente superiores, em que a *schmutzdecke* se apresentava mais desenvolvida.

Após 9 dias de funcionamento, o FLA 3, operado com a taxa de 0,2 m/h (4,8 m/d), atingiu perda de carga máxima admissível (cerca de 40 cm) e teve sua operação interrompida. A necessidade de interrupção do filtro indica que, para a qualidade da água bruta utilizada, a maior taxa prejudicava seu funcionamento. A rapidez do aumento da perda de carga pode ter ocorrido devido às características da água bruta, como excesso de manganês, ferro, ou matéria orgânica, fatores que causam maior obstrução do meio filtrante (Di Bernardo *et al.*, 1999). O tempo reduzido de operação dos filtros nessa etapa influenciou os resultados de remoção obtidos, uma vez que os filtros podem não ter amadurecido adequadamente. Constatou-se que a melhor taxa para prosseguir com os experimentos era a de 0,1 m/h (2,4 m/d), pois apresentou evolução da perda de carga mais lenta.

Na Etapa II, os filtros piloto FLA 1 (35 cm de areia) e FLA 2 (40 cm de areia) operaram por 43 e 46 dias, respectivamente, permitindo amadurecimento da comunidade biológica do meio filtrante. A evolução da perda de carga fez com que a perda de carga máxima fosse atingida após alguns dias de operação. Desta forma, os filtros passaram a ser operados com carga hidráulica constante e taxa variável, ao contrário do início da operação, em que os filtros foram operados com taxa constante, 0,1 m/h (2,4 m/d), e carga hidráulica variável.

Assim como na etapa anterior, foram analisadas a remoção de turbidez e de coliforme e *E.coli*. Os resultados de turbidez residual estão apresentados na Figura 3.

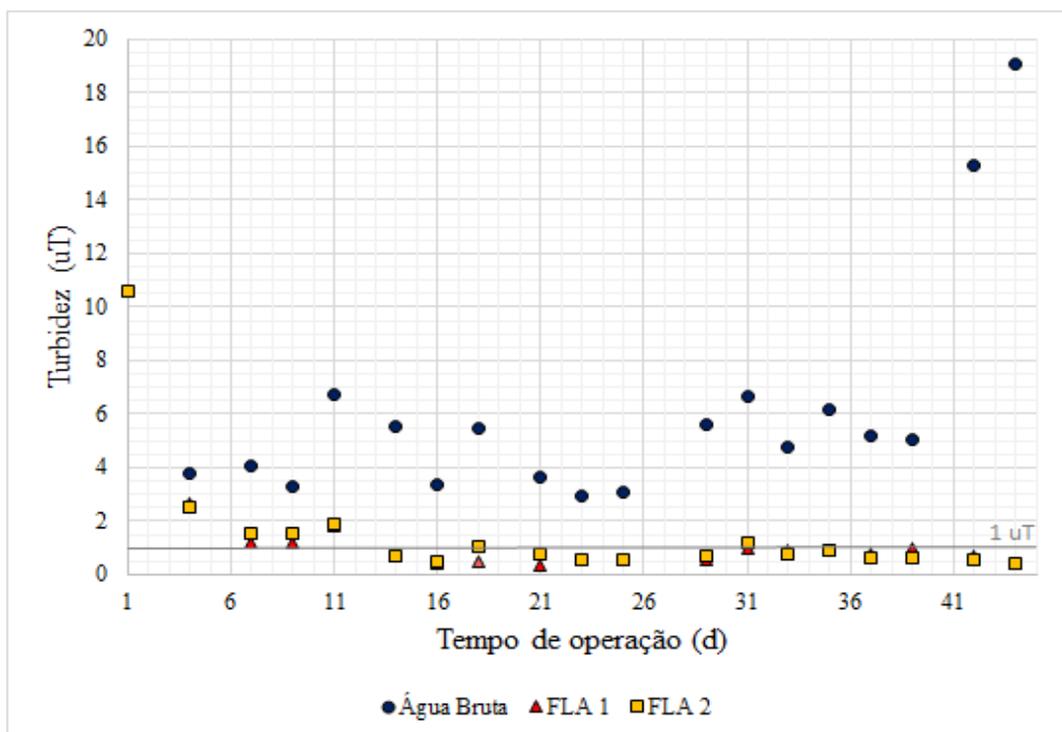


Figura 3 - Turbidez da água bruta e da água efluente dos filtros lentos de areia (FLA) na Etapa II

A remoção de turbidez obtida na Etapa II foi superior à alcançada na Etapa I. Os filtros, após um período de amadurecimento de cerca de 14 dias, apresentaram remoção de turbidez superior a 79% que garantiram que a turbidez residual permanecesse abaixo de 1 uT, limite estabelecido pela Portaria 2.914 para filtração lenta (BRASIL, 2011). Os resultados de remoção de coliformes e *E.coli* obtidos são apresentados na Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 3 - Valores máximos, mínimos, médios e desvio padrão dos dados de coliformes totais e *E. coli* no afluente e nos efluentes dos filtros na Etapa II

PARÂMETROS	AMOSTRA	MÁX (%)	MÍN (%)	MÉDIA (%)	DESVIO PADRÃO
Coliformes	AB	>2419,6	686,7	1715,3	628,5
	FLA 1	648,8	<1	17,6	144,6
	FLA 2	260,7	<1	17,2	63,7
<i>E. Coli</i>	AB	260,3	55,5	125,5	49,8
	FLA 1	52,9	< 1,0	2,6	11,8
	FLA 3	25,6	<1,0	3,2	6,9

Tabela 4: Valores máximos, mínimos, médios de remoção de coliformes totais e *E. coli* nos efluentes dos filtros na Etapa II

PARÂMETROS	AMOSTRA	MÁX (%)	MÍN (%)	MÉDIA (%)
Remoção de Coliformes	FLA 1	99,96	73,19	96,97
	FLA 2	99,96	89,23	97,47
Remoção de <i>E. coli</i>	FLA 1	99,62	52,17	94,30
	FLA 2	99,62	76,85	94,98

A remoção de coliformes totais chegou a 99,96%, (3,38 log) tanto para o FLA 1 quanto para o FLA 2, enquanto que a remoção de *E.coli* atingiu 99,62% (2,42 log) para ambos os filtros (Tabela 4), mantendo a tendência crescente de remoção com o tempo de operação, e apresentando valores coerentes com os encontrados na literatura (e.g.:Bellamy *et al.*, 1985; Cleasby *et al.*, 1984; Murtha e Heller, 2003; entre outros).

A contagem de partículas de tamanho semelhante a (oo)cistos de protozoários (*Cryptosporidium* e *Giárdia*), mostrou resultados crescentes de remoção ao longo do tempo.

Percebeu-se que o tempo de maturação dos filtros influenciou positivamente nos resultados de remoção de turbidez, coliformes totais, *E. coli* e partículas do tamanho de (oo)cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia*. A eficiência de remoção das impurezas ao se iniciar a operação do filtro é reduzida, pois depende do amadurecimento da camada biológica para que os mecanismos de remoção funcionem adequadamente. Desta forma, faz-se necessário orientar os usuários do filtro a consumir a água filtrada apenas após o período inicial de amadurecimento.

Os resultados da Etapa II foram semelhantes para o FLA 1 e FLA 2 em relação à maioria dos parâmetros. Entretanto, mesmo com resultados de qualidade próximos, deve-se ter cautela ao comparar os filtros, já que o FLA 2 apresentou vazão de água filtrada menor que o FLA 1, o que pode ter contribuído para sua eficiência, apesar da menor espessura. Devido a esse fator, optou-se pela espessura maior, de 40 centímetros, para a concepção do protótipo, a fim de manter uma faixa de segurança. A partir dos resultados obtidos no trabalho experimental foi proposto o protótipo de filtro denominado *Momui*.

PROTÓTIPO MOMUI

A Organização Mundial da Saúde (2011) define que o mínimo volume para hidratação e utilização na comida é de 7,5 litros por dia por pessoa. Considerando as recomendações da OMS e o atendimento a uma família rural de 7 pessoas, concebeu-se uma estrutura capaz de tratar 55 litros diários. A Figura 4 apresenta os croquis do filtro *Momui*.

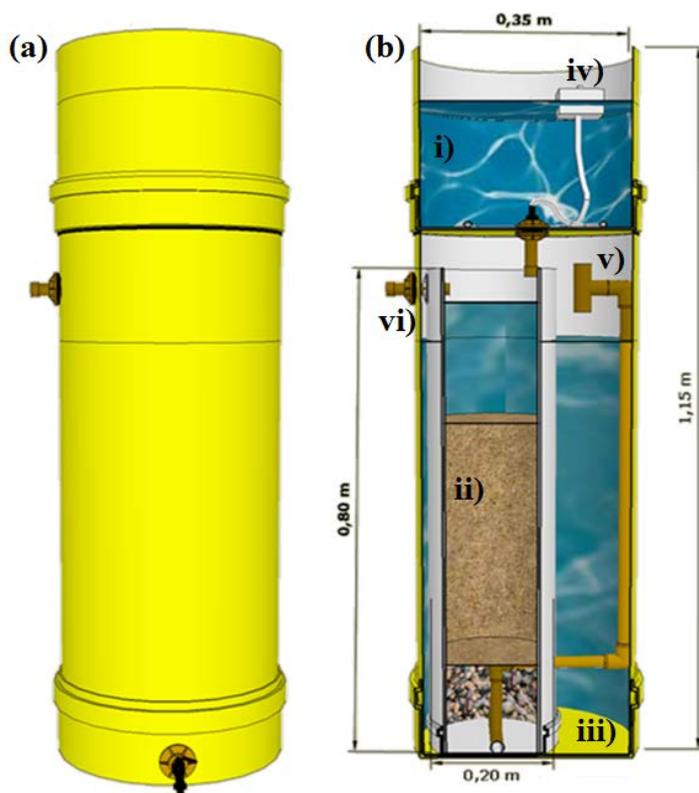


Figura 4 - Estrutura do Filtro *Momui*. (a) Vista externa. (b) Corte vertical: i) Reservatório de água bruta; ii) Unidade filtrante; iii) Reservatório de água filtrada; iv) Sistema de alimentação; v) Sistema de drenagem; vi) Extravasador

O filtro é composto de um reservatório de água bruta (Figura 4b.i), uma unidade filtrante (Figura 4b.ii) e um reservatório de água limpa (Figura 4b.iii), sendo estes elementos acoplados em um sistema compacto, com o intuito de garantir a segurança microbiológica da água filtrada (Figura 4). Os elementos do filtro são constituídos da seguinte forma:

- Unidade filtrante: Tubo de PVC de 200 mm de diâmetro e 0,8 m de altura, com extremidade inferior fechada por cap de PVC de 200 mm; camada suporte de pedregulho de 15 cm; camada de areia de 40 cm; sistema de drenagem (tubo de PVC de 20 mm de diâmetro e conexões); sistema extravasor para excesso de água bruta (adaptador com flange livre);
- Reservatório água bruta: Tubo de PVC de 350 mm e 0,3 m de altura com extremidade fechada por cap de PVC de 350 mm, sistema de alimentação do filtro;
- Reservatório água filtrada: Tubo de PVC de 350 mm e 0,85 m de altura com extremidade fechada por cap de PVC de 350 mm, sistema de saída da água tratada;

Optou-se pelo PVC como material principal por ter peso reduzido, alta durabilidade se protegido de intempéries, custo reduzido e ser largamente disponível no mercado. Apesar do tubo de PVC com diâmetro de 350 mm não ser encontrado facilmente nos comércios locais de pequenas comunidades, se o filtro for produzido em escala como parte de uma política pública, isso não se configura num problema pois essa dimensão pode ser encontrada em comércio especializado em grandes centros. A produção em escala reduzirá significativamente o custo do filtro. Outro material adotado relativamente difícil de ser obtido e que encarece o sistema de tratamento é a areia fina utilizada, de forma que estudos adotando materiais alternativos são de grande importância. Os demais materiais estão usualmente presentes no mercado.

Caso o usuário queira montar seu próprio filtro e possa arcar com a estrutura proposta, existem arranjos mais econômicos que também são eficientes. Uma versão alternativa pode ser adotada para tratar menor quantidade de água. A opção substituiria o tubo central (de 200 mm de diâmetro) por um de 150 mm e o externo (de 350 mm de diâmetro) por um de 300 mm. Este arranjo seria capaz de produzir 40 litros de água diariamente. Outra alternativa, que diminui o custo do arranjo, é desacoplar a estrutura original, de modo que o reservatório de água filtrada venha a ser alocado ao lado da unidade filtrante. O reservatório de água filtrada pode ser constituído por um tubo de PVC, de 200 mm ou 300 mm de diâmetro, uma “bombona” ou outro recipiente plástico, e reduziria o custo apresentando, porém, um maior risco de recontaminação da água.

A fim de avaliar a proposta em relação a sua facilidade de confecção e funcionamento hidráulico, foi realizada, pelos autores, a montagem e teste hidráulico do filtro *Momui*. Algumas imagens da montagem do filtro e seus detalhes estão apresentados na Figura 5 e na Figura 6.

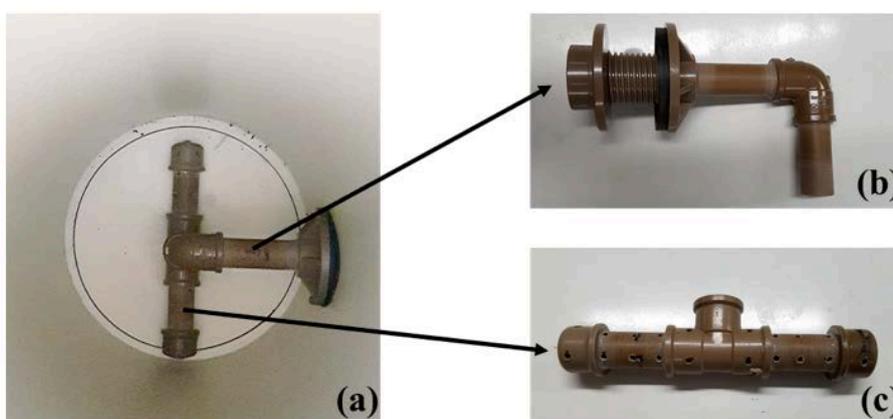


Figura 5 – Sistema de drenagem: (a) Vista superior do sistema de drenagem montado no tubo de PVC de 200 mm; (b) Detalhe da interligação para saída de água filtrada; (c) Tubo de drenagem.

O sistema de drenagem é composto por tubos e peças de PVC e possui montagem simples. Sua função é coletar a água filtrada permitir sua passagem da unidade filtrante para o reservatório de água filtrada. Importante destacar que a saída de água filtrada deve estar alocada a uma altura superior ao do meio filtrante (Figura 4b.v), de forma a manter constantemente uma lamina de água que permita a sobrevivência da *schmutzdecke*.

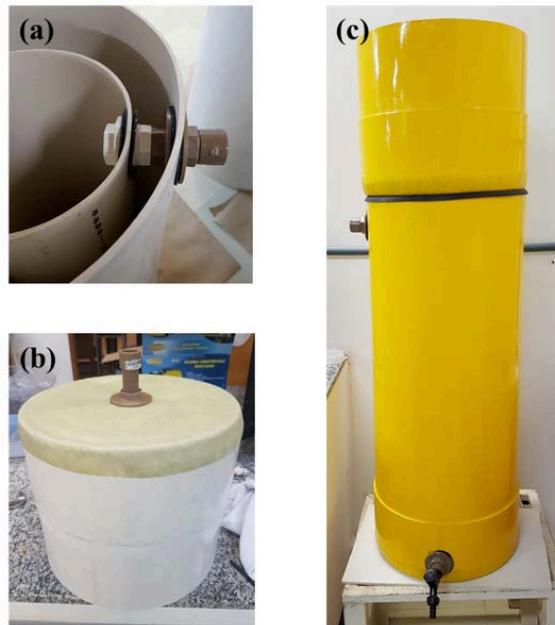


Figura 6 – Filtro Momui e detalhes de sua estrutura: (a) Extravasador de água bruta encaixado nos orifícios dos tubos com as flanges e borrachas de vedação; (b) Fundo do reservatório de água bruta, com adaptador soldável com flanges livres; (c) Filtro *Momui* montado e funcionando.

O extravasor (Figura 6a) tem como objetivo impedir que a lâmina de água (água bruta) sobre o meio filtrante transborde e venha a contaminar a água filtrada. O escoamento pelo extravasor indica a colmatagem do meio filtrante e a conseqüente necessidade de limpeza do filtro. Ao finalizar-se a montagem e teste do filtro, constatou-se seu correto funcionamento hidráulico e estanqueidade do sistema.

A Figura 6c apresenta o filtro finalizado. A água do reservatório de água bruta, alimentado duas vezes ao dia, é transferida para a unidade filtrante por meio de um dispositivo de alimentação. Na unidade de filtração, a água é filtrada através do meio filtrante de areia, seguindo para a camada suporte, onde é drenada e alimenta o reservatório de água filtrada. A unidade filtrante encontra-se disposta no interior do reservatório de água filtrada (Figura 4) de modo a minimizar as possibilidades de recontaminação da água na passagem entre as unidades e evitar o uso indevido do reservatório de água filtrada.

Os filtros lentos domiciliares intermitentes possuem eficiência comprovada, entretanto, menor se comparado aos filtros com taxa de filtração constante (Young-Rojanschi e Madramootoo, 2014). Visando maximizar a eficiência do filtro *Momui*, buscou-se uma estrutura de alimentação que permitisse manter a taxa de filtração praticamente constante enquanto o filtro estivesse operando. Para isso, adotou-se um sistema de alimentação com boia, que faz com que a carga acima do orifício por onde a água bruta é coletada seja sempre a mesma. O filtro busca agregar a praticidade e acessibilidade de uma unidade com alimentação do reservatório de água bruta de forma intermitente, que pode ser alimentada manualmente, com a remoção obtida em filtros operando com taxa de filtração constante.

O filtro *Momui* se adequa a situações nas quais a quantidade de água disponível é limitada, possibilitando o tratamento para a parcela da população que sofre com a falta de disponibilidade de água. O custo final do filtro totalizou 780 reais, valor que pode ser reduzido caso o filtro seja produzido em larga escala ou caso sejam utilizados outros materiais para diminuir os custos e facilitar a montagem na produção em pequena escala. Deve-se, por fim, ressaltar a importância da operação e manutenção para o correto funcionamento do sistema, sendo essencial a aceitação como tratamento eficiente e necessário por parte dos usuários.

CONCLUSÕES e RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho apresenta uma alternativa de sistema de tratamento de água por filtração lenta voltada para domicílios rurais, que pode ser implementada como parte de uma política pública ou individualmente. O filtro *Momui* foi resultado da avaliação experimental, do estudo de unidades domiciliares existentes, e da efetiva elaboração e montagem do protótipo. Da avaliação experimental, constatou-se que a taxa mais eficiente entre as avaliadas para a remoção de turbidez, coliformes totais e *E. coli* foi de 0,1 m/h (2,4 m/d), visto que apresentou uma remoção semelhante à taxa de 0,2 m/h, promovendo menor perda de carga. Dentre as espessuras testadas (35 e 40 cm) optou-se pelo meio filtrante mais espesso, para a elaboração dos protótipos, em prol da segurança microbiológica da água filtrada.

O protótipo, com capacidade de produção de 55 litros de água tratada por dia, foi confeccionado com tubos e peças de PVC disponíveis no mercado, e foi submetido a testes preliminares, apresentando estanqueidade e correto funcionamento hidráulico. Visando a implementação de opções de tratamento de água por políticas públicas, o filtro *Momui* se apresenta como opção adequada para situações específicas, como locais com limitações da quantidade de água disponível. O *Momui* garante o acesso à água tratada necessária para ingestão, preparo de alimentos e higiene mínima, melhorando as questões de saúde da população atendida. Entretanto, mais testes são necessários antes que ele seja implantado em larga escala. Desta forma, recomenda-se:

- Operar o filtro *Momui* de forma contínua e por longo período a fim de confirmar o seu desempenho tanto com relação à qualidade da água produzida como na evolução da perda de carga e duração da carreira dos filtros.
- A aplicação do protótipo elaborado neste estudo em domicílios rurais visando a avaliação da aceitação do modelo e a operação do filtro pelos usuários.
- A adequação do sistema apresentado para que seja acoplada uma etapa de cloração da água, dada a importância da desinfecção para obtenção de água segura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21^a Ed., 2005.
2. BAKER, D.; DUKE, W. Intermittent Slow Sand Filters for Household Use. A Field Study in Haiti. University of Victoria, Canada. 4p. 2006
3. BELLAMY, W.D.; SILVERMAN, G.P.; HENDRICKS, D.W; LOGSDON, G.S. Removing Giardia Cysts with Slow Sand Filtration. Journal of American Water Works Association, v.77, n.2, p.52-60. 1985.
4. BRASIL. Portaria 2.914. Ministério da Saúde - MS. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. D.O.U. de 14/12/11, República Federativa do Brasil. Dez. 2011.
5. CLEASBY J.L. Source water quality and pretreatment options for slow filters. In: Logsdon, G.S. (ed.) Slow Sand Filtration. ASCE, New York, E.U.A., p.69-100. 1991.
6. DESEA (Org.). Desea Peru PVC biosand water filter construction and installation manual. Sandy Hart, Perú, 18p. 2014
7. DEVI, R.; ALEMAYEHU, E.; SINGH, V.; KUMAR, A.; MENGISTIE, E.. Removal of fluoride, arsenic and coliform bacteria by modified homemade filter media from drinking water. Bioresource Technology, v.99, n.7, 2269-2274. 2008
8. DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C.C.S.; HELLER, L.. Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. PROSAB, Rio de Janeiro, 114p. 1999
9. HAARHOFF, J.; CLEASBY, J.L.. Biological and physical mechanisms in slow sand filtration. In: Logsdon, G.S. (ed.) Slow Sand Filtration. ASCE, New York, E.U.A., p. 19-68. 1991
10. HELLER, L; BASTOS, R.K.X.; VIEIRA, M.B.C.M.; BEVILACQUA, P. D.; BRITO, L.L.A.; MOTA S.M.M.. Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. Epidemiol. Serv. Saúde, Brasília, v. 13, n. 2, p.79-92, 2004.
11. 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.

12. OMS. Guidelines for Drinking-water Quality. WHO. 564 p. 2011.
13. OPAS. Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero. OPAS, Lima. 59p. 2005
14. PALMATEER, G.; MANZ, D.; JURKOVIC, A.; MCINNIS, R.; UNGER, S.; KWAN, K.K.; DUTKA, B.J. Toxicant and parasite challenge of Manz intermittent slow sand filter. Environ. Toxicol., v. 14, P.217–225. 1999
15. SMET, J.E.M; VISSCHER, J.T.; GINHOVEN, D.C.V; ANKERSMIT, W. Community self-improvement in water supply and sanitation: a training and reference manual for community health workers, community development workers and other community-based workers. IRC. Hague. 1988
16. STUKEL, T.A.; GREENBERG, E.R.; DAIN, B.J.; REED, F.C., JACOBS, N.J. A longitudinal study of rainfall and coliform contamination in small community drinking water supplies. Environ Sci Technol, v 24, p.571-575. 1990
17. YOUNG-ROJANSCHI, C.; MADRAMOOTOO, C. Intermittent versus continuous operation of biosand filters. Water research, v.49, p.1-10. 2014.