

## IX-039 – ANÁLISE CRÍTICA DAS FORMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

**Andréa Puzzi Nicolau<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal Fluminense. Cursando Especialização em Meio Ambiente pela COPPE/UFRJ.

**Dirlane Fátima do Carmo<sup>(2)</sup>**

Agrônoma pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental pela Escola de Engenharia de São Carlos. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos. Professora Adjunto IV na Universidade Federal Fluminense.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Tenente Mesquita 45 - Icaraí - Niterói - RJ - CEP: 24220-060 - Brasil - Tel: +55 (21) 97407-9067 - e-mail: [apuzzi@id.uff.br](mailto:apuzzi@id.uff.br)

### RESUMO

O problema da disponibilidade de água potável vem se agravando com o passar do tempo, devido especialmente ao aumento da população e da poluição dos mananciais. Com isso, há a necessidade de procurar novas formas de aproveitamento de água. A captação de água da chuva para posterior utilização para fins não potáveis tem se tornado uma prática cada vez mais comum. Sendo assim, o objetivo neste trabalho foi analisar as diferentes formas empregadas para tratamento de águas pluviais visando identificar a alternativa mais adequada. Para tal, foi utilizada uma base de dados de pesquisa com uso de palavras-chave distintas para seleção e feita a comparação de diferentes tratamentos de acordo com critérios como: tipo de material empregado, uso de coagulante, descarte dos primeiros milímetros de chuva, dentre outros. Foram encontrados 17 artigos subdivididos em três grupos de acordo com a forma de tratamento empregada: 14 com uso de filtro de areia, 1 com uso de manta sintética e 6 com outro tipo de tratamento. Além disso, foi analisado 1 estudo com emprego de manta sintética para filtração da água para irrigação de forma a agregar dados para a discussão. Notou-se que apesar do filtro de areia ser a opção mais utilizada para o tratamento de águas pluviais, há uma variedade de configurações e variações quanto à taxa de filtração, granulometria, espessura das camadas. A falta de padrão em relação aos parâmetros monitorados foi uma das principais dificuldades encontradas para a comparação das tecnologias empregadas. Verificou-se que dependendo da qualidade da água pluvial apenas o descarte dos primeiros milímetros se faz necessário. Concluiu-se também que o uso de filtro de areia com camadas de seixo e areia com espessuras específicas se mostrou eficiente. Por fim, a manta sintética pode ser um potencial meio filtrante para o tratamento de águas pluviais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Águas de chuva, tratamento, filtro de areia, manta sintética.

### INTRODUÇÃO

A água está presente em todas as atividades do ser humano, desde o abastecimento doméstico até no lazer e na geração de energia. Este recurso natural atende às necessidades de higiene e dessedentação da população, entretanto, o desperdício e o descaso são fatos marcantes no cotidiano. A discussão sobre escassez de água potável no mundo é amplamente difundida na sociedade atual.

A escassez não é atributo somente de regiões áridas, muitas regiões de recursos hídricos abundantes podem sofrer por demandas excessivamente elevadas, podendo ser vítimas de conflitos de uso e restrições de consumo. A necessidade de conservação da água é notória e medidas já estão sendo instituídas por governos e órgãos não-governamentais para ação de controle de desperdícios e uma política de redução no consumo da água.

O conceito de substituição de fontes de água se mostra a alternativa mais plausível para satisfazer demandas mais restritivas, liberando a água de melhor qualidade para uso mais nobre, enquanto águas de qualidade inferior podem ser consideradas como fontes para uso menos restritivos.

Sendo assim, na busca de fontes alternativas de abastecimento, o aproveitamento de águas pluviais surge como prática potencialmente capaz de suprir parte da demanda hídrica de usos menos nobres. Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais baseiam-se na captação das precipitações escoadas sobre áreas impermeáveis e no armazenamento dessas águas em reservatórios de acumulação, para uso imediato ou a longo prazo.

Entretanto, além da captação e armazenamento das águas pluviais, é interessante também que ocorram alguns estudos para sua utilização, no que diz respeito à aspectos quantitativos e qualitativos, para julgar a real necessidade de um sistema de tratamento simplificado desta água.

O descarte inicial de primeira chuva é uma prática comumente empregada para controlar a qualidade de água pluvial produzida, garantindo que as sujeiras acumuladas na superfície de captação não sejam armazenadas na cisterna. Melo (2007) ratifica que as primeiras águas de chuva realmente promovem a limpeza da atmosfera, e que a partir de certa quantidade da precipitação, a água se torna de excelente qualidade.

Outras formas de tratamento empregadas, com a aplicação do descarte ou não, são os filtros de areia. Esses filtros são compostos de materiais de fácil obtenção como brita e/ou areia e/ou pedregulho. O desenvolvimento deste filtro para a retirada de resíduos sólidos proveniente do arraste da água da chuva é amplamente utilizado para fins não potáveis e não necessita de mão de obra especializada para seu manejo.

Além desses, há a manta sintética que é vista como possível alternativa ao filtro de areia presente em um sistema de aproveitamento de água pluvial. Mantas sintéticas não tecidas são fabricadas a partir de polímeros ou fibras naturais entrelaçadas de forma aleatória. Estudos nesse contexto ainda são escassos no Brasil, reforçando a necessidade da aplicação desta alternativa para avaliação da qualidade da água da chuva após um tratamento.

Sendo assim, neste trabalho buscou-se comparar estratégias de tratamento de águas pluviais por meio de uma análise crítica da literatura afim de gerar um debate sobre a alternativa mais eficiente.

## OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal analisar estudos que utilizam filtros de areia, filtros de manta sintética e descarte para o tratamento de águas pluviais de forma a identificar a alternativa mais indicada.

Este trabalho teve como objetivos específicos: avaliar a eficiência do uso de manta sintética para tratamento de água de irrigação, verificando a qualidade da água da água antes e após o tratamento e a possibilidade de uso no tratamento de água da chuva e fazer uma análise crítica do uso de filtro de areia comparado a outras alternativas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma comparação entre resultados obtidos na literatura com diferentes tratamentos para água pluvial. As bases de dados utilizadas foram os *sites* Google Acadêmico, SciELO e Periódico Capes, tendo como busca as palavras-chave: “Tratamento águas pluviais”; “Análise qualitativa aproveitamento águas pluviais”; “Filtro de areia água da chuva”; “Manta sintética água da chuva”; “Meios filtrantes tratamento águas pluviais”. Para a busca não foi feita nenhuma delimitação em relação ao período em que o trabalho foi publicado.

Os artigos obtidos foram selecionados e separados quanto ao tipo de tratamento empregado sendo especificados, sempre que possível: o tipo de material empregado com granulometria e espessura da camada usados; valores de parâmetros antes e depois do tratamento; taxa de filtração; uso ou não de coagulante; descarte ou não dos primeiros milímetros de chuva; avaliação da justificativa dos resultados.

Além disso, para leitura de alguns valores de parâmetros analisados, foi necessário o uso do programa *GetData Graph Digitizer*, para os trabalhos que apresentavam os resultados em forma de gráficos. O cálculo da média dos resultados também se fez necessário para os estudos que apresentavam os dados de um mesmo parâmetro dispersos em um período de amostragem.

A criação de tabelas foi realizada para auxiliar a comparação entre os estudos visando identificar a viabilidade dos tratamentos utilizados e em que condições foram feitos.

## **RESULTADOS OBTIDOS**

Foram encontrados dezessete (17) artigos que foram subdivididos inicialmente neste estudo de acordo com o tipo de material empregado para o tratamento. Assim, foram encontrados os seguintes resultados:

- Onze (11) com estudos de filtro de areia, sendo que um (1) utilizou mais de um filtro de areia, podendo trazer dois resultados de eficiência de remoção;
- Um (1) com estudo de manta sintética, sendo que este utiliza também um filtro de areia em sistema separado;
- Seis (6) com estudos de outro tipo de derivação, sendo três (3) apenas com descarte da água de chuva inicialmente acumulada; um (1) com descarte seguido de filtro de pressão e um (1) com descarte seguido de filtro de vela.

Deve-se ressaltar ainda que em um (1) dos estudos com outro tipo de derivação, fez-se o uso de filtro de areia em sistema separado e em (1) outro estudo, com outro tipo de derivação, foram utilizados dois (2) princípios de funcionamento diferentes, totalizando em vinte e um (21) resultados de eficiência de remoção (14 de filtro de areia; 1 de manta sintética; 6 de outro tipo).

Apesar de ter sido encontrado apenas um estudo com o uso somente de manta sintética para aproveitamento de água da chuva, foram encontrados trabalhos com aplicação da manta sintética como forma de tratamento da água para irrigação.

A Tabela 1 mostra a síntese dos estudos pesquisados com especificação do tipo de tratamento (filtro de areia, manta sintética ou ambos; outras formas de tratamento), uso ou não de coagulante, ocorrência de descarte ou não, e granulometria das partículas quando era utilizado filtro de areia e quando especificado. No caso das mantas sintéticas, foi indicado o material de sua composição. Deve-se ressaltar, entretanto que, de acordo com o fabricante, a manta Bidim é constituída por 100% de polipropileno, no caso da manta da Ober (GeoFort) não foi identificada nenhuma informação a respeito de sua constituição.

**Tabela 1: Síntese dos estudos pesquisados quanto ao tipo de tratamento, granulometria, uso ou não de coagulante e ocorrência ou não do descarte dos primeiros milímetros de chuva**

<b>Filtro de Areia</b>			
<b>Referência</b>	<b>Granulometria Areia (mm)</b>	<b>Uso de Coagulante</b>	<b>Descarte dos primeiros milímetros de chuva</b>
Barcelos <i>et al.</i> (2005)	0,20 a 0,48		X
Hirt <i>et al.</i> (2011)	0,30 a 1,20		X
Vieira (2013)	0,15 a 0,60		X
Moreira Neto (2011)	Sem informação		X
	Sem informação		X
Valle <i>et al.</i> (2005)	Sem informação		X
Bastos (2007)	0,20 a 1,20		
Nakada (2012)	0,35 a 0,80	X	
	0,60 a 1,20	X	
Schujmann (2010)	1,20 a 2,40		X
Nakada <i>et al.</i> (2010)	0,42 a 1,41	X	
Peters (2006)	0,20 (efetivo)		X
Ruoso Junior <i>et al.</i> (2010)	1,00 a 2,36		
Luna <i>et al.</i> (2014)	0,48 (efetivo)		
<b>Manta sintética</b>			
<b>Referência</b>	<b>Manta</b>	<b>Uso de Coagulante</b>	<b>Descarte dos primeiros milímetros de chuva</b>
Schujmann (2010)	Bidim e GeoFort		X
Lima (1999)	Poliamida, Poliéster, Polipropileno		
<b>Outro tipo de derivação</b>			
<b>Referência</b>	<b>Tipo de derivação</b>	<b>Coagulante</b>	<b>Descarte primeiros milímetros de chuva</b>
Murakami <i>et al.</i> (2013)	Descarte + Filtro de pressão	X	X
Hernandes <i>et al.</i> (2007)	Descarte		X
Souza <i>et al.</i> (2011)	Descarte		X
Rôdas <i>et al.</i> (2009)	Descarte + Filtro de vela + Cloração		X
Luna <i>et al.</i> (2014)	Descarte		X

### **Uso de filtro de areia para tratamento de águas pluviais**

Dos quatorze (14) resultados avaliados em que houve utilização do filtro de areia, foram notadas diferenças entre os parâmetros analisados, a taxa de aplicação utilizada, a granulometria e a espessura da camada adotadas, o uso ou não de coagulante, a presença ou ausência de descarte dos primeiros milímetros de chuva.

Verificou-se que na maioria, oito (8), dos trabalhos foi empregado o descarte. Os dispositivos de descarte ou primeira lavagem demonstraram sua importância na melhoria da qualidade da água. Isto porque a água pluvial pode se contaminar em seu contato com a superfície de captação, caracterizada por conter sujeiras dependendo da distribuição anual e intensidade da precipitação local, do tipo de telhado, do lugar em que está localizado o telhado, dentre outras interferências na qualidade da água captada. Além disso, no estudo de Souza *et al.* (2011), em que há a análise da qualidade da água da chuva antes e depois do descarte por meio de dois princípios de funcionamento, os resultados comprovam que independentemente do princípio de funcionamento do dispositivo, o descarte é fundamental para a melhoria da qualidade da água. Por outro lado, no estudo de Luna *et al.* (2014), realizado na cidade de João Pessoa - PB, foi evidenciado que a qualidade da água do descarte não apresentou muita diferença se comparada com a água bruta da chuva, eliminando a necessidade do descarte. Entretanto, isto pode ser justificado pela boa qualidade da água da chuva característica da cidade de João Pessoa, fato comprovado inclusive por estudos citados no trabalho de Luna *et al.* (2014). Deve-se ressaltar que João Pessoa se destaca no Brasil como uma das cidades mais arborizadas, tendo sido inclusive

apontada por Oliveira (2005) como a cidade com maior área verde das Américas (54,7 árvores por habitante), o que contribui diretamente para a ação das chuvas e para amenizar a qualidade do ar, dentre outras vantagens (MASCARO *et al.*, 2008), influenciando na qualidade da água pluvial.

O uso de coagulante foi realizado, apenas em três (3) dos quatorze (14) resultados. Os coagulantes são conhecidos por desestabilizarem as partículas poluidoras fazendo-as sofrerem uma aglutinação para facilitar a deposição das mesmas. Ou seja, os coagulantes facilitam o tratamento de água desestabilizando as partículas coloidais. Schujmann (2010) que não utilizou coagulante no processo e não atingiu resultados qualitativos satisfatórios sugere o uso do mesmo para melhores resultados. Todavia, Mukarami *et al.* (2013), que fizeram uso de coagulante, destacam a limitação de preparo e estocagem de coagulantes para uso residencial em sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Ademais, Nakada (2012), que também utilizou coagulante em seu tratamento, afirma que seus resultados não atingiram o padrão de qualidade da NBR 15527 (ABNT, 2007), recomendando a desinfecção como pós-tratamento. Nakada *et al.* (2010) comprovaram que o emprego de amido de milho como coagulante natural é eficiente mas sugeriram que fossem feitos outros estudos com diferentes concentrações do coagulante. Sendo assim, a maioria dos autores avaliados preferem um sistema de descarte seguido de filtração sem uso de coagulante para o tratamento de água da chuva, sendo recomendada, se necessário, uma desinfecção como pós-tratamento.

Deste modo, os três (3) resultados restantes dos quatorze (14) não fazem uso de coagulante nem fazem o descarte dos primeiros milímetros de chuva.

Comparando os oito (8) resultados de filtro de areia em que não foi feito o uso de coagulante e foi empregado o descarte, apenas os parâmetros pH, cor, turbidez e coliformes totais foram coincidentes na maioria deles como forma de análise da qualidade da água tratada. A comparação entre os resultados obtidos na avaliação destes parâmetros é apresentada na Tabela 2 abaixo:

**Tabela 2: Comparação entre resultados de sistemas de tratamento com filtros de areia, sem coagulantes e com descarte dos primeiros milímetros de chuva (Produção própria)**

Camada Filtrante: Espessura (m)	Taxa de filtração	pH		Eficiência de Remoção		Coliformes totais	Referência
		Antes do Filtro	Após o Filtro	Cor	Turbidez		
Seixo (0,05); Areia (0,55)	Sem informação	6,3	7,8	Sem informação	81%	54%	Hirt <i>et al.</i> (2011)
Areia (*si); Brita (*si)	Sem informação	6,2 – 6,7	6,7 – 9,8	37%	52%	Sem informação	Barcelos <i>et al.</i> (2005)
Areia (0,52)	Sem informação	6,0	7,7	Sem informação	-27%	Sem informação	Vieira (2013)
Areia (*si)	Sem informação	Sem informação	Sem informação	Sem informação	-162%	80%	Moreira Neto (2011) – Filtro 1
Areia (*si)	Sem informação	Sem informação	Sem informação	Sem informação	25%	33%	Moreira Neto (2011) – Filtro 2
Seixo (0,1); Areia (0,5)	48 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	5,3	6,1	38%	69%	58%	Valle <i>et al.</i> (2005)
Areia (0,1)	1985 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	Sem informação	Sem informação	-84%	-1012%	Sem informação	Schujmann (2010)
Brita (0,15); Areia (0,7)	0,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	7,5	7,6	45%	44%	47%	Peters (2006)

\*si = sem informação

Pode-se notar que dos oito (8) resultados, apenas três (3) apresentam a taxa de filtração e, mesmo assim, tais valores são bem distintos. De acordo com Brandão *et al.* (1998) a filtração lenta difere da rápida por uso de taxas de filtração inferiores a  $6 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  e também pelo uso de meios filtrantes com granulometria mais fina, dispensando também o uso de coagulante químico na água afluyente ao filtro e a retro lavagem, porém necessita de grandes áreas. Para se ter ideia da diferença prática, Libânio (2010) destacou em seu trabalho que a primeira unidade de filtração lenta nos Estados Unidos operava com taxa de filtração de 1,9 a  $3,8 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$  enquanto a primeira unidade de filtração rápida empregava taxa de filtração de 60 a  $240 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ . Portanto, é relevante ressaltar que apesar da taxa de filtração estar relacionada com a granulometria das partículas, nesses estudos, muitas vezes não foram especificadas e quando eram informadas, algumas eram distintas entre si.

Quanto à espessura da camada, no estudo de Moreira Neto (2011) não há informação para nenhum dos dois filtros de areia. Além disso, os resultados são muito pobres em relação aos demais estudos, demonstrando casos de piora da qualidade da água após passagem pelo filtro de areia. Isto pode ser justificado pelo fato da água bruta captada pelos telhados ser de boa qualidade, podendo ser eliminada a necessidade da filtração, visto que o sistema de tratamento é composto por reservatórios de descarte antes do filtro de areia e uma unidade de cloração após o filtro de areia, garantindo a qualidade da água tratada. Com uma boa qualidade de água bruta, muitas vezes o filtro de areia tem efeito deletério sobre a qualidade, aumentando sua turbidez, como justificado por Moreira Neto e colaboradores (2012). A Filtração lenta se destaca pela remoção de organismos, porém apresenta limitações na remoção de turbidez, como destacado por Moreira Neto (2011). Deve-se ressaltar que o autor teve o cuidado de escolher a filtração lenta considerando que uma de suas restrições, de acordo com Brandão *et al.* (1998), seria sua indicação para utilização em águas brutas com cor verdadeira e turbidez relativamente baixos, com limites máximos, respectivamente de 5-25 uC e 5-10 uT. Moreira Neto (2011) destaca que água bruta utilizada apresentava baixa turbidez igual a 2,25 uT.

Pode-se ressaltar ainda em relação ao trabalho de Moreira Neto (2011) que o diâmetro do filtro interferiu positivamente na eficiência de remoção de coliformes, menor no filtro 1 com diâmetro de 0,45 m; enquanto o maior diâmetro utilizado no filtro 2 (0,62 m) implicou em maior qualidade na remoção de turbidez, possivelmente pelo aumento na taxa de filtração, como apontado no parágrafo anterior.

Os resultados negativos de eficiência de remoção de turbidez são explicados pelos seus autores (SCHUJSMANN, 2010; MOREIRA NETO, 2011; VIEIRA, 2013) como a possibilidade de os grãos de areia usados influenciarem diretamente na piora da qualidade da água. No estudo de Vieira (2013), o autor justifica essa piora devido à granulometria pequena da areia, com diâmetro de 0,15 a 0,60 mm. Já Schujmann (2010), que fez uso de grãos de areia maiores, com diâmetro de 1,2 a 2,4 mm, também afirma que as partículas de sujeira não ficaram retidas na camada de areia, sendo carregadas pelo fluxo de água. Entretanto, nota-se que a taxa de filtração usada pelo autor, de  $1985 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ , foi a mais alta dentre as informadas, gerando o questionamento sobre a influência apenas dos grãos de areia sobre o aumento de turbidez. Esta taxa de filtração inclusive é bastante superior às indicadas para filtração rápida. Apesar de Vieira (2013) não informar a taxa de filtração, o autor cita que o filtro é rápido, ou seja, provavelmente tem uma taxa de filtração alta. Por fim, Moreira Neto (2011), que utiliza filtros lentos no seu tratamento, afirma que como a água bruta apresentou valores de turbidez, na maioria das observações, menores que 1 uT, o meio filtrante incorporou impurezas na passagem da água. O autor no final do seu trabalho conclui que a aplicação de filtros lentos no seu caso é desnecessária, sendo indicado apenas o descarte seguido de uma desinfecção, fato que foi justificado pela qualidade da água bruta ser boa.

Analisando a qualidade da água afluyente dos estudos dos três autores, temos como turbidez os valores 2,04 uT para o estudo de Vieira (2013); 0,78 uT para o estudo de Moreira Neto (2011) e 9,58 uT para o estudo de Schujmann (2010). Sendo assim, podemos concluir que para valores abaixo de 3 uT existe a possibilidade de exclusão do tratamento por filtro. Já para o estudo de Schujmann, o resultado negativo pode ser justificado pela alta taxa de filtração.

Outra alternativa apontada por Paterniani e Conceição (2004) com base em outros trabalhos seria a utilização de manta sintética não tecida na parte superior da camada de areia em processos de filtração lenta, contribuindo também para uma maior duração das carreiras de filtração e facilitando a limpeza.

Os resultados de Hirt *et al.* (2011) e Valle (2005) se mostraram como os melhores e é possível perceber que a montagem dos filtros é muito similar, com uma camada de seixo e uma camada de areia que variam apenas 0,05 m entre os dois estudos.

Dentre os três (3) resultados em que foi realizado o uso de coagulante e não houve descarte no sistema de derivação apenas os parâmetros pH, cor, turbidez e coliformes totais foram coincidentes como forma de análise da qualidade da água tratada. A comparação entre os resultados obtidos na avaliação destes parâmetros é apresentada na Tabela 3 abaixo:

**Tabela 3: Comparação entre resultados de sistemas de tratamento com filtros de areia, com coagulantes e sem descarte dos primeiros milímetros de chuva (Produção própria)**

Camada Filtrante – espessura (m)	Taxa de Filtração	Granulometria	pH		Eficiência de Remoção			Referência
			Antes do Filtro	Após o Filtro	Cor	Turbidez	Coliformes totais	
Areia (0,38)	450 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	0,35 e 0,80 mm	6,2	6,4	13%	48%	93%	Nakada (2012)
Areia (0,38)	450 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	0,60 e 1,20 mm	6,2	6,5	28%	44%	65%	Nakada (2012)
Areia (*si); Brita (*si)	Sem informação	0,42 a 1,41 mm	6,5	5,7	71%	59%	0%	Nakada <i>et al.</i> (2010)

\*si = sem informação

Observa-se que os resultados de eficiência de remoção para cor e turbidez do estudo de Nakada *et al.* (2010) se apresentam melhores do que os do estudo de Nakada (2012). Entretanto, em relação à eficiência de remoção para coliformes totais, o estudo de Nakada (2012) se sobressai. O pH não apresenta variação significativa, apenas vale ressaltar que no primeiro estudo a água após passagem pelos filtros se tornou ligeiramente mais alcalina e no segundo estudo ligeiramente mais ácida. A granulometria dos filtros varia: no primeiro resultado entre 0,35 e 0,80 mm; no segundo resultado entre 0,6 e 1,2 mm e; no terceiro resultado entre 0,42 a 1,41 mm.

Sendo assim, pode-se concluir para esses estudos que o emprego do coagulante é eficiente para filtração, mas, mesmo assim, sugere-se o estudo do emprego de outras concentrações de coagulante e a utilização da desinfecção como pós-tratamento para atingir o padrão de qualidade em relação à NBR 15527 (ABNT, 2007). O estudo de Nakada *et al.* (2010) se demonstra como o mais eficiente por apresentar maior remoção de dois dos três parâmetros se comparados aos outros estudos. A questão da não remoção em relação aos coliformes totais pode ser resolvida com a aplicação da desinfecção como pós tratamento. A Tabela 4 fornece os valores encontrados pelos autores e os valores de referência da NBR 15527 (ABNT, 2007) e a Classe de Reuso em que cada parâmetro se encaixaria:

Nota-se claramente que dois dos resultados se encaixam no padrão de pH da NBR 15527 e nas Classes de reuso 1, 2, 3 e 4, sem recirculação. O resultado de pH de Nakada *et al.* (2010) apenas se encaixa na Classe de reuso 4, para resfriamento de equipamentos de ar condicionado. Quanto ao parâmetro cor, nenhum resultado se encaixa ao padrão da norma técnica e em nenhuma classe de reuso com exceção do primeiro estudo que apresenta 22 uH, menor que 30 uH, sendo classificado como reuso de Classe 3. Nenhum resultado atende ao padrão de turbidez, sendo todos maiores que 2 uT, porém por serem menores que 5 uT, se enquadram em usos menos restritivos da norma e à Classe 3. É evidente que todos os resultados de coliformes totais ultrapassam em muito o padrão estipulado, sendo recomendado uma desinfecção.

**Tabela 4: Comparação entre parâmetros dos resultados sistemas de tratamento com filtros de areia, com coagulantes e sem descarte dos primeiros milímetros de chuva e padrões de referência (Produção própria)**

Parâmetros Avaliados	Nakada <i>et al.</i> (2010)	Nakada (2012) – Filtro 1	Nakada (2012) – Filtro 2	NBR 15527 /2007	Classe de Reuso 1	Classe de Reuso 2	Classe de Reuso 3	Classe de Reuso 4
<b>pH</b>	5,7	6,4	6,5	6,0 – 8,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0	5,0 – 8,3 (sr); 6,8 – 7,2 (cr)
<b>Cor (uH)</b>	22,0	41,5	34,3	< 15	≤ 10	*si	< 30	*si
<b>Turbidez (uT)</b>	4,6	3,3	3,6	< 2,0, para usos menos restritivos <5,0	≤ 2	*si	< 5	*si
<b>Coliformes totais (NMP/100ml)</b>	2419	490	2425	Ausência	**	**	**	*si

\*si = sem informação; sr = sem recirculação; cr = com recirculação; \*\* Define para coliformes fecais ; Classe de reuso 1: descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de roupas e veículos; Classe de reuso 2: (uso em fases de construção de edificação): lavagem de agregados e preparação de concretos; Classe de reuso 3: irrigação de áreas verdes e rega de jardins; Classe de reuso 4: resfriamento de equipamentos de ar condicionado.

Comparando o que foi obtido nos três (3) resultados em que não foi realizado o uso de coagulante e não houve descarte no sistema de derivação, verifica-se que apenas os parâmetros cor, turbidez, sólidos totais e coliformes totais foram coincidentes na maioria como forma de análise da qualidade da água tratada. A comparação entre os resultados obtidos na avaliação destes parâmetros é apresentada na Tabela 5 abaixo:

**Tabela 5: Comparação entre resultados de sistemas de tratamento com filtros de areia, sem coagulantes e sem descarte dos primeiros milímetros de chuva (Produção própria)**

Camada Filtrante – espessura (m)	Taxa de filtração	Eficiência de Remoção				Referência
		Sólidos totais	Cor	Turbidez	Coliformes totais	
Pedregulho (0,1); Areia (0,9)	4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	86%	2%	96%	65%	Bastos (2007)
Brita (0,11); Areia (0,32); Brita (0,05)	Sem informação	86%	77%	79%	Sem informação	Ruoso Junior <i>et al.</i> (2010)
Brita (0,19); Areia (0,5)	Sem informação	Sem informação	-240%	-81%	-120%	Luna <i>et al.</i> (2014)

Nota-se claramente o bom desempenho dos filtros nos dois primeiros casos, onde há remoções acima de 60%, exceto para o parâmetro Cor do estudo de Bastos (2007) e o parâmetro Coliformes totais, que não foi informado, do estudo de Ruoso Junior *et al.* (2010). Deve-se ressaltar que o uso de pedregulho e brita podem ter contribuído para a melhoria na remoção de sólidos e turbidez.

Já no trabalho de Luna *et al.* (2014) pode ser vista uma expressiva piora da qualidade da água da chuva após a passagem pelo filtro de areia. Como esse estudo, posteriormente descrito aqui, demonstra uma alta eficiência de remoção dos parâmetros após o descarte dos primeiros milímetros e a já boa qualidade da água bruta de chuva, podemos justificar que esses resultados negativos se deram pela não necessidade do uso de um filtro de areia neste caso.

A configuração de Ruoso Junior *et al.* (2010) com duas camadas de brita entre uma camada de areia, apesar de não informar a remoção de coliformes totais, se demonstra como a melhor dentre os três estudos. Porém, justamente em relação à coliformes, todos os resultados das tabelas anteriores que utilizam a brita em sua configuração demonstram uma piora na qualidade da água, exceto no caso de Peters (2006). Deste modo, aconselha-se a repetição do experimento de Ruoso Junior *et al.* (2010), avaliando o parâmetro de coliformes totais e, se necessário, a sugestão da desinfecção como pós-tratamento.

### Uso de mantas sintéticas para tratamento de águas pluviais

O estudo que utiliza apenas manta sintética para tratamento de água pluvial apresenta a metodologia para definição do sistema de mantas escolhido. Para tal, foi desenvolvido um equipamento à parte do sistema de aproveitamento de águas pluviais que seria posteriormente usado. Para cada manta testada, as propriedades analisadas eram: permissividade, permeabilidade normal, abertura de filtração máxima, abertura de filtração mínima e taxa de filtração. Combinações de sobreposição de mantas também foram estudadas. Todos esses ensaios foram realizados com concentrações de carvão em pó para análise de remoção de turbidez. A combinação de mantas escolhida foi uma manta de geotêxtil não tecido Ober GeoFort GF14/250 sobreposta à duas mantas de geotêxtil não tecido Bidim RT 31, denominadas da maneira: “G5 + 2G3”.

O resultado da análise qualitativa do tratamento de água pluvial do estudo de Schujmann (2010) é apresentado na Tabela 6 a seguir:

**Tabela 6: Eficiência de remoção de parâmetros analisados para estudo de uso de manta sintética no sistema de aproveitamento de água pluvial (Produção própria)**

Espessura (m)	Eficiência de Remoção	
	Cor	Turbidez
G5 + 2G3 (0,0099); G5 (0,0027); G3 (0,0036)	-12%	-187%

Observa-se que os resultados não são positivos e acarretam na piora da qualidade da água da chuva. Todavia, esses valores de eficiência de remoção são melhores do que os valores de eficiência de remoção do uso de filtro de areia no mesmo trabalho, -84% e -1012% para cor e turbidez, respectivamente. Schujamnn (2010) afirma que o fato da não ocorrência de uma limpeza periódica das mantas pode ter acarretado neste resultado. Mesmo assim, há de se indagar se o procedimento foi feito corretamente, pois em nenhum dos outros resultados avaliados no presente trabalho houve uma porcentagem tão baixa para eficiência de remoção.

Deste modo, houve a necessidade de avaliação do uso de manta sintética para filtragem da água utilizada em irrigação. O trabalho de Lima (1999) foi desenvolvido em duas etapas: a primeira para avaliar o desempenho hidráulico, com água de abastecimento público, de oito tipos diferentes de mantas sintéticas não tecidas e também de filtros de tela e de disco de 120 *mesh* (número de malhas por polegada linear) usados como meio filtrante em filtros para irrigação localizada; a segunda para avaliar a eficiência de remoção em estufas onde são produzidas flores com o uso de sistema de irrigação por gotejamento, onde a água era proveniente de um açude e continha alta concentração de partículas sólidas em suspensão. Nesta segunda etapa foram utilizadas 3 das 8 mantas inicialmente testadas e os elementos tradicionais de tela e de disco. Com os resultados da segunda etapa, Lima (1999) concluiu que, estatisticamente, as mantas não diferem entre si quanto à eficiência de remoção mas diferem ao nível de 1% de significância dos elementos tela e disco, indicando uma eficiência melhor de remoção de impurezas.

Os filtros de tela, assim como os filtros de disco, têm como principal objetivo reter a passagem de partículas sólidas inorgânicas em suspensão na água de irrigação, sendo a abertura das telas classificadas como um valor em *mesh* (LIMA,1999). As especificações das três mantas não tecidas (denominadas pela autora de M2, M3 e M8) utilizadas para análise da eficiência de remoção são demonstradas na Tabela 7 a seguir:

Tabela 7: Especificações das mantas não tecidas usadas (Adaptado de LIMA, 1999)

	M2	M3		M8	
Cor	Cinza	Preta	Gramatura (g/cm <sup>2</sup> )	380	
Massa específica do fio (g/cm <sup>3</sup> )	1,1237	0,9835	Espessura nominal (mm)	3,8	
Massa específica da manta (g/cm <sup>3</sup> )	0,1235	0,1151	Condutividade hidráulica (mm/s)	5	
Porosidade (%)	89,01	88,29	Abertura aparente dos poros (mm)	0,15	
Diâmetro médio do fio (µm)	42,43	45,09	As especificações são distintas pelo fato da manta M8 ser de um diferente fabricante das mantas M2 e M3		
Superfície específica (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	10360	10388			
Condutividade hidráulica (mm/s)	7.01	7.16			
Composição	50% PA17; 21% PES17; 21% PP15; 8% PP9	68% PP15; 32% PA32			PA: poliamida (nylon) PES: poliéster PP: polipropileno

Para uma melhor avaliação da eficiência dos filtros na remoção de impurezas, foi elaborada a Figura 1 a seguir:

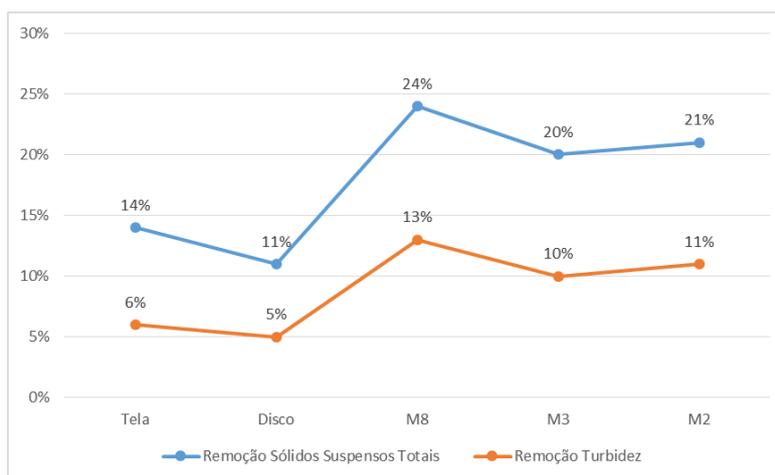


Figura 1: Eficiência de remoção dos meios filtrantes (Adaptado de LIMA, 1999)

Pela figura nota-se claramente uma maior eficiência dos filtros de manta M2, M3 e M8 na remoção de impurezas do que os filtros de tela e de disco, destacando-se o filtro de manta M8. Conclui-se que mantas sintéticas não tecidas são adequadas para serem usadas como elemento filtrante para irrigação localizada pois apresentam uma capacidade de remoção de sólidos suspensos totais e turbidez em torno de 100% a mais que os meios filtrantes tradicionais de tela e de disco (120 mesh).

Além disso, quando comparado com o estudo de Schujmann (2010), estes resultados são indiscutivelmente melhores. Sabe-se que a vazão do estudo de Schujmann (2010) é de 52,9 m<sup>3</sup>/h enquanto a do estudo de Lima (1999) é de 2,4 m<sup>3</sup>/h, uma diferença de mais de 50 unidades, podendo ser uma possível justificativa para a discrepância entre os resultados. Ademais, a qualidade da água afluente de Schujmann (2010) é pior, 14,7 uT, que a de Lima (1999), que tem uma média dos ensaios no parâmetro turbidez da água afluente de 4,9 uT. Os outros resultados demonstram que uma taxa de filtração mais lenta traz melhores resultados e, como o trabalho de Schujmann (2010) apresenta valores de turbidez nos ensaios com uma média baixa, só em um dos casos com valor acima de 14,7 uT, a taxa de filtração alta pode ser uma justificativa plausível para um pior desempenho da aplicação da manta no tratamento de água pluvial.

### Sistemas com outro tipo de derivação para aproveitamento de águas pluviais

Dos seis (6) resultados avaliados em que houve utilização de outro sistema de derivação, foram notadas diferenças entre os parâmetros analisados e o uso ou não de coagulante. Todos os seis (6) estudos utilizaram o descarte como sistema de tratamento, sendo que apenas um (1) não analisou qualitativamente a eficiência do mesmo, três (3) estudos utilizaram apenas o descarte no sistema, um (1) utilizou um filtro de pressão após o descarte e um (1) utilizou um filtro de vela após o descarte. Apenas em um (1) estudo foi feito o uso de coagulante. Este estudo é o mesmo citado em relação ao uso de coagulante no item “Uso de filtro de areia para tratamento de águas pluviais” e o mesmo que não analisa qualitativamente a eficiência do descarte, de Murakami *et al.* (2013).

Comparando os cinco (5) resultados que analisaram qualitativamente a eficiência de remoção dos parâmetros com descarte e que não fizeram o uso de coagulante, apenas os parâmetros turbidez e coliformes totais foram coincidentes como forma de análise de água tratada. A comparação entre os resultados obtidos na avaliação destes parâmetros é apresentada na Tabela 8 abaixo:

**Tabela 8: Comparação dos sistemas de tratamento de água da chuva com uso de descarte e sem coagulante (Produção própria)**

Parâmetros	Água bruta	Água do descarte	Água após descarte	Eficiência de remoção	Referência
Turbidez (uT)	17,64	58,69	45,30	23%	Souza <i>et al.</i> (2011) – Princípio do fecho hídrico
Coliformes totais (NMP/100ml)	0	9090	5040	45%	
Turbidez (uT)	21,53	65,79	14,03	79%	Souza <i>et al.</i> (2011) – Princípio dos vasos comunicantes
Coliformes totais (NMP/100ml)	0	21780	980	96%	
Turbidez (uT)	0	8,80	1,88	79%	Rôdas (2009)
Coliformes Totais (NMP/100ml)	Presente	Presente	Presente	x	
Turbidez (uT)	2,75	2,48	0,36	86%	Luna <i>et al.</i> (2014)
Coliformes totais (NMP/100ml)	6	17	9	46%	
Turbidez (uT)	5,02	132,39	2,46	98%	Hernandes <i>et al.</i> (2007)
Coliformes totais (NMP/100ml)	Não medido	59	19	68%	

É importante salientar que cada sistema descarta uma quantidade específica de milímetros de chuva e que nem todos os estudos informam este valor.

Observa-se que para o parâmetro de turbidez, todos os resultados de eficiência de remoção são altos, maior que 70%, exceto para o primeiro sistema de Souza *et al.* (2011). Isso pode ser justificado pelo fato desse sistema ser do princípio dos vasos comunicantes, que faz com que nem todo material lavado fique retido no desvio, ou seja, a água da cisterna é influenciada pelo percurso.

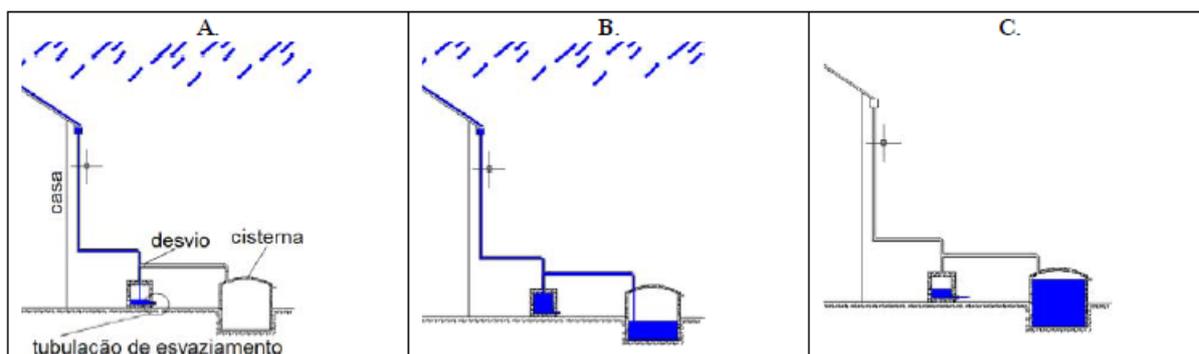


Figura 2: Princípio do fecho hídrico - A. início da chuva; B. enchimento da cisterna; C. cessada a chuva (SOUZA et al., 2011)

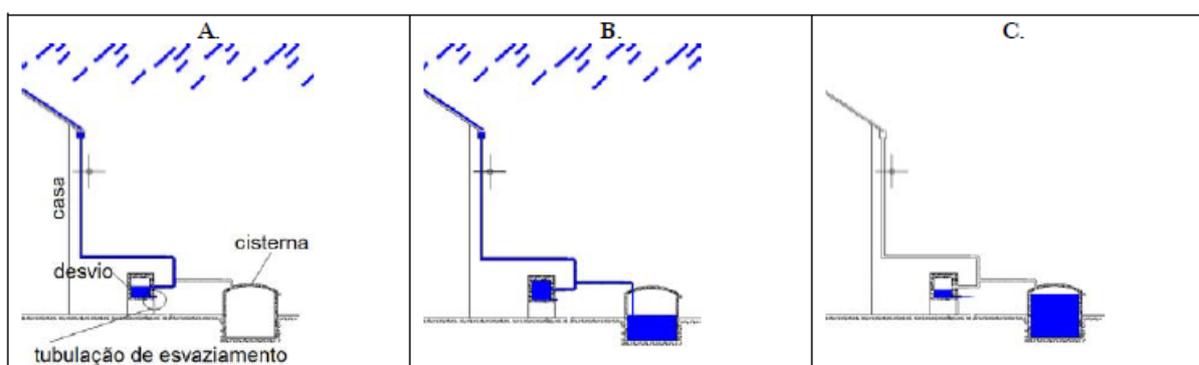


Figura 3: Princípio dos vasos comunicantes - A. início da chuva; B. enchimento da cisterna; C. cessada a chuva (SOUZA et al., 2011)

Em relação à eficiência de remoção dos coliformes totais, apesar dos resultados serem acima de 40% em todos os casos, em que se mediu o parâmetro, com um dos estudos mostrando uma eficiência de remoção de 96%, os valores finais ainda assim não atendem à padrões de qualidade como o da NBR 15527 (ABNT, 2007), confirmando que para parâmetros microbiológicos a desinfecção é o tratamento mais indicado.

Deste modo, pode-se confirmar que após o contato da água da chuva com a superfície de captação há uma evidente piora da qualidade desta água e que o descarte é um importante processo para remover impurezas encaminhadas às cisternas.

O sistema de Souza *et al.* (2011) – Princípio dos vasos comunicantes e o de Hernandez *et al.* (2007) foram considerados os mais eficientes.

Para uma comparação entre os resultados e os padrões de referência, foram elaboradas duas tabelas para melhor visualização. A Tabela 9 abaixo fornece os valores encontrados pelos autores, e a Tabela 10 os valores de referência da NBR 15527 (ABNT, 2007) e a Classe de Reuso em que cada parâmetro se encaixa:

Tabela 9: Parâmetros dos sistemas de tratamento de água da chuva com uso de descarte e sem coagulante (Produção própria)

Referência	Turbidez (uT)		Coliformes totais (NMP/100ml)	
	No telhado	Após descarte	No telhado	Após descarte
Souza <i>et al.</i> (2011) – Princípio do fecho hídrico	58,69	45,3	9090	5040
Souza <i>et al.</i> (2011) – Princípio dos vasos comunicantes	65,79	14,03	21780	980
Rôdas (2009)	8,80	1,88	Presente	Presente
Luna <i>et al.</i> (2014)	2,48	0,36	17	9
Hernandes <i>et al.</i> (2007)	132,39	2,46	59	19

**Tabela 10: Padrões de Referência NBR 15227/2007 e Classes de Reuso para turbidez e coliformes totais (Produção Própria)**

	NBR 15227/2007	Classe de Reuso 1	Classe de Reuso 2	Classe de Reuso 3	Classe de Reuso 4
<b>Turbidez (uT)</b>	< 2,0, para usos menos restritivos < 5,0	≤ 2	*si	< 5	*si
<b>Coliformes totais (NMP/100ml)</b>	Ausência	**	**	**	*si

Classes de reuso 1: descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de roupas e veículos; Classe de reuso 2 (uso em fases de construção de edificação): lavagem de agregados e preparação de concretos; Classe de reuso 3: irrigação de áreas verdes e rega de jardins; Classe de reuso 4: resfriamento de equipamentos de ar condicionado.

Siglas e símbolos utilizados: si – sem informação; \*\*Define para coliformes fecais

Com exceção do estudo de Luna *et al.* (2014), nenhum resultado, de nenhum dos dois parâmetros analisados antes do descarte, se encaixa dentro dos padrões de referência. Entretanto, após o descarte nota-se claramente que dois dos resultados se encaixam no padrão de turbidez da NBR 15527 (ABNT, 2007) e nas Classes de reuso 1 e 3 e um resultado se encaixa nesse padrão para usos menos restritivos e na Classe de reuso 3. Todavia, os resultados de turbidez de Souza *et al.* (2011) estão muito acima do padrão menos restritivo. Além do mais, os resultados de Souza (2011) ultrapassam em muito o padrão de coliformes totais, juntamente com os de Luna *et al.* (2014) e Hernandez *et al.* (2007), que apesar de serem valores muito menores, também ultrapassam.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Afim de se comparar os melhores resultados entre todos os sistemas, foi elaborada a Tabela 11:

**Tabela 11: Comparação entre os melhores resultados (Produção própria)**

Camada Filtrante	Descarte e/ou Coagulante	Taxa de filtração	Eficiência de Remoção		Referência
			Turbidez	Coliformes totais	
Seixo (0,05); Areia (0,55)	D	Sem informação	81%	54%	Hirt <i>et al.</i> (2011)
Seixo (0,1); Areia (0,5)	D	48 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	69%	58%	Valle <i>et al.</i> (2005)
Areia (*si); Brita (*si)	C	Sem informação	59%	0%	Nakada <i>et al.</i> (2010)
Areia (0,38)	C	450 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	48%	93%	Nakada (2012)
Pedregulho (0,1); Areia (0,9)	-	4 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	96%	65%	Bastos (2007)
Brita (0,11); Areia (0,32); Brita (0,05)	-	Sem informação	79%	Sem informação	Ruoso Junior <i>et al.</i> (2010)
-	D	-	98%	68%	Hernandes <i>et al.</i> (2007)
-	D	-	79%	96%	Souza <i>et al.</i> (2011) – Princípio dos vasos comunicantes

\*si = sem informação; D = aplicação do descarte; C = uso de coagulante.

Vale ressaltar que as escolhas dos melhores resultados entre os estudos para compor essa tabela foram baseadas na análise dos únicos parâmetros coincidentes aqui dispostos. Entretanto, o estudo de Ruoso Junior *et al.* (2010) mesmo não apresentando a eficiência de remoção de coliformes totais, foi incluído na tabela por ser considerado como um dos melhores na configuração de filtro de areia sem descarte e sem aplicação de coagulante. Novamente, reforça-se a ideia da repetição desse experimento para a análise do parâmetro em questão para avaliação da eficiência de remoção. Além disso, foi feita a inclusão do estudo de Nakada *et al.*

(2010) nesta tabela por ter sido considerado anteriormente o estudo com melhor eficiência de remoção dos parâmetros antes analisados, mesmo sem apresentar eficiência de remoção de coliformes totais, fato que pode ser solucionado com a aplicação de uma desinfecção.

Tendo em vista a Tabela 11, pode-se afirmar que a configuração de Hernandez *et al.* (2007) é a mais eficiente, seguida de Bastos (2007) e Souza *et al.* (2011). Como ambos os estudos de Hernandez *et al.* (2007) e Souza *et al.* (2011) utilizam apenas o descarte dos primeiros milímetros como tratamento, e que outros estudos aqui analisados, como Hirt *et al.* (2011) e Peters (2006) afirmam que este procedimento é eficiente na remoção de turbidez, além de Schujmann (2010), Moreira Neto (2011) e Vieira (2013) citarem em seus estudos que o meio filtrante de areia pode acarretar na piora da qualidade da água, sugere-se apenas o descarte dos primeiros milímetros para condições específicas com turbidez menor do que 3 uT, como visto anteriormente, para o tratamento de água pluvial.

Entretanto, mesmo com muitos trabalhos que fazem o uso de filtro de areia, não se pode descartar futuros estudos. Como visto aqui, há uma grande variação entre as configurações dos sistemas que utilizam filtro de areia, tanto quanto à taxa de filtração, quanto à espessura da camada, quanto à granulometria, quanto à aplicação do descarte e quanto ao uso de coagulante. Todavia, verificou-se que o filtro com camada de seixo para suporte e areia, com espessuras de 0,05 m e 0,10 m de seixo e 0,50 m e 0,55 m de areia, se mostrou o mais eficiente dentre as configurações de filtros de areia analisadas, sendo um potencial tratamento para águas pluviais. Para análise de granulometrias e eficiência de remoção de coliformes totais, foi elaborada a Tabela 12:

**Tabela 12: Comparação entre granulometrias e eficiência de remoção de coliformes totais para os estudos que apresentam ambos os parâmetros (Produção própria)**

Referência	Granulometria de areia (mm)	Eficiência de remoção de coliformes totais
Hirt <i>et al.</i> (2011)	0,30 a 1,20	54%
Bastos (2007)	0,20 a 1,20	65%
Nakada (2012)	0,35 a 0,80	93%
Nakada (2012)	0,60 a 1,20	65%
Nakada <i>et al.</i> (2010)	0,42 a 1,41	0%
Peters (2006)	0,20 (efetivo)	47%
Luna <i>et al.</i> (2014)	0,48 (efetivo)	-120%

Nota-se claramente que os quatro primeiros resultados se mostram os melhores e observa-se que as granulometrias são bem similares entre si. A granulometria utilizada por Nakada (2012) se mostrou a mais eficiente para remoção de coliformes totais. Apesar da granulometria de Luna *et al.* (2014) não apresentar uma grande diferença em relação as quatro primeiras, sabe-se que a concentração de coliformes totais no afluente do estudo era baixa, cerca de 6 NMP/100ml, o que pode justificar essa eficiência negativa. Já o resultado de Nakada *et al.* (2010) é atípico, sem nenhuma justificativa plausível, como visto anteriormente, apenas a sugestão de aplicação de desinfecção para eliminar os coliformes totais.

Além do mais, visto que só foi encontrado um estudo com a aplicação da manta sintética para tratamento de água pluvial e com o bom desempenho do estudo que utiliza a manta sintética no tratamento de água para irrigação, são necessárias mais abordagens em relação à manta sintética.

Em relação à perda de carga, diferença de pressão entre a entrada e saída do filtro devido à retenção e acúmulo de impurezas, Lima (1999) afirma que três mantas ensaiadas apresentaram perda de carga maior que os elementos tela e disco. Isto indica *a priori* que as mantas foram mais eficientes que os elementos tela e disco na remoção de impurezas da água. No entanto, o tempo de duração da operação dos filtros de manta foi menor uma vez que alcançará perda de carga limite mais rapidamente. Dentre as três mantas estudadas, a M8 foi a que apresentou maior perda de carga, seguida das mantas M2 e M3. Este resultado foi alcançado previamente (primeira etapa do trabalho) devido às diferenças entre os coeficientes de condutividade hidráulica, já que as espessuras das mantas não são muito diferentes entre si. Essas propriedades das mantas são as mais importantes na eficiência da filtração. O filtro de tela apresentou uma perda de carga intermediária entre o filtro de manta M3 e o filtro de disco em todos os ensaios realizados. Já o filtro de disco foi o que apresentou a

menor perda de carga devido à retenção de impurezas. Com base nos resultados de perda de carga pode-se deduzir que o filtro que apresentou menor perda de carga, que no caso foi o de disco, permite um maior tempo de funcionamento entre operações de limpeza. Neste contexto o filtro de manta, principalmente o M3, que apresentou uma evolução da perda de carga mais rápida, exige limpeza mais frequente. Contudo o filtro M3 demonstrou uma maior eficiência de remoção de partículas sólidas em suspensão, o que lhe atribuiu uma vantagem sobre o menor tempo de funcionamento (LIMA, 1999).

Ou seja, o aumento da perda de carga devido a retenção e ao acúmulo de impurezas, é um dos principais parâmetros usados na avaliação do desempenho dos filtros. Contudo, torna-se necessário e importante avaliar outros parâmetros em conjunto tais como a capacidade e eficiência de remoção efetiva de sólidos em suspensão através de análises destes no afluente e no efluente filtrado. Assim pode-se diagnosticar um filtro que apresentando baixa perda de carga e grande retenção de impurezas se aproxima de uma condição ideal.

Sendo assim, sugere-se futuros estudos tanto com aplicação de filtro de areia e filtro de manta sintética que possam analisar a perda de carga juntamente com os outros parâmetros físico-químicos e biológicos, granulometria das partículas de areia, taxa de filtração e espessura de camadas. Nesse contexto, os estudos seriam de extrema relevância se houver a comparação do sistema apenas com descarte dos primeiros milímetros de água pluvial e do sistema com aplicação de um filtro de areia e/ou manta sintética.

## CONCLUSÕES

Há a necessidade de padronização dos critérios utilizados nas pesquisas de forma a auxiliar na identificação das melhores alternativas de tratamento de acordo com a área e recursos disponíveis, bem como a qualidade da água afluente.

Para água de chuva considerada de boa qualidade, constata-se que apenas o emprego do descarte dos primeiros milímetros de chuva é considerado suficiente na eficiência de tratamento, como no estudo de *Hernandes et al.* (2007) e *Souza et al.* (2011), visto que alguns estudos (*Schujmann, 2010; Moreira Neto, 2011; Vieira, 2013*) demonstraram que o filtro de areia pode ter efeito deletério na qualidade da água afluente.

Entretanto, os estudos de *Valle et al.* (2005), *Bastos* (2007) e *Hirt et al.* (2011) se mostraram muito satisfatórios no emprego de filtros de areia para tratamento de águas pluviais. Vale ressaltar que os estudos de *Valle et al.* (2005) e *Hirt et al.* (2011) apresentam montagem de camadas muito similares, sendo a aplicação de seixo em torno de 0,05 e 0,10 m seguida de areia entre 0,50 e 0,55 m um potencial. A configuração de *Bastos* (2007) não se distingue em muito, utilizando pedregulho com espessura similar ao seixo e uma camada de areia um pouco mais espessa chegando à 0,90 m.

O uso da manta sintética no tratamento para aproveitamento de água pluvial não apresentou um resultado positivo, porém os parâmetros de água pluvial afluente não apresentavam valores altos que justificassem uma má qualidade, levando à conclusão de que a taxa de filtração empregada era demasiadamente alta. Por outro lado, o uso de manta sintética para filtragem da água utilizada em irrigação se mostrou muito satisfatório na remoção de impurezas, tendo um melhor desempenho quando analisado com outros filtros (de tela e de disco).

Por fim, conclui-se que a aplicação de manta sintética no tratamento de águas pluviais pode vir a ser uma alternativa potencial, sugerindo-se novos estudos que possam fazer uma posterior comparação com outros tipos de filtros, como o de areia, que é o tradicionalmente utilizado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527, de 24 de setembro de 2007. Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis.
2. BARCELOS, B. R.; FELIZZATO, M. R. Aproveitamento das águas atmosféricas. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, MS. 2005.
3. BASTOS, F. P. Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV. 2007. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES. 2007.

4. BRANDÃO, C. C. S.; WIECHETECK, G. K.; MELLO, O. M. T.; BERNARDO, L.; GALVIS C., G.; VERAS, L. R. V. O Uso da filtração em múltiplas etapas no tratamento de águas com elevado teor de algas. In: XXVI Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1998. O uso da filtração em múltiplas etapas no tratamento de águas com elevado teor de algas. Lima, Peru. v. 1. p. 300-310.
5. HERNANDES, A. T.; AMORIM, S. V. Avaliação qualitativa de um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma edificação na cidade de Ribeirão Preto. In: 6º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água da Chuva, Belo Horizonte, MG. 2007.
6. HIRT, B. F.; SANTOS, D. S. Avaliação da filtração de águas pluviais para uso não potável. 2011. 76 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2011.
7. LIMA, M. M. Desempenho de diferentes tipos de mantas sintéticas não tecidas na filtração da água para irrigação localizada. 1999. 93 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1999.
8. LUNA, Y. H. D. M.; SANTANA, N. C. B.; ANJOS JÚNIOR, R. H.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B. Qualidade da água de chuva em João Pessoa: Estudo comparativo com diversos padrões de qualidade conforme os usos pretendidos para água em edificações residenciais. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais, v. 2, n. 1, p. 53-68, 2014. Disponível em: < <http://www.portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/view/8792>>. Acesso em: Julho de 2016.
9. MOREIRA NETO, R. F.; CARVALHO, I. C.; CALIJURI, M. L.; CARVALHO, I. C.; SANTIAGO, A. F. Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs. Resources, Conservation and Recycling, v. 65, p. 124-129, 2012.
10. MOREIRA NETO, R. F. Avaliação do aproveitamento de água pluvial em complexos aeroportuários. 2011. 87 f. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 2011.
11. MURAKAMI, M. F.; MORUZZI, R. B. Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento de água pluvial empregando a filtração direta por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário. Ciência & Engenharia, v.22, n. 2, p. 37-45, jul./dez. 2003.
12. NAKADA, L. Y. K. Avaliação da qualidade de águas pluviais armazenadas e estudos de tratabilidade empregando filtro de pressão com diferentes meios filtrantes visando ao aproveitamento para fins não potáveis. 2012. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Bauru, SP, 2012.
13. NAKADA, L. Y. K.; MURAKAMI, M. F.; MORUZZI, R. B. Tratamento simplificado de águas pluviais visando aproveitamento para fins não potáveis. In: 14o Encontro Nacional de Saneamento Básico – Simpósio luso-brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto, Portugal, 2010.
14. PATERNIANI, J. E. S.; DA CONCEIÇÃO, C. H. Z. Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 1, n. 1, p. 17-24, jan./dez. 2004.
15. PETERS, M. R. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. 2006. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2006.
16. SCHUJMANN, O. S. Estudo da viabilidade técnica de utilização de geotêxteis não tecidos para filtração da água da chuva. 2010. 80 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 2010.
17. SOUZA, S. H. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, S. M.; PESSOA, S. G. S.; NÓBREGA, R. L. B. Avaliação da qualidade da água e da eficácia de barreiras sanitárias em sistemas para aproveitamento de águas da chuva. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 16, n. 3, p. 81-93, jul./set., 2011.
18. VALLE, J. A. B.; PINHEIRO, A.; CIPRIANO, R. F. P.; FERRARI, A. Aproveitamento de água de chuva: avaliação do seu tratamento para fins potáveis. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, MS. 2005.
19. VIEIRA, V. V. Aproveitamento de águas pluviais: influência do volume de descarte da filtração na qualidade da água. 2013. 71 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR, 2013.