

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
ENGENHARIA AMBIENTAL

**Estudo da viabilidade técnica de utilização de geotêxteis não
tecidos para filtração da água da chuva**

Aluno: Oliver Sototuka Schujmann

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Engenharia Ambiental da
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo.

São Carlos, SP

2010

OLIVER SOTOTUKA SCHUJMANN

**Estudo da viabilidade técnica de utilização de geotêxteis não
tecidos para filtração da água da chuva**

Monografia apresentada ao curso de
graduação em Engenharia Ambiental da
Escola de Engenharia de São Carlos da
Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel

São Carlos

2010

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

S278e Schujmann, Oliver Sototuka
Estudo da viabilidade técnica de utilização de
geotêxteis não tecidos para filtração da água da chuva /
Oliver Sototuka Schujmann ; orientador Luiz Antonio
Daniel. -- São Carlos, 2010.

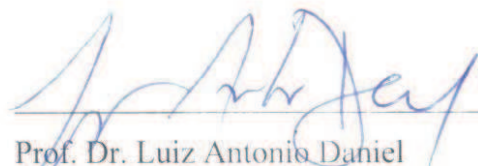
Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) --
Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade
de São Paulo, 2010.

1. Água pluvial - aproveitamento. 2. Filtração.
3. Geossintéticos. 4. Geotêxteis. I. Título.

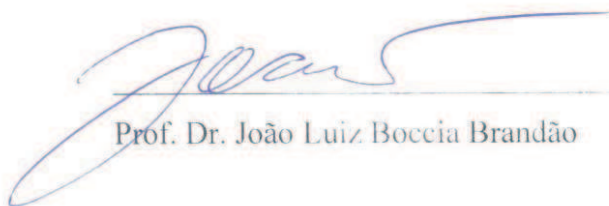
FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidato: Oliver Sototuka Schujmann

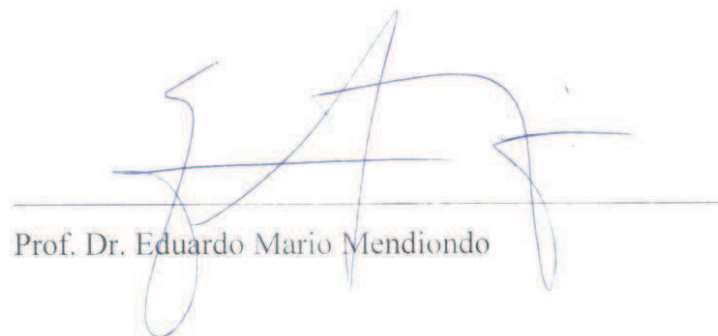
Monografia defendida e aprovada em: 06/10/2010 pela Comissão Julgadora:



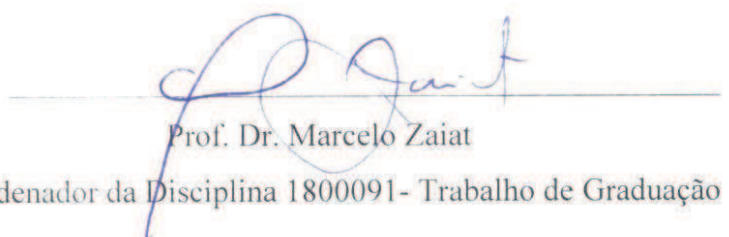
Prof. Dr. Luiz Antonio Daniel



Prof. Dr. João Luiz Boccia Brandão



Prof. Dr. Eduardo Mario Menciondo



Prof. Dr. Marcelo Zaiat
Coordenador da Disciplina 1800091- Trabalho de Graduação

À minha família e aos meus amigos.

Agradecimentos

Aos meus pais, Jorge e Regina, pela dedicação.

À minha irmã, Bárbara, pela companhia.

Aos meus amigos, que fazem a vida ser sempre melhor.

Aos professores do curso de Engenharia Ambiental, pelos conhecimentos transmitidos.

À Escola de Engenharia de São Carlos, pelos 5 anos de desenvolvimento.

Aos pesquisadores Wolney Castilho Alves e Luciano Zanella, que me apoiaram e colaboraram para a realização das pesquisas no IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo).

Ao professor Luiz Antonio Daniel, pelo apoio e conhecimento para a realização deste trabalho.

À Aline Chieka Jo e Wérica Cardoso Soares, pela ajuda durante as pesquisas.

Ao Luiz Antônio de Souza, pela experiência.

Resumo

SCHUJMANN, O. S. Estudo da viabilidade de utilização de geotêxteis não tecidos para filtração da água da chuva. Monografia apresentada ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade de geotêxteis como elemento filtrante em um sistema de aproveitamento da água da chuva, em substituição a um filtro de areia. Os testes laboratoriais confirmaram a eficiência do geotêxtil como meio filtrante e indicaram relação entre a eficiência de filtração, a altura da coluna d'água formada acima do filtro e as especificações dos elementos filtrantes. Para a melhor combinação de geotêxteis obteve-se eficiência média de remoção de turbidez de 66,7% e 56,1% com taxa de filtração média de 1270 e 1391 m³/m².d e coluna d'água de 10 e 15 cm, respectivamente. Geotêxteis não tecidos podem ser utilizados como elemento filtrante da água da chuva em substituição aos filtros de areia com eficiência superior a 50% na redução da turbidez, conforme testes laboratoriais. Os resultados obtidos, a facilidade de limpeza e os baixos custos desse material são fatores que colaboram para a indicação desse material como filtro em sistemas de aproveitamento de água de chuva e no desenvolvimento de protótipos.

Palavras-chave: Água pluvial - aproveitamento. Filtração. Geossintéticos. Geotêxteis.

ABSTRACT

SCHUJSMANN, O. S. Study of the availability of the utilization of non woven geotextiles as a filter of rainwater. Graduation Thesis presented under Environmental Engineering Graduation Course, University of São Paulo, São Carlos, 2010.

The objective of this study was to study the feasibility of geotextiles as a filter element in a rainwater harvesting system, replacing sand. Tests confirmed the efficiency of geotextiles as a filter and indicated the relation between the efficiency of filtration, the height of the water column formed above the filter and the specifications of the geotextile. For the best combination of geotextiles there was an average of turbidity removal of 66.7% and 56.1% with filtration rate of 1270 e 1391 m³/m².d and water column of 10 and 15 cm, respectively. Nonwoven geotextiles can be used as filter element in Rainwater harvesting systems to replace sand filters with efficiency higher than 50% reduction in turbidity according to laboratory tests. The removal results, the ease of cleaning and low costs of geotextiles are factors that contribute to the indication of this material as filter in rainwater harvesting systems and the development of prototypes.

Key words: Rainwater - harvesting. Filtration. Geosynthetics. Geotextiles.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	REVISÃO DA LITERATURA	10
2.1	APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA	10
2.2	APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA PELO MUNDO	13
2.3	USO DA ÁGUA DA CHUVA EM EDIFICAÇÕES	16
2.4	LEI N° 13.276 DE 2002 – “LEI DAS PISCININHAS”	17
2.5	RETENÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA EM LOTES	18
2.6	QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA PARA APROVEITAMENTO	19
2.7	ÁGUA DE REÚSO DA SABESP	26
2.8	FILTRAÇÃO RÁPIDA	27
2.9	GEOSSINTÉTICOS	28
2.10	GEOTÊXTEIS	29
2.11	PERMEABILIDADE (K_n) E PERMISSIVIDADE (Ψ)	32
2.12	ABERTURA DE FILTRAÇÃO – O_{95}	32
2.13	POROSIDADE	33
2.14	SUPERFÍCIE ESPECÍFICA	33
2.15	CRITÉRIO DE RETENÇÃO	34
2.15.1	CRITÉRIO DE CHRISTOPHER & HOLTZ	35
2.15.1.1	REQUISITOS DA ABERTURA DE FILTRAÇÃO PELO CRITÉRIO DE CHRISTOPHER & HOLTZ	35
2.15.1.2	REQUISITOS DE PERMEABILIDADE PELO CRITÉRIO DE CHRISTOPHER & HOLTZ	36
2.15.1.3	REQUISITOS DE PERMISSIVIDADE (Ψ) PELO CRITÉRIO DE CHRISTOPHER & HOLTZ	37
2.16	TURBIDEZ	37

	8
2.17 MATERIAL PARTICULADO	38
2.18 FILTRAÇÃO LENTA E MANTAS NÃO TECIDAS	39
3 OBJETIVOS	40
4 MATERIAIS E MÉTODOS	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
6 CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXOS	73

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o país com maior disponibilidade hídrica do mundo, com cerca de 13,8% do deflúvio médio mundial. No entanto, apresenta uma grande variação espacial e temporal de precipitação. As bacias que se localizam em áreas de baixa disponibilidade hídrica e grande utilização dos recursos hídricos passam por escassez e estresse hídrico. Independente da disponibilidade que ocorra em uma região, a água, como um recurso natural e vital à vida, deve ser preservada (ANA, 2009).

São várias as formas de preservação que podem amenizar esse estresse ou servir como fonte auxiliar de água. A redução de consumo e conseqüente retirada de água dos reservatórios naturais é uma delas, que pode ser obtida pela substituição de outras fontes.

Nesse contexto, a captação de água de chuva torna-se uma medida possível de ser adotada com o propósito de aproveitar a água que seria simplesmente desprezada. No entanto, essa água muitas vezes exige um sistema de tratamento mínimo, pois segundo Gonçalves (2006) e Houston *et al* (2009), a qualidade da água da chuva é afetada pela qualidade do ar da região, além de partículas poderem se acumular em telhados e áreas de captação da água da chuva, prejudicando sua qualidade.

Propõe-se, portanto, a utilização de geotêxteis não tecidos como uma alternativa ao filtro de areia presente em um sistema de aproveitamento de água de chuva. Geotêxteis não tecidos são mantas sintéticas fabricadas a partir de polímeros ou fibras naturais entrelaçadas de forma aleatória e são utilizados principalmente em projetos geotécnicos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA

O aproveitamento da água de chuva propicia, além de benefícios de conservação de água e educação ambiental, a redução do escoamento superficial e a consequente redução da carga nos sistemas de coleta de águas pluviais e o amortecimento dos picos de enchentes, contribuindo para a redução das inundações (ANA/FIESP; SINDUSCON-SP, 2005, e MAY, 2004).

A água pluvial é coletada em áreas impermeáveis, como telhados, pátios ou áreas de estacionamentos e, em seguida, encaminhada a reservatórios. Antes ou após a reservação, a água deve passar por tratamento até atingir os níveis de qualidade da água para o uso definido. Pode existir, ainda, a necessidade de instalações hidráulicas com o propósito de conduzir a água de chuva aos pontos de utilização (ANA, 2005, e HELMREICH; HORN, 2009).

As medidas de reservação para aproveitamento de águas pluviais, apesar de eficazes para o uso domiciliar, só resultarão em ganhos perceptíveis à bacia hidrográfica se sua utilização for realizada em grande escala. Nesse sentido, políticas de incentivo à sua adoção devem ser criadas e fiscalizações devem ser feitas para garantir a implementação dos sistemas nos domicílios.

May (2004) relata que o sistema de aproveitamento da água da chuva pode ser aplicado em sistemas de ar-condicionado, na lavagem de vasos sanitários, sistema de controle de incêndio, lavagem de veículos, lavagem de pisos e na irrigação de jardins. Nas indústrias e estabelecimentos comerciais, a água da chuva pode ser utilizada para resfriamento de telhados e máquinas, lavanderia industrial, climatização interna, lavagem de caminhões, carros e ônibus e limpeza industrial.

Até o momento não existem padrões de qualidade definidos no Brasil para a utilização de água de chuva para fins não-potáveis, entretanto estes parâmetros serão sugeridos pela ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), em norma específica, a qual se encontra em fase de consulta nacional.

Normas de diversos países propõem métodos de captação e de quantificação de água de chuva. No Brasil, para a definição da área de coleta nos telhados é estabelecida a norma NBR 10.844, de 1989: Instalações prediais de águas pluviais. Outra norma sobre o assunto da ABNT é a NBR 15.527, de 2007: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos.

Existem diversos modelos de sistemas de aproveitamento de água de chuva, que variam de acordo com a necessidade do usuário e as possibilidades de implantação do sistema. De maneira geral, considerando-se os usos mais comuns em edifícios, são empregados sistemas de tratamento compostos de unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção com cloro ou com luz ultravioleta. Eventualmente podem ser utilizados sistemas que proporcionem níveis de qualidade mais elevados, como unidades de coagulação e floculação com produtos químicos, sedimentação acelerada e sistemas de oxidação avançada, entre outros (ANA/FIESP & SINDUSCON-SP, 2005, e HELMREICH; HORN, 2009).

Um sistema básico de aproveitamento de água da chuva pode ser composto por: coleta, separação de materiais grosseiros (por exemplo, folhas e galhos), reservatório de descarte, sistemas de tratamento, reservatório de armazenamento e rede de distribuição da água tratada. Tal água teria a finalidade de uso não potável, segundo classificação da ANA (2005), descrita adiante.

Na Figura 1 é apresentado, de forma simplificada, um fluxograma de um sistema de aproveitamento de água pluvial.

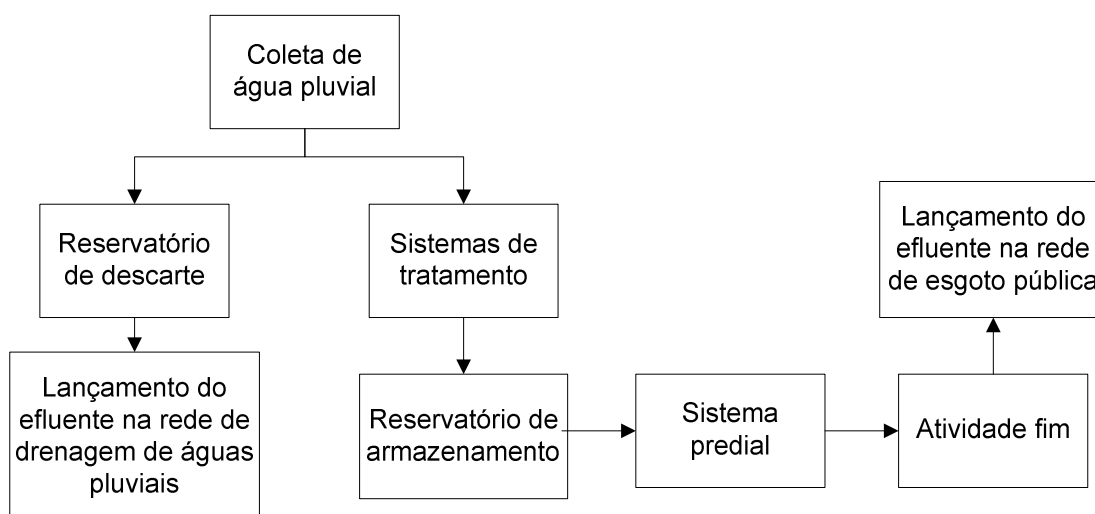


Figura 1 – Exemplo de fluxograma de um sistema de aproveitamento da água pluvial (ANA, 2005).

De acordo com a norma NBR 15.527, o volume não aproveitável da água de chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser infiltrado total, ou parcialmente, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático, a critério da autoridade local competente.

Segundo Gonçalves (2006), a qualidade da água de chuva é afetada pela qualidade do ar, dependendo das atividades desenvolvidas na região de influência do projeto, sejam elas agrícolas, industriais, de mineração, ou ainda, de fontes móveis, como automóveis. Além disso, fenômenos de deposição seca na superfície de captação levam à sedimentação e ao acúmulo de poluentes atmosféricos, o que diminui a qualidade da água de chuva na maioria das vezes. Por isso, como afirmam ANA/FIESP & SindusCon-SP (2005), May (2004), Hespanhol *et al* (2007) e Houston *et al* (2009), há a recomendação de se descartar a “água da primeira chuva” (primeiros milímetros da chuva inicial). O volume do reservatório de descarte é determinado em função da qualidade da água durante as fases iniciais de precipitação, que ocorrem após diferentes períodos de estiagem. Frequentemente, há a contaminação por meio das fezes de pássaros, ratos e gatos.

A norma NBR 15.527 estabelece que o dispositivo de descarte deve ser dimensionado pelo projetista e, quando na situação de falta de dados, recomenda-se o descarte de 2 mm da precipitação inicial.

Ghisi *et al* (2006) estudaram cenários de disponibilidade de água no estado de Santa Catarina, Sul do Brasil, e avaliaram o potencial de economia de água em residências de 62 cidades. A precipitação média anual é de 1.700 mm e a disponibilidade hídrica do estado no ano de 2005 era de cerca de 10.000 m³ per capita por ano, mas esse parâmetro deve atingir valores menores que 2.000 m³ por habitante por ano para o ano de 2100, segundo estimativas do trabalho. O potencial estimado de economia de água potável é de cerca de 69%, variando entre 34 e 92%, dependendo da demanda por água potável nas cidades estudadas.

Segundo Shaaban e Feng (2007), para se assegurar uma boa qualidade da água da chuva coletada e utilizada, é necessário efetuar manutenção periódica nos equipamentos de captação da água de chuva. Alguns aspectos pertinentes para a realização da manutenção são:

- a. Área de coleta: retirada regular de folhas, lixo e excrementos de animais, como ratos, gatos e aves;
- b. Filtros e tubulações: checar e limpar periodicamente, evitando-se obstruções e o crescimento de algas;
- c. Reservatórios: inspeção duas vezes por ano. O interior deve ser limpo quando necessário; e
- d. Equipamentos: materiais mecânicos, como bombas, devem ser checados pelo menos a cada três meses. Outros equipamentos podem ser inspecionados a cada seis meses.

2.2 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DE CHUVA PELO MUNDO

Abdulla e Al-Shareef (2009) realizaram estudos do potencial de aproveitamento da água de chuva, e sua qualidade, na Jordânia. A água é escassa no país e os usos já superam a oferta. Os resultados mostraram que era possível captar 5,6% da demanda doméstica de 2005 através dos telhados das casas, o que equivale a cerca de 15,5 milhões de metros cúbicos para 50,7 km² de área de

captação. A maior parte das amostras atendeu os padrões para compostos inorgânicos da WHO (World Health Organization) para água potável, mas apresentaram valores acima do permitido para coliformes fecais.

Com regiões podendo atingir índices pluviométricos elevados, da ordem de 2000 mm/ano, a Irlanda caracteriza-se como um grande potencial para aproveitamento da água da chuva. Cerca de 6% da demanda residencial irlandesa por água é utilizada para fins de consumo e no preparo de alimentos. Em seus estudos, Li *et al* (2010) chegaram à conclusão de que é possível atender aos 94% restantes da demanda domiciliar com água da chuva, através da implantação de sistemas de coleta e armazenamento de água de chuva e reúso de águas cinzas. A adoção dessa prática traria como resultados a redução do consumo de água tratada do sistema público, a redução das águas destinadas ao sistema de águas pluviais, reduzindo a chance de enchentes, e o aumento da economia com as contas de água. Um sistema típico domiciliar de coleta de água de chuva na Irlanda é apresentado na Figura 2.

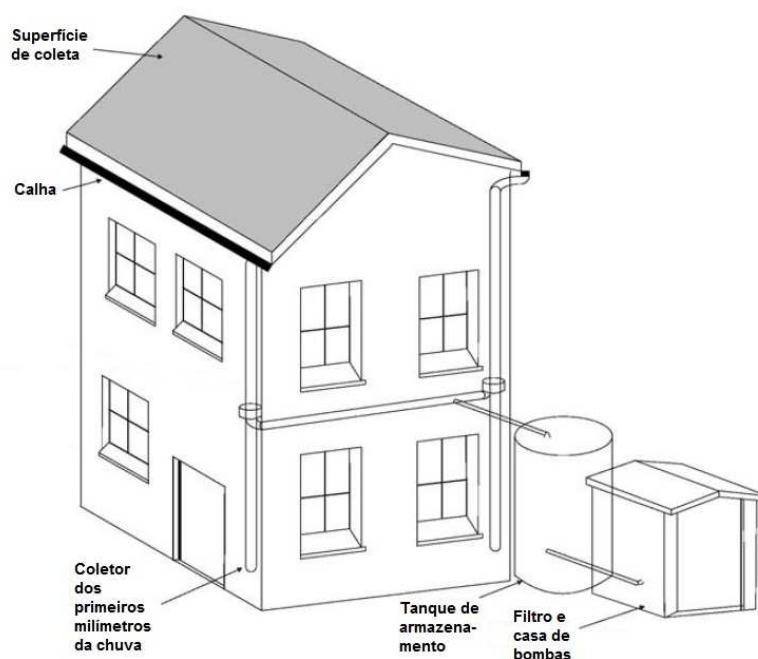


Figura 2 - Sistema típico de coleta de água de chuva em residências na Irlanda. Fonte: Li *et al* (2010) .

Na Alemanha, o aproveitamento de água da chuva passou a ter maior destaque há cerca de 15 ou 20 anos, segundo Herrmann e Schmida (1999). Há no mercado alemão mais de 100 fabricantes de produtos dessa área, sendo que já foram instalados de forma descentralizada mais de 100.000 tanques de armazenamento de água de chuva, que juntos possuem capacidade de armazenagem de mais de 600.000 m³. Os dois principais benefícios apresentados pelo autor são os de diminuição da vazão afluente aos sistemas de drenagem e o custo-benefício do uso da água da chuva. Os modelos elaborados pelos autores demonstram que o aproveitamento da água da chuva pode, significativamente, reduzir o consumo de água potável nas residências.

Farahbakhsh *et al* (2009) analisaram a situação do Canadá frente ao aproveitamento de água de chuva. A prática era uma medida comum no país, mas o abastecimento centralizado de água municipal e as exigências do código de construção reduziram significativamente sua adoção. O governo optou por adotar medidas que favorecessem a adoção de sistemas de captação de água pluvial nos chamados “*green buildings*” (“prédios verdes”), que são edificações que procuram adotar as práticas que prejudiquem menos o meio ambiente, desde seu projeto até sua manutenção. Os autores destacam que há barreiras que interferem num uso mais difundido das águas pluviais. Entrevistas foram realizadas com representantes de órgãos do governo e da sociedade civil e as principais barreiras levantadas foram: custo de construção do sistema de captação; responsabilidade pela implementação de projetos; restrição de normas estaduais, como o *Ontario Building Code*; e falta de conhecimento e aceitação pública sobre o assunto. Dessa forma, os autores destacam que a falta de adequado conhecimento nos níveis sociais, institucionais e individuais é a principal limitante da popularização e disseminação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais no país.

Segundo Traves *et al* (2008), a Austrália tem vivenciado grandes desafios, como o crescimento populacional e as mudanças climáticas, aumentando a demanda do sistema de abastecimento de água. Zhang *et al* (2009) avaliaram 4 cidades australianas quanto a viabilidade de aproveitamento de águas pluviais e os respectivos tanques de armazenamentos mais adequados para cada uma. Sidney apresentou-se como a cidade com maior potencial de captação e atendimento às demandas domiciliares devido às chuvas mais freqüentes que as demais cidades.

Melbourne, Darwin e Perth apresentaram resultados bons, mas em geral as maiores demandas por água não coincidiram com as épocas de maiores precipitações, necessitando de maiores estudos a respeito das melhores dimensões dos tanques. Apesar disso, a captação de água pluvial nas quatro cidades traria efeitos positivos de redução de consumo de água potável do sistema de abastecimento e também diminuiria a pressão no sistema de drenagem de águas pluviais.

2.3 USO DA ÁGUA DA CHUVA EM EDIFICAÇÕES

Segundo Gonçalves (2006), o consumo de água residencial pode constituir mais da metade do consumo total de água nas áreas urbanas. Na região metropolitana de São Paulo, por exemplo, o consumo de água residencial corresponde a mais de 80% do consumo total urbano (incluindo também o consumo em pequenas indústrias).

O consumo de água residencial inclui tanto o uso interno quanto o uso externo às residências. As principais responsáveis pelo uso interno são as atividades de limpeza e higiene, enquanto que o externo deve-se a irrigação de jardins, lavagem de áreas externas, lavagem de veículos e piscinas, entre outros. Estudos realizados no Brasil e no exterior demonstram que dentro de uma residência o maior consumo de água concentra-se na descarga dos vasos sanitários, na lavagem de roupas e nos banhos. Em média, 40% do total de água consumida em uma residência são destinados aos usos não potáveis (GONÇALVES, 2009).

Fewkes (1999) realizou um estudo sobre a utilização de águas pluviais nas descargas de bacias sanitárias no Reino Unido. No país, cerca de 30% do uso doméstico de água potável serve a esse fim e à limpeza de resíduos diversos. Segundo Su *et al* (2009), 50 L de água potável per capita são gastos diariamente para o mesmo fim em Taipei, o que corresponde a 20% do consumo diário domiciliar. Na Austrália, segundo Zhang *et al* (2009), o consumo domiciliar de água potável para esse fim chega a 12 %.

Villareal e Dixon (2005) apresentam que na Suécia, 20% do consumo domiciliar de água são gastos nas descargas de bacias sanitárias, 15% para lavagem de roupas e 10% na lavagem de carros e limpezas em geral.

2.4 LEI N° 13.276 DE 2002 – “LEI DAS PISCININHAS”

Não há Legislação Federal vigente que aborde a retenção de água da chuva em lotes, mas em 4 de janeiro de 2002 foi promulgada, para o município de São Paulo, a Lei n° 13.276. Também conhecida como “Lei das Piscininhas”, em seu artigo 1°, obriga a construção de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes edificadas ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500,00 m².

O artigo 2° apresenta a equação que deve ser utilizada como base para cálculo da capacidade do reservatório, conforme equação 1.

$$V = 0,15A_iIPt \quad (1)$$

V = volume do reservatório (m³)

A_i = área impermeabilizada (m²)

IP = índice pluviométrico igual a 0,06 m/h

t = tempo de duração da chuva igual a uma hora.

A Lei estipula que a água contida no reservatório deverá ser preferencialmente infiltrada no solo, podendo ser despejada na rede pública de drenagem após uma hora de chuva ou, então, ser conduzida para outro reservatório para ser utilizada para fins não potáveis.

Além disso, estabelece que estacionamentos em terrenos autorizados, existentes e futuros, deverão ter 30% de sua área com piso drenante ou com área naturalmente permeável.

Após sua promulgação, outras cidades do Brasil também passaram a estudar a criação de leis semelhantes. Apesar da boa iniciativa, não há diretrizes de uso e condições para uso dessa água que pode ser armazenada para fins não potáveis.

2.5 RETENÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA EM LOTES

O processo de urbanização de áreas leva a um aumento da impermeabilização dos lotes, gerando condições críticas de escoamento que não existiam originalmente na bacia hidrográfica, favorecendo a ocorrência de enchentes a jusante. Além disso, a atual prática de projetos de drenagem pluvial tem sido a de transportar para jusante todo o excesso de água causado pela impermeabilização. Assim, à medida que excesso do escoamento se desloca para jusante, novos aumentos de volume são acrescidos, resultando em acréscimos significativos na vazão máxima. As medidas de controle têm sido canalizar os trechos de baixa capacidade de escoamento, o que agrava ainda mais o problema a jusante (TUCCI; MARQUES, 2000).

Uma possibilidade para resolver tal condição é minimizar o volume de água escoada para o sistema de drenagem através do escoamento superficial dirigido ou controlado de águas pluviais precipitadas sobre o lote. Tal procedimento é caracterizado como drenagem na fonte.

Segundo Tucci e Marques (2000), dispositivos de armazenamento possibilitam o retardo do escoamento, atenuando o pico das vazões a jusante e possibilitando a recuperação da capacidade perdida pela bacia devido à impermeabilização. O armazenamento em nível dos lotes pode ser realizado através de pequenos reservatórios residenciais, que podem ser utilizados também para armazenar água para lavagem de superfícies ou automóveis e irrigação de grama.

Tucci e Marques (2000) apresentam algumas vantagens de dispositivos de armazenamento em lotes de águas pluviais:

- Problemas são resolvidos na origem (nos lotes, por exemplo);

- Previnem impactos adversos da urbanização, restaurando o armazenamento natural perdido;
- Não transfere para jusante o impacto de impermeabilização;
- O sistema é equitativo, já que coloca a responsabilidade do controle para quem implementa a urbanização e se beneficia dela;
- Regras simples e efetivas podem ser desenvolvidas com base em modelos; e
- Controle da qualidade da água.

Algumas desvantagens apresentadas pelos mesmos autores são:

- A manutenção é o maior problema, pois são criadas obrigações aos proprietários;
- Não contribui para a redução de poluentes presentes nos sedimentos; e
- O sistema não é economicamente eficiente.

2.6 QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA PARA APROVEITAMENTO

Devido à inexistência de parâmetros de qualidade para o aproveitamento da água da chuva, pode-se utilizar como referência as classes de água de reúso de ANA (2005).

As águas para reúso são divididas em quatro classes, conforme os seus usos preponderantes. Para as águas de reúso de Classe 1, prevê-se o uso em bacias sanitárias, uso para fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água, etc.), lavagem de pisos e lavagem de roupas e de veículos. Já na Classe 2, os usos são associados às fases de construção da edificação, como lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira. Com as águas de reúso de Classe 3, os usos preponderantes são: irrigação de áreas verdes e rega

de jardins. Para as águas de Classe 4, o uso pretendido é o resfriamento de equipamentos de ar condicionado e torres de resfriamento (ANA, 2005).

Segundo ANA (2005), cada classe de reúso requer algumas exigências mínimas, conforme exposto a seguir.

A água para irrigação, rega de jardim e lavagem de pisos, não deve:

- apresentar mau-cheiro;
- conter componentes que agriam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas;
- ser abrasiva;
- manchar superfícies; e
- propiciar infecções ou a contaminação por vírus, bactérias, protozoários e helmintos prejudiciais à saúde humana.

A água para descarga em bacias sanitárias, não deve:

- apresentar mau-cheiro;
- ser abrasiva;
- manchar superfícies;
- deteriorar os metais sanitários; e
- propiciar infecções ou a contaminação por vírus, bactérias, protozoários e helmintos prejudiciais à saúde humana.

A água para refrigeração e sistema de ar condicionado, não deve:

- apresentar mau-cheiro;
- ser abrasiva;
- manchar superfícies;
- deteriorar máquinas; e

- formar incrustações.

A água para lavagem de veículos, não deve:

- apresentar mau-cheiro;
- ser abrasiva;
- manchar superfícies;
- conter sais ou substâncias remanescentes após secagem; e
- propiciar infecções ou a contaminação por vírus, bactérias, protozoários e helmintos prejudiciais à saúde humana.

A água para lavagem de roupa:

- deve ser incolor;
- não deve ser turva;
- não deve apresentar mau-cheiro;
- deve ser livre de algas;
- deve ser livre de partículas sólidas;
- deve ser livre de metais;
- não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos; e
- propiciar infecções ou a contaminação por vírus, bactérias, protozoários e helmintos prejudiciais à saúde humana.

A água para uso ornamental:

- deve ser incolor;
- não deve ser turva;
- não deve apresentar mau-cheiro;
- não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos; e

- propiciar infecções ou a contaminação por vírus, bactérias, protozoários e helmintos prejudiciais à saúde humana.

Água para uso em construção civil: na preparação de argamassas, concreto, controle de poeira e compactação de solo, não deve:

- apresentar mau-cheiro;
- alterar as características de resistência dos materiais;
- favorecer o aparecimento de eflorescências de sais; e
- propiciar infecções ou a contaminação por vírus, bactérias, protozoários e helmintos prejudiciais à saúde humana.

Com as características apresentadas verifica-se que os principais aspectos são relativos à segurança, tanto de saúde, quanto física, devido ao contato de seres humanos com a água de reúso e aos aspectos estéticos. Os parâmetros mais importantes propostos pela ANA (2005) a serem verificados em cada uma das quatro classes de água de reúso (para fins não potáveis) estão presentes nas Tabelas 1 a 4.

Tabela 1 - Parâmetros característicos para água de reúso classe 1 (ANA, 2005)

Parâmetros	Concentrações
Coliformes fecais ¹	Não detectáveis
pH	Entre 6,0 e 9,0
Cor	≤ 10 UH
Turbidez	≤ 2 UT
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas	≤ 1 mg/L
DBO ²	≤ 10 mg/L
Compostos orgânicos voláteis ³	Ausentes
Nitrato	< 10 mg/L
Nitrogênio amoniacal	≤ 20 mg/L
Nitrito	≤ 1 mg/L
Fósforo total ⁴	≤ 0,1 mg/L
Sólido suspenso total (SST)	≤ 5 mg/L
Sólido dissolvido total ⁵ (SDT)	≤ 500 mg/L

1. Parâmetro prioritário para os usos considerados.

2. O controle da carga orgânica biodegradável evita a proliferação de microrganismos e cheiro desagradável, em função do processo de decomposição, que podem ocorrer em linhas e reservatórios.

3. O controle deste composto visa evitar odores desagradáveis, principalmente em aplicações externas em dias quentes.

4. O controle de formas de nitrogênio e fósforo visa evitar a proliferação de algas e filmes biológicos, que podem formar depósitos em tubulações, peças sanitárias, reservatórios, tanques etc.

5. Valor recomendado para lavagem de roupas e veículos.

Tabela 2 - Parâmetros característicos para água de reúso classe 2 (ANA, 2005)

Parâmetros	Concentrações
Coliformes fecais	≤ 1000 NMP*/ mL
pH	Entre 6,0 e 9,0
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas	≤ 1 mg/L
DBO	≤ 30 mg/L
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes
Sólidos suspensos totais (mg/L)	30 mg/L

* Número mais provável

Tabela 3 - Parâmetros característicos para água de reúso classe 3 (ANA, 2005)

Parâmetros	Concentrações
pH	Entre 6,0 e 9,0
Salinidade	$0,7 < EC(dS/m) < 3,0$, $450 < SDT(mg/L) < 1500$
Nitrogênio total	5 - 30 mg/L
Turbidez	< 5 UT
Cor aparente	< 30 UH
Coliformes fecais	≤ 200 NMP*/ 100 mL

* Número mais provável

Tabela 4 - Variáveis de qualidade de água recomendados para o uso em torres de resfriamento (ANA, 2005)

Variável(*)	Sem recirculação	Com recirculação
Sílica	50	50
Alumínio	Sem referência	0,1
Ferro	Sem referência	0,5
Manganês	Sem referência	0,5
Amônia	Sem referência	1
Sólidos Dissolvidos Totais	1000	500
Cloretos	600	500
Dureza	850	650
Alcalinidade	500	350
Sólidos em Suspensão Totais	5000	100
pH	5,0 – 8,3	6,8 – 7,2
Coliformes Totais (NMP/100 mL)	Sem referência	2,2
Bicarbonato	600	24
Sulfato	680	200
Fósforo	SR	1
Cálcio	200	50
Magnésio	Sem referência	30
Oxigênio dissolvido	Presente	Sem referência
DQO	75	75

(*) Unidade de referência: mg/L, a menos que indicado.

A NBR 15.527 descreve que os padrões de qualidade podem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista. A norma sugere ainda padrões de qualidade de águas pluviais para usos mais restritivos, mas não potáveis. A Tabela 5 apresenta os padrões de qualidade de águas pluviais estabelecidos na NBR 15.527.

Tabela 5 – Parâmetros de qualidade de águas pluviais para usos não restritivos não potáveis, segundo a norma NBR 15.527.

Parâmetros	Análise	Faixa
Coliformes totais	Semanal	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semanal	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT, para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja usado nenhum corante, ou antes, da sua utilização)	Mensal	< 15 uH
Deve prever ajuste do pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço, carbono ou galvanizado

Nota: para desinfecção, a critério do projetista, pode-se utilizar derivado clorado, raios ultravioleta, ozônio e outros. Em aplicações onde é necessário um residual desinfetante deve ser usado derivado clorado.

Fonte: NBR 15.527.

2.7 ÁGUA DE REÚSO DA SABESP

Outra iniciativa em prol da economia de água potável para fins menos nobres é um projeto idealizado pela Sabesp, que propõe a venda de água de reúso a um preço menor que a potável. Essa água é obtida através de tratamentos avançados dos esgotos gerados pelos imóveis conectados à rede coletora de esgotos.

Produzida em Estações de Tratamento de Esgoto, pode ser utilizada para diversas finalidades, como refrigeração de equipamentos, limpeza de praças e ruas e aproveitamento em processos industriais Sabesp (2010).

A importância da água de reúso está em conservar a água presente em mananciais. Indústrias, empresas de construção civil, prefeituras, comércio e transportadoras podem comprar essa água através da Sabesp. A tarifa cobrada pela água depende da qualidade da mesma.

Sabesp (2010) sugere alguns usos, para empresas, da água de reúso:

- Preparação e cura de concreto em canteiros de obra;
- Assentamento de poeira em obras de construção civil;
- Limpeza de pisos, galerias de águas pluviais ou pátios;
- Desobstrução de rede de esgotos e águas pluviais;
- Combate a incêndios; e
- Refrigeração de equipamentos.

No entanto, a empresa adverte que embora tenha aparência semelhante à água potável, a água de reúso não é potável, sendo seu uso impróprio para:

- Descargas de vasos sanitários;
- Irrigação de hortas (somente sob avaliação de técnicos da Sabesp);
- Lava-rápidos (somente sob avaliação de técnicos da Sabesp); e
- Piscinas, exceto para testes de estanqueidade (como impermeabilização e detecção de vazamentos), desde que, posteriormente, a área passe por desinfecção.

2.8 FILTRAÇÃO RÁPIDA

A filtração consiste no escoamento de um líquido através de um meio poroso, geralmente visando a remoção de microrganismos e de partículas suspensas e coloidais presentes no líquido. A filtração é, em geral, a principal responsável pela produção de água que atenda ao padrão de potabilidade, pois é o processo final de remoção de impurezas realizado em uma estação de tratamento de água. Há necessidade da lavagem do filtro após certo tempo de funcionamento, geralmente realizada por meio da introdução de água no sentido ascensional (no caso da

filtração descendente) com velocidade relativamente alta para promover a fluidificação parcial do meio granular com liberação das impurezas (DI BERNARDO, 2003).

As estações de ciclo completo representam a maioria das Estações de Tratamento de Água (ETAs) existentes no Brasil e, como observa Mbvette e Graham (1987), citado por Pádua (1999), o interesse pela utilização da tecnologia de filtração lenta nas comunidades urbanas decresceu após a introdução dos filtros rápidos de areia, nos anos de 1880.

2.9 GEOSSINTÉTICOS

Geossintéticos são produtos poliméricos industrializados, desenvolvidos para aplicações em obras geotécnicas, desempenhando uma ou mais funções, entre as quais destacam-se: reforço, drenagem, filtração, separação e controle de erosão superficial (VERTEMATTI, 2004).

Exemplos de geossintéticos são: geocélula, geocomposto, georrede, geoespaçador, geofôrma, geogrelha, geomanta, geomembrana, geotêxtil e geotubo. Podem ser fabricados utilizando-se diversos polímeros, como polietileno, polipropileno, poliéster, poliamida, polivinil, variando-se conforme a necessidade a proporção de polímeros no geossintético. Materiais naturais, como fibra de coco e algodão também podem ser utilizados.

Em projetos de engenharia, as aplicações de geossintéticos são diversas e cada tipo possui funções determinadas. A Tabela 6 apresenta o emprego de alguns geossintéticos para atender as suas funções nos projetos.

Tabela 6 – Funções de alguns geossintéticos em projetos de engenharia (VERTEMATTI, 2004)

Geossintético	Separação	Proteção	Filtração	Drenagem	Erosão	Reforço
Geotêxtil	X	X	X	X	X	X
Geogrelha	X	-	-	-	-	X
Geomembrana	X	-	-	-	-	-
Georrede	-	X	-	X	-	-
Geocélula	-	-	-	-	X	X
Geotubo	-	-	-	X	-	-
Geofibras	-	-	-	-	-	X

No Brasil, os geossintéticos são empregados de forma mais intensa em obras de drenagem e filtração, além das outras funções já listadas. Um material é considerado como filtro quando permite a passagem da água, ou outro fluido qualquer, mas retém os sólidos. Já um dreno deve permitir a passagem de líquidos com a menor perda de carga hidráulica possível (VERTEMATTI, 2004).

2.10 GEOTÊXTEIS

Geotêxteis são mantas permeáveis, flexíveis e finas produzidas a partir de fibras sintéticas ou naturais. São produtos manufaturados a partir de diferentes polímeros, principalmente poliéster e polipropileno, em razão da resistência química e mecânica, e de variadas formas de fabricação (LIMA, 2003).

A estrutura do geotêxtil é dada pela sua técnica de fabricação, ou seja, no processo de combinação das fibras, o qual pode dar origem a três tipos: tecidos, não-tecidos e tricotados.

De acordo com Freitas (2003), geotêxteis tecidos são aqueles fabricados por processos de tecelagem, em que há entrelaçamentos ordenados das fibras, em geral, num ângulo de 90°, e, segundo Paterniani (1991), possuem espessura muito fina ($<1,0$ mm). Os não-tecidos são fabricados pela deposição aleatória de fibras (monofilamentos contínuos ou cortados) em uma esteira rolante, ficando a espessura do produto condicionada à velocidade de avanço da esteira. Os geotêxteis tricotados são oriundos do entrelaçamento de fios por tricotamento. A Figura 3 demonstra o arranjo estrutural de geotêxteis tecidos e não tecidos. Apesar de serem fabricados por processos industriais de tecelagem, visando a homogeneidade do tecido, percebe-se pela Figura 4 que há fios em menor concentração em algumas regiões do geotêxtil.

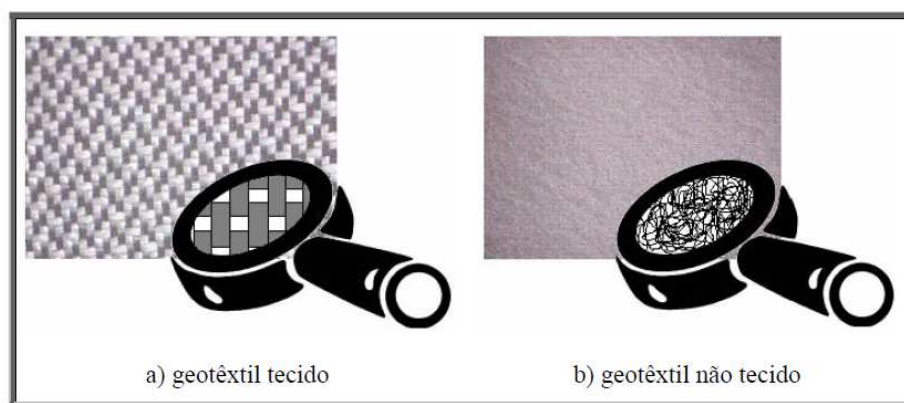


Figura 3 - Arranjo estrutural dos principais geotêxteis, tecidos e não tecidos (Benjamim, 2006).



Figura 4 - Amostra de geotêxtil exposta contra a luz

Em função do método de ligação das fibras dos geotêxteis não tecidos, esses podem ser agulhados, termoligados ou resinados. Quando agulhados, as fibras são interligadas mecanicamente por agulhamento; termoligados, as fibras são unidas por fusão parcial obtida por aquecimento; e resinados, são interligadas por resinas.

Segundo Freitas (2003), normalmente, para a função de filtração são utilizados geotêxteis não tecidos. Estes apresentam uma estrutura muito mais complexa que os tecidos, pois não atuam como uma simples interface, mas sim como um meio tridimensional, possuindo a espessura como parâmetro complementar. Vertematti (2004) lista as principais vantagens proporcionadas pelos geotêxteis como elemento filtrante, em relação a outros meios convencionais, como a areia:

- A espessura do filtro é menor;
- Características controladas e regulares, por se tratar de um produto industrial;
- Facilidade de instalação, manutenção e baixo custo.

2.11 PERMEABILIDADE (K_n) E PERMISSIVIDADE (Ψ)

A permeabilidade é uma propriedade hidráulica que permite avaliar a passagem do líquido em estudo através do meio filtrante. É medida em unidades de comprimento por unidade de tempo (cm/s, mm/dia) e é determinada, segundo ABINT (2001), pela norma francesa AFNOR G 38016.

Segundo Vertematti (2004), a permeabilidade na direção normal ao plano de geotêxteis, em geral, é muito elevada. Como os mesmos são susceptíveis a compressão, sua permeabilidade varia de acordo com a espessura. Dessa forma, para cada espessura resultante, o geotêxtil apresentará uma permeabilidade diferente.

Devido a esse comportamento, define-se a permissividade, que correlaciona a permeabilidade e a espessura (t) do geotêxtil sob determinada tensão física, no sentido transversal, como:

$$\Psi = \frac{k_n}{t} \text{ (s}^{-1}\text{)}, \quad (2)$$

k_n :permeabilidade

t :espessura do geotêxtil.

2.12 ABERTURA DE FILTRAÇÃO – O_{95}

Abertura de filtração refere-se ao diâmetro equivalente da maior partícula que pode atravessar o geotêxtil e é determinado por peneiramento úmido. Há duas normas típicas para determinação da abertura de filtração, a norma francesa AFNOR G 38017 e a norma brasileira PNBR 02.153.19-021/01.

De acordo com Vertematti (2004), nos ensaios padronizados pelas normas, o material fino que passa através do geotêxtil é submetido a um ensaio de granulometria conjunta para se definir sua curva granulométrica. O diâmetro

correspondente a 95% da porcentagem que passa é denominada “abertura de filtração”, ou O_{95} .

2.13 POROSIDADE

A porosidade de um geotêxtil é a relação entre o volume de vazios e o volume total do mesmo. Ela é relacionada com a habilidade de um líquido em passar através do geotêxtil, mas geralmente não é medida de forma direta. Ao invés disso, ela é calculada através de outras propriedades do material (KOERNER, 2005):

$$\varepsilon = 1 - \frac{g}{\rho \cdot e} \quad (3)$$

ε : porosidade (adimensional)

g : gramatura (massa por unidade de área, g/m²)

ρ : massa específica do geotêxtil (g/m³)

e : espessura do geotêxtil (m)

2.14 SUPERFÍCIE ESPECÍFICA

A superfície específica, de acordo com Di Bernardo (2003), pode ser obtida pela equação 4:

$$S_o = \frac{4(1 - \varepsilon)}{d_f} \quad (4)$$

S_O : superfície específica (m^2/m^3)

d_f : diâmetro das fibras (m)

2.15 CRITÉRIO DE RETENÇÃO

O critério de retenção garante que o geotêxtil seja suficientemente fechado para reter as maiores partículas (ABINT, 2001). É baseado no tamanho dos poros do geotêxtil e no diâmetro das partículas a serem retidas, segundo Pádua (1999), sendo apresentado sob a forma

$$O_f < \lambda_r d_i \quad (5)$$

O_f : tamanho maior que “f” % dos poros do geotêxtil (mm)

λ_r : coeficiente de retenção (adimensional)

d_i : tamanho do grão que corresponde à porcentagem ‘i’ do material que passa no ensaio granulométrico (m)

Segundo Christopher e Fischer (1992), o projeto de filtros com geotêxteis não tecidos em obras geotécnicas apresenta semelhanças em relação ao de filtros constituídos de meios granulares.

Palmeira e Gardoni (2000), citados por Vertematti (2004), indicam várias metodologias de cálculo para a utilização de geotêxteis em sistemas de filtração. Um dos critérios mais utilizados, particularmente nos Estados Unidos, é o critério de dimensionamento de Christopher & Holtz para retenção de finos aplicável à geotêxteis, descrito por Vertematti (2004).

2.15.1 CRITÉRIO DE CHRISTOPHER & HOLTZ

Esse critério leva em conta para dimensionamento a permeabilidade, a permissividade e abertura de filtração. Resume-se a seguir o critério:

2.15.1.1 REQUISITOS DA ABERTURA DE FILTRAÇÃO PELO CRITÉRIO DE CHRISTOPHER & HOLTZ

a) Para condições permanentes de fluxo

$$O_{95} \leq B \cdot d_{95}, \quad (6)$$

O_{95} : a abertura de filtração;

B : o coeficiente adimensional, que varia de 0,5 a 2,0 e depende das características do solo ou material a ser retido e do geotêxtil; e

d_{95} : o diâmetro das partículas de solo em contato com o geotêxtil correspondente a 95% passando.

Para areias, areias siltosas, areias argilosas (com menos de 50% dos grãos menores que 0,075 mm) e areias com pedregulhos, o coeficiente B é dado por:

- ❖ para $CU \leq 2$ ou $CU \geq 8 \Rightarrow B = 1$;
- ❖ para $2 \leq C_U \leq 4 \Rightarrow B = 0,5 \cdot C_U$;
- ❖ para $4 < C_U < 8 \Rightarrow B = 8/C_U$.

(C_U é o coeficiente de não-uniformidade do solo, $C_U = d_{60}/d_{10}$, em que d_{10} corresponde a 10% do material que passa e d_{60} a 60% do material que passa)

Se o solo a ser retido contém finos, usa-se somente a parcela de solo menor que 4,75 mm na seleção do geotêxtil.

Para argilas e siltes, com mais de 50% das partículas menores que 0,075 mm, o coeficiente B é função do tipo de geotêxtil:

- ❖ para geotêxteis tecidos, $B = 1$, com AOS (*Apparent Opening Size*) ou $O_{95} \leq 0,3\text{mm}$;
- ❖ para geotêxteis não tecidos, $B = 1,8$, com AOS ou $O_{95} \leq 0,3\text{mm}$;

b) Para condições intermitentes de fluxo:

Tem-se que:

$$O_{95} \leq 0,5 \cdot d_{85} \text{ mm} \quad (7)$$

2.15.1.2 REQUISITOS DE PERMEABILIDADE PELO CRITÉRIO DE CHRISTOPHER & HOLTZ

- ❖ Para situações não-críticas e condições pouco severas:

$$k_G \geq k_{\text{solo}}, \quad (8)$$

k_G : permeabilidade do geotêxtil

k_{solo} : permeabilidade do solo.

- ❖ Para situações críticas e sob condições severas:

$$k_G \geq 10 \cdot k_{\text{solo}} \quad (9)$$

- ❖ Para a possibilidade de colmatção biológica:

$$k_G \geq 100. k_{\text{solo}} \quad (10)$$

2.15.1.3 REQUISITOS DE PERMISSIVIDADE (Ψ) PELO CRITÉRIO DE CHRISTOPHER & HOLTZ

- ❖ $\Psi \geq 0,5 \text{ s}^{-1}$, para menos de 15% das partículas menores que 0,075 mm;
- ❖ $\Psi \geq 0,2 \text{ s}^{-1}$, para entre 15 e 50% das partículas menores que 0,075 mm;
- ❖ $\Psi \geq 0,1 \text{ s}^{-1}$, para mais de 50% das partículas menores que 0,075 mm.

2.16 TURBIDEZ

Segundo Von Sperling (2005), a turbidez representa o grau de interferência com a passagem da luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma. Os sólidos em suspensão são os constituintes responsáveis pela turbidez, sendo compostos de materiais diversos originados de emissões de poluentes, partículas de poeira, algas, partículas de rocha, argila e silte, erosão e material particulado. Os sólidos suspensos compreendem a faixa de 0,001 a 1 mm.

A importância da turbidez como parâmetro de qualidade da água se deve ao fato de poder estar associada a compostos tóxicos, organismos patogênicos, sólidos em suspensão que podem servir de abrigo para microrganismos patogênicos e pela estética desagradável.

2.17 MATERIAL PARTICULADO

CETESB (2009) define material particulado como um conjunto de poluentes constituídos de fumaças, poeiras e todo tipo de material sólido e líquido que se mantém suspenso na atmosfera por causa de suas dimensões. O tamanho das partículas está diretamente associado ao seu potencial para causar problemas à saúde, sendo que quanto menores maiores os efeitos provocados. O particulado pode também reduzir a visibilidade na atmosfera.

As principais fontes descritas de emissão de material particulado para a atmosfera são: processos industriais, veículos automotores, queima de biomassa, ressuspensão de poeira do solo, entre outros. O material particulado pode também se formar na atmosfera a partir de gases como dióxido de enxofre (SO_2), óxidos de nitrogênio (NO_x) e compostos orgânicos voláteis (COVs), que são emitidos principalmente em atividades de combustão, transformando-se em partículas como resultado de reações químicas no ar.

São definidas três classificações de materiais particulados: partículas totais em suspensão (PTS), partículas inaláveis e fumaça (FMC). As partículas totais em suspensão são aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 50 μm (micrometros). Parte destas partículas é inalável e pode causar problemas à saúde, outra parte pode afetar desfavoravelmente a qualidade de vida da população, interferindo nas condições estéticas do ambiente e prejudicando as atividades normais da comunidade.

As partículas inaláveis são as que apresentam diâmetro aerodinâmico menor que 10 μm . Podem ainda ser classificadas como partículas inaláveis finas – MP2,5 (<2,5 μm) e partículas inaláveis grossas (2,5 a 10 μm). As partículas finas, devido ao seu tamanho diminuto, podem atingir os alvéolos pulmonares, já as grossas ficam retidas na parte superior do sistema respiratório. A fumaça corresponde a partículas suspensas na atmosfera provenientes dos processos de combustão.

Os materiais particulados acumulados em superfícies de captação de água da chuva, assim como o presente na atmosfera, são carregados pela água. Esses

materiais são a principal causa de contaminação das águas pluviais e que precisam ser removidos para aproveitamento.

2.18 FILTRAÇÃO LENTA E MANTAS NÃO TECIDAS

Há na literatura estudos sobre a utilização de mantas sintéticas não tecidas em sistemas de filtração lenta. Seu uso se dá na retenção de partículas antes da camada de areia. Esses estudos utilizaram feltros e carpetes ao invés de geotêxteis não tecidos. Não foi encontrado nenhum estudo sobre a utilização de geotêxteis para tratamento da água da chuva.

O trabalho de Mbwete e Graham (1987), citado por Pádua (1999), é o pioneiro na utilização de mantas sintéticas para melhorar a eficiência de sistemas de filtração lenta.

No Brasil, Paterniani (1991) desenvolveu um estudo com a utilização de mantas sintéticas não tecidas no topo da camada de areia de filtros de abastecimento de água. O autor obteve aumento na retenção de impurezas e relevou a facilidade de manutenção e limpeza dos geotêxteis. Além disso, pôde concluir que o emprego desse material possibilita aumentos de 1,1 a 3,6 vezes na duração das carreiras de filtração. Ou seja, as mantas e a camada de areia poderiam ser limpas com menor frequência. Em seu estudo, as características e propriedades físicas das mantas sintéticas não tecidas sugerem que são bastante adequadas para filtração de água contendo partículas sólidas em suspensão, já que não se deterioram na água. E que, mesmo após três anos consecutivos, as mantas não apresentaram qualquer sinal de desgaste ou deterioração, demonstrando grande resistência e durabilidade para uso na filtração lenta.

Com relação à viabilidade econômica da utilização de mantas sintéticas na filtração lenta, o custo adicional referente à aquisição das mantas pode ser amortizado, se na instalação construída for considerada a redução da espessura da camada de areia e também da camada suporte, com conseqüente ganho na carga hidráulica (PATERNIANI, 1991).

Ferraz (2001) também obteve resultados positivos quando avaliou a substituição de pedregulhos da camada suporte por geotêxteis em sistemas de filtração lenta ascendente para águas de abastecimento. Os geotêxteis não prejudicaram a qualidade do efluente filtrado, em relação ao uso de pedregulho, e ainda propiciaram redução significativa no custo de implantação do sistema. A autora destaca a facilidade de limpeza dos geotêxteis com jatos d'água e os ganhos obtidos com carga hidráulica disponível para filtração.

A aplicação de mantas como meio filtrante também foi estudada por Cruz (1996). Nesse trabalho, avaliou-se a eficiência de um filtro de geotêxtil desenvolvido para a irrigação localizada, comparando-se com filtros de tela e de disco. Para todas as vazões estudadas, o filtro de geotêxtil apresentou os melhores resultados de remoção de sólidos suspensos.

3 OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade de geotêxteis não tecidos em substituição a um filtro de areia de sistema de filtração rápida de água de chuva e sua eficiência na melhoria da qualidade da água.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Na Figura 5 está representado o sistema de aproveitamento da água da chuva instalado no IPT. O escoamento se dá da parte mais elevada para a menos elevada.



Figura 5 - Sistema de aproveitamento da água da chuva instalado no IPT (1 – filtro de areia; 2 e 3 – reservatórios de coleta; 4 – reservatório de descarte; e 5 – filtro de material grosseiro).

O filtro de areia, com 10 cm de espessura, a ser substituído, é constituído por areia normalizada segundo a norma NBR 7.214, possuindo diâmetro entre 1,2 e 2,4 mm. O mesmo está instalado num recipiente circular (caixa d'água) com diâmetro igual a 0,9 m, cobrindo uma área de 0,64 m², conforme as Figuras 6 e 7.



Figura 6 - Instalação da areia no recipiente.



Figura 7 – Foto da areia instalada no recipiente de diâmetro externo igual a 0,9 m.

Para substituir o filtro de areia existente no sistema de aproveitamento de água de chuva, procuraram-se geotêxteis não tecidos no mercado. Há diversas empresas que os fabricam, como Ober S.A. Indústria e Comércio, Mexichem Bidim, Huesker Ltda., Allonda Geossintéticos Ambientais Ltda, Maccaferri do Brasil Ltda. e alguns distribuidores, como Ramalho Comercial. Inicialmente entrou-se em contato com algumas dessas empresas sobre a possibilidade de doação de amostras para serem avaliadas. A empresa Ober S.A. Indústria e Comércio e a distribuidora Ramalho Comercial aceitaram fornecer geotêxteis, necessitando somente saber quais. A distribuidora forneceu geotêxteis Bidim.

Pesquisou-se critérios de dimensionamento de geotêxteis para filtração, que indicam quais geotêxteis são aconselháveis ou não para cada caso. Vertematti (2004) apresenta alguns critérios, como o do CFGG (Comitê Francês de Geotêxteis e Geomembranas) e o de Christopher & Holtz. Este último foi utilizado nesta pesquisa por ser o mais empregado na América do Norte, segundo Vertematti (2004), e por ser o que melhor se enquadrava nas condições de realização dos ensaios e as condições de tempo das pesquisas.

Devido à dificuldade de generalização a respeito da curva granulométrica dos sólidos a serem retidos, que variam em função de uma série de características da área de coleta da água da chuva e da região onde o sistema está instalado, a permeabilidade, um dos critérios de Christopher & Holtz, não pôde ser levada em consideração.

Para estudar a viabilidade do uso de geotêxteis na filtração de água da chuva, baseado na remoção de turbidez e taxa de filtração, utilizaram-se os seguintes equipamentos e materiais:

- a. Turbidímetro AP200 – PoliControl;
- b. Carvão ativado em pó;
- c. Geotêxtil não tecido Bidim RT 07;
- d. Geotêxtil não tecido Bidim RT 14;
- e. Geotêxtil não tecido Bidim RT 31;
- f. Geotêxtil não tecido Ober GeoFort GF7/130;
- g. Geotêxtil não tecido Ober GeoFort GF14/250;
- h. Geotêxtil não tecido Ober GeoFort GF31/600;

Para a realização dos ensaios, foi desenvolvido o equipamento apresentado nas Figuras 8 e 9.

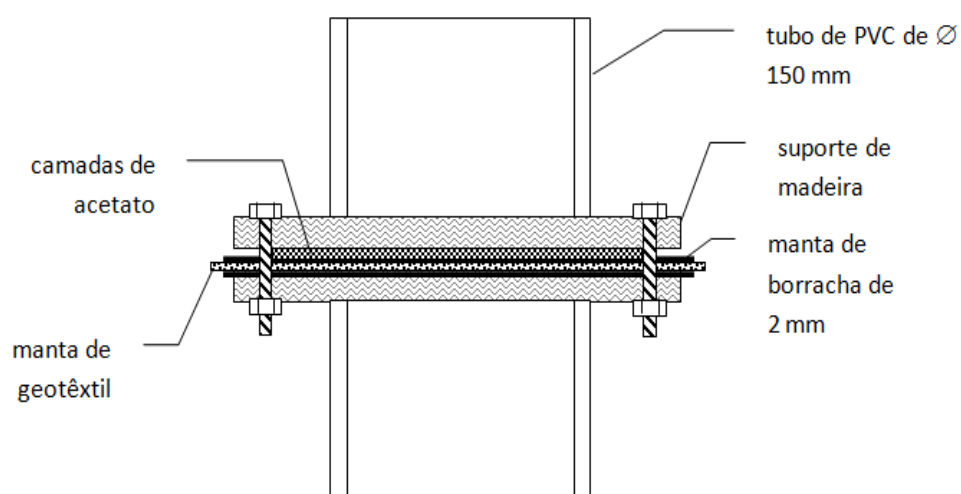


Figura 8 - Representação esquemática do equipamento utilizado nos testes.

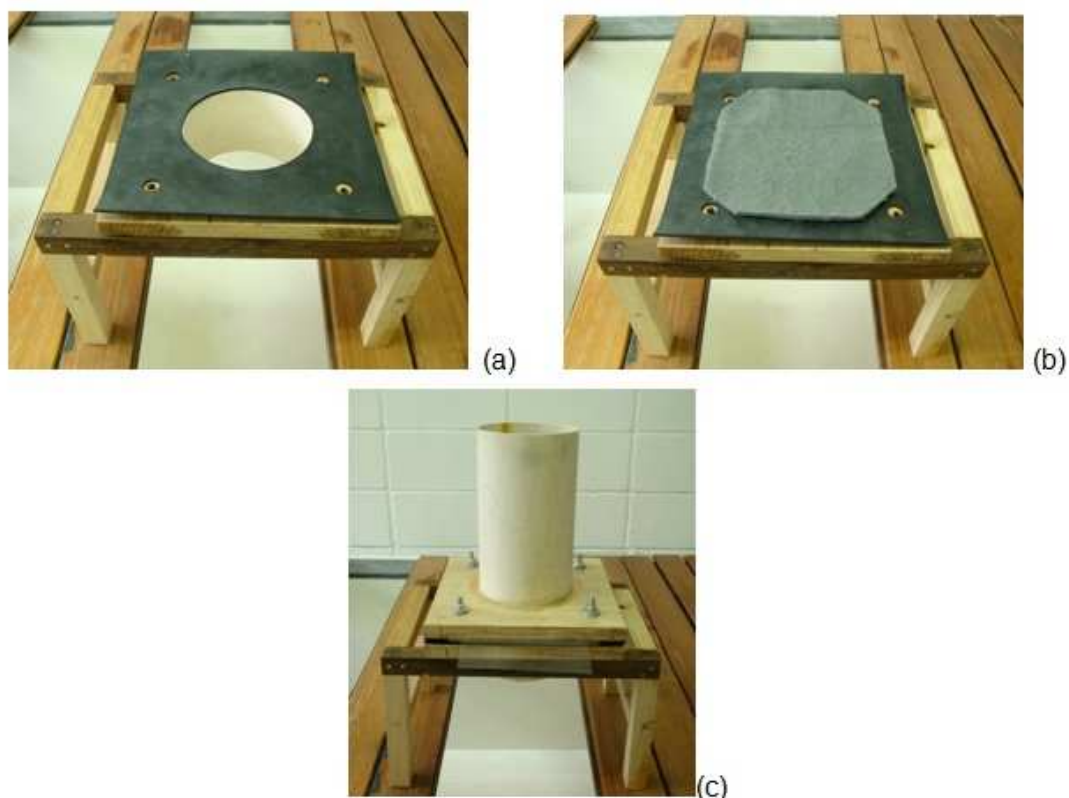


Figura 9 - Aparato utilizado nos ensaios: (a) suporte, parte inferior do escoador e peça vedadora (cor preta), (b) adição de geotêxtil e (c) aparato finalizado para a realização do ensaio.

A camada de acetato inserida entre o suporte de madeira e a manta de borracha de vedação, conforme representado na Figura 8 foi necessária para permitir a verificação do tempo de escoamento da água. Foram utilizadas três lâminas sobrepostas de acetato, sendo duas com aberturas coincidentes com o diâmetro interno da tubulação de testes (uma delas colocada junto ao suporte de madeira e a outra colocada junto à manta de borracha). Entre essas duas camadas foi colocada uma terceira lâmina de acetato, sem aberturas, que permitia o represamento da água na parte superior da tubulação. Essa camada inteiriça poderia ser rapidamente retirada da estrutura permitindo o início da cronometragem do tempo de escoamento.

As seis mantas comerciais de geotêxteis não tecidos agulhados listadas anteriormente receberam as denominações: G1, Bidim RT07; G2, Bidim RT14; G3, Bidim RT31; G4, GeoFort GF130; G5, GeoFort GF250; e G6, GeoFort GF 600.

As especificações técnicas, fornecidas pelos fabricantes, dessas mantas encontram-se nas Tabelas 7 e 8. As propriedades porosidade e superfície específica foram calculadas pelas equações 3 e 4, respectivamente, reescritas a seguir. As demais propriedades foram fornecidas pelos fabricantes.

$$\varepsilon = 1 - \frac{g}{\rho \cdot e} \quad (3)$$

ε : porosidade (adimensional)

g : gramatura (massa por unidade de área, g/m²)

ρ : massa específica do geotêxtil (g/m³)

e : espessura do geotêxtil (m)

$$S_o = \frac{4(1-\varepsilon)}{d_f} \quad (4)$$

S_o : superfície específica (m²/m³)

ε : porosidade (adimensional)

d_f : diâmetro das fibras (m)

Tabela 7 - Especificações técnicas dos geotêxteis Bidim RT. Fonte: Bidim (2009).

	Propriedade	Norma	Un.	G1	G2	G3
Hidráulica	Permissividade	ASTM D 4491	s ⁻¹	2,5	1,8	0,9
	Permeabilidade normal	-	cm/s	0,35	0,35	0,35
	Abertura de filtração (O ₉₅) Máx.	ASTM D 4751	mm	0,26	0,21	0,13
	Abertura de filtração (O ₉₅) Mín.	ASTM D 4751	mm	0,16	0,12	0,06
Física	Espessura	-	mm	0,8	1,8	3,6
	Diâmetro médio das fibras	-	μ m	24,9	26,8	26,8
	Gramatura	-	g/m ²	130	250	600
	Superfície Específica	-	m ² /m ³	18944	15007	18008
	Porosidade	-	%	88,22	89,94	87,92
	Matéria-prima	-	-	Poliéster	Poliéster	Poliéster

Tabela 8 - Especificações técnicas dos geotêxteis Ober. Fonte: Ober (2009).

	Propriedade	Norma	Un.	G4	G5	G6
Hidráulica	Permissividade	ASTM D 4491	s ⁻¹	2,35	1,48	0,74
	Permeabilidade normal	ASTM D 4491	cm/s	0,4	0,4	0,4
	Abertura de filtração (O ₉₅)	AFNOR G 38017	mm	0,16	0,12	0,06
	Espessura	-	mm	1,7	2,7	5,4
Física	Diâmetro médio das fibras	-	μ m	26,8	26,8	26,8
	Gramatura	-	g/m ²	130	250	600
	Superfície Específica	-	m ² /m ³	8263	10004	12005
	Porosidade	-	%	94,46	93,29	91,95
	Matéria-prima	-	-	Poliéster	Poliéster	Poliéster

As partículas utilizadas como referência para a presente pesquisa apresentam 0,05 mm para diâmetro-referência mínimo e 0,28 mm para diâmetro-referência máximo, sendo que 0,28 mm é a abertura do filtro de material grosseiro e 0,05mm é a referência utilizada pela CETESB (2009) como o diâmetro aerodinâmico máximo na classificação de material particulado. Aplicaram-se esses dois valores, em substituição ao d_{95} , no critério de Christopher & Holtz.

Como parâmetro comparativo entre os filtros geotêxteis e o filtro de areia, convencionou-se a relação taxa de filtração – equação 11.

$$\text{Taxa de filtração (T.F.)} = \frac{V}{A_{xt}} = \frac{Q}{A} \quad (11)$$

V: volume a ser escoado (L)

A: área exposta do filtro (m²)

Q: vazão (m³/s)

t: tempo de escoamento (s)

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando a vazão máxima que chega ao filtro de areia como 14,7 L/s (1270,1 m³/dia - obtida através de pesquisas realizadas anteriormente), a taxa de filtração suportada pelo filtro de areia pode ser obtida:

$$\text{Taxa de filtração máxima do filtro de areia} = \frac{14,7L / s}{0,64m^2} = 23L / m^2.s = 1985m^3 / m^2.dia$$

Os valores de turbidez, antes e após a passagem pelo filtro de areia, da água da chuva coletada no sistema de aproveitamento de água da chuva são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Valores de turbidez e cor da água da chuva, coletada no IPT, antes e após a passagem pelo filtro de areia com as respectivas remoções percentuais, para o ano de 2009.

Chuva	Coleta	Turbidez (UNT)			Cor (Pt-Co)		
		Antes do filtro	Depois do filtro	Remoção (%)	Antes do filtro	Depois do filtro	Remoção (%)
14/jan	15/jan	7,63	11,1	-45,48	-	-	-
26/jan	27/jan	7,28	190,5	-2516,76	-	-	-
27 e 28/jan	28/jan	8,66	48,7	-462,36	-	-	-
30 e 31/jan	02/fev	2,23	89,7	-3922,42	-	-	-
04 e 05/fev	06/fev	1,49	49,3	-3208,72	34,1	79,7	-133,72
07 - 09/fev	10/fev	4,27	10,5	-145,9	48	52,1	-8,54
12 - 16/fev	16/fev	3,21	30,3	-843,93	45,9	52,5	-14,38
18,21,24,25	26/fev	4,03	123	-2952,11	10,2	79,85	-682,84
9 e 10/maio	11/mai	10,7	25,4	-137,38	53,8	64	-18,96
27/mai	28/mai	12	6,84	43	32,6	33,2	-1,84
28/mai	29/mai	24,6	19,1	22,36	40,12	34,7	13,51
29 e 31/maio	01/jun	24	9,31	61,21	60,6	47,5	21,62
10 - 12/jun	15/jun	15	10,1	32,67	38,7	45,4	-17,31
25/jun	26/jun	8,99	17,4	-93,55	57,1	56	1,93
Média		9,58	45,8	-1012,1	42,11	54,5	-84,05

A Figuras 10 e 11 apresentam a parte superior da camada de areia utilizada no filtro. Percebe-se que a mesma encontra-se com muitas partículas de sujeira abaixo da zona de contato com o ar.



Figura 10- Detalhe da camada de areia utilizada originalmente.



Figura 11 - Detalhe da sujeira abaixo da camada de interface com o ambiente.

Percebe-se na Figura 11 que as partículas de sujeira, retidas inicialmente na superfície na camada de areia, encontram-se entremeadas nos grãos. Pelo fato de a superfície estar mais limpa que a parte inferior, pode-se inferir que as partículas de

sujeiras migraram. Essa movimentação no sentido do fluxo da água da chuva explica, principalmente, os resultados negativos de remoção de turbidez apresentados na Tabela 9. Ou seja, a passagem da água da chuva carreou a sujeira até atingir a camada inferior da areia, sendo então levadas para a etapa seguinte de tratamento. O resultado é a piora da qualidade da água da chuva na etapa seguinte.

Para avaliar a remoção de turbidez, utilizando-se escala de bancada, formou-se uma coluna d'água de 10, 15 e 20 cm acima do geotêxtil. O escoamento era liberado e o tempo de escoamento do volume de teste cronometrado. Utilizando-se suspensão de carvão ativado em pó, a turbidez antes e após o escoamento foi medida. Esses ensaios foram realizados em quintuplicata e com amostras de água de chuva colhida no sistema de aproveitamento da água da chuva instalado no IPT. Sendo cilíndrico o formato por onde a amostra é escoada, para 10 cm de coluna tem-se 1,77 L, para 15 cm são 2,65 L e para 20 cm são 3,53 L.

Para escolher quais geotêxteis seriam solicitados às empresas que aceitaram fornecer geotêxteis, avaliaram-se todos os geotêxteis de seus catálogos, baseado nas condições de operação do sistema instalado. Utilizando-se os diâmetros-referência de 0,05 e 0,28 mm, em substituição ao d_{95} , no critério de Christopher & Holtz para a permissividade e a abertura de filtração, obtiveram-se as Tabelas 10 e 11 para os geotêxteis não tecidos avaliados. Nelas, "A" indica aprovado e "R", reprovado.

Como a situação estudada não é de fluxo permanente, pois as chuvas são intermitentes, utilizou-se a condição de fluxo intermitente. Os requisitos de permeabilidade não foram levados em conta, pois não se dispunha do valor da permeabilidade da areia do filtro (k_{solo}), que seriam utilizados no critério de dimensionamento estudado.

Relativo à abertura de filtração, para o dimensionamento em relação ao menor diâmetro (0,05 mm), a mesma deveria ser menor do que 0,025 mm ($O_{95} \leq 0,5 \cdot d_{85}$ mm), mas não foi encontrada no mercado tal abertura. A menor abertura encontrada foi de 0,06 mm. Dessa forma, no requisito de abertura de filtração para diâmetro-referência de 0,05 mm, desconsiderou-se sua validade para o dimensionamento. Essa desconsideração implica em menor garantia de retenção de

partículas. No entanto, tal resultado é inevitável já que não há no mercado geotêxteis de abertura tão pequenas.

Quanto à permissividade, como não se dispõe da curva granulométrica dos materiais que passam pelo filtro de materiais grosseiros, levou-se em conta os três requisitos de permissividade para o dimensionamento dos geotêxteis.

Conseqüentemente, um geotêxtil que apresente no requisito abertura de filtração para diâmetro-referência de 0,05 mm uma classificação de Reprovado, mas para os demais requisitos Aprovado, o geotêxtil tem como resultado Aprovado.

Tabela 10 - Verificação dos critérios de Christopher & Holtz de dimensionamento dos geotêxteis Bidim RT para condição dinâmica de fluxo; “A” representa aprovado e “R” reprovado.

Geotêxtil			RT 07	RT 08	RT 09	RT 10	RT 14	RT 16	RT 21	RT 26	RT 31
Abertura de filtração (O_{95})	Critério	mm	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	0,19	0,16	0,14	0,13
Diâmetro mínimo = 0,05 mm	$O_{95} \leq 0,025$ mm		R	R	R	R	R	R	R	R	R
Diâmetro máximo = 0,28 mm	$O_{95} \leq 0,14$ mm		R	R	R	R	R	R	R	A	A
Permissividade	Critério	s^{-1}	2,5	2,4	2,1	2,0	1,8	1,5	1,2	1,0	0,9
menos de 15% < 0,075 mm	$\Psi \geq 0,5$		A	A	A	A	A	A	A	A	A
entre 15 e 50% < 0,075 mm	$\Psi \geq 0,2$		A	A	A	A	A	A	A	A	A
mais de 50% < 0,075 mm	$\Psi \geq 0,1$		A	A	A	A	A	A	A	A	A
RESULTADO			R	R	R	R	R	R	R	A	A

A: aprovado, R: reprovado

Tabela 11 - Verificação dos critérios de Christopher & Holtz de dimensionamento dos geotêxteis Ober para condição dinâmica de fluxo;
 “A” representa aprovado e “R” reprovado.

Geotêxtil			GF7/130	GF8/150	GF9/180	GF10/200	GF14/250	GF17/300	GF28/500	GF31/600
Abertura de filtração (O_{95})	Critério	mm	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,07	0,06
Diâmetro mínimo = 0,05 mm	$O_{95} \leq 0,025$ mm		R	R	R	R	R	R	R	R
Diâmetro máximo = 0,28 mm	$O_{95} \leq 0,14$ mm		R	R	A	A	A	A	A	A
Permissividade	Critério	s^{-1}	2,35	2,10	1,86	1,77	1,48	1,31	0,87	0,74
menos de 15% < 0,075 mm	$\Psi \geq 0,5$		A	A	A	A	A	A	A	A
entre 15 e 50% < 0,075 mm	$\Psi \geq 0,2$		A	A	A	A	A	A	A	A
mais de 50% < 0,075 mm	$\Psi \geq 0,1$		A	A	A	A	A	A	A	A
RESULTADO			R	R	A	A	A	A	A	A

A: aprovado, R: reprovado

Conforme pode ser observado nas Tabelas 10 e 11, dos 17 geotêxteis avaliados pelo critério de Christopher & Holtz, somente 8 estariam aprovados. Como o objetivo do presente trabalho é avaliar geotêxteis não tecidos encontrados no mercado, optou-se por utilizar geotêxteis reprovados pelo critério em questão com o propósito de testar uma maior gama de produtos.

Optou-se por trabalhar com 3 geotêxteis de cada fabricante. No caso dos geotêxteis Bidim RT, apesar de dois produtos, RT 26 e RT 31 (G3), terem sido aprovados pelo critério, eles apresentam características muito próximas em termos de permissividade e abertura de filtração e somente um foi escolhido, o RT 31 (G3). Optou-se por escolher um intermediário (RT 14, G2) e outro com os maiores valores de permissividade e abertura de filtração, RT 07 (G1).

Dos produtos Ober GeoFort, 6 foram aprovados pelo critério. Ainda assim, escolheu-se somente 2 dos aprovados, GF14/250 (G5) e GF31/600 (G6). O terceiro geotêxtil escolhido, GF7/130 (G4) é o que apresenta maiores valores de permissividade e abertura de filtração. Ou seja, utilizou-se também os geotêxteis extremos e um intermediário.

Escolhidos os seis geotêxteis que seriam utilizados nos ensaios, os mesmos foram avaliados quanto à taxa de filtração com três colunas de água, 10, 15 e 20 cm, sendo realizados em triplicata os escoamentos. Os resultados médios obtidos são expostos Tabela 12 e a relação completa dos resultados está apresentada no Anexo A.

Geotêxteis com taxas de filtração acima de 23 L/m².s seriam mais indicados para substituírem a camada de areia, pois estariam mais aptos a atenderem a carga de água da chuva sem que ocorra a formação de lâminas d'água.

Tabela 12 - Valores médios obtidos de tempo de escoamento e taxa de filtração para todos os geotêxteis avaliados.

	G1			G2			G3		
Coluna de água	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm
Tempo médio de escoamento (s)	1,07	1,08	1,10	1,87	1,95	2,23	10,69	7,96	6,89
Taxa de filtração (L/m ² .s)	98,8	146,6	191,1	56,5	81,2	94,7	9,9	19,9	30,6
	G4			G5			G6		
Coluna de água	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm
Tempo médio de escoamento (s)	1,31	1,47	1,63	1,38	1,74	1,80	2,23	2,63	2,53
Taxa de filtração (L/m ² .s)	80,9	107,4	129,6	76,6	90,8	117,1	47,5	60,2	83,2

Obs.: as especificações das mantas G1, G2, G3, G4, G5 e G6 encontram-se nas Tabelas 7 e 8.

Comparando-se a taxa de filtração do filtro de areia de 23 L/m².s com os resultados obtidos na Tabela 12, somente um geotêxtil avaliado, G3, apresentou valores menores de taxa de filtração. O menor valor obtido corresponde à coluna de 10 cm, com valor cerca de 0,4 vezes menor. Quanto aos demais geotêxteis, obteve-se 191,1 L/m².s como o maior valor médio de taxa de filtração, cerca de 8 vezes a taxa de filtração do filtro de areia, para o geotêxtil G1 com coluna de água de 20 cm.

Nota-se também que para todos os geotêxteis avaliados, a taxa de filtração média apresenta-se diretamente proporcional à coluna de água. Ou seja, obteve-se taxas de filtração maiores para colunas de água maiores.

Ensaíram-se também combinações de geotêxteis, prevendo-se que melhores resultados de filtração seriam obtidos para mais de uma camada de geotêxtil (Tabela 13, com valores médios). A relação completa dos resultados está apresentada no Anexo B. Esses ensaios também foram realizados em triplicata.

Tabela 13 - Valores médios obtidos de tempo de escoamento e taxa de filtração para algumas combinações de geotêxteis.

	2xG5			2xG3			2xG6		
Coluna de água	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm
Tempo médio de escoamento (s)	4,40	2,88	2,64	15,82	28,27	10,45	8,12	4,34	4,35
Taxa de filtração (L/m ² .s)	24,1	55,0	79,8	6,7	5,6	20,2	13,0	36,5	48,4
	1xG4 + 1xG5 (G4 em cima)			1xG5 + 1xG6 (G5 em cima)			1x G3 + 1x G6 (G6 em cima)		
Coluna de água	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm
Tempo médio de escoamento (s)	3,81	2,87	3,17	7,33	4,22	4,19	24,50	17,12	6,74
Taxa de filtração (L/m ² .s)	27,8	55,2	66,6	14,4	37,5	50,3	4,3	9,3	31,3
	1x G5 + 2x G3 (G5 em cima)								
Coluna de água	10 cm	15 cm	20 cm						
Tempo médio de escoamento (s)	16,85	16,44	11,89						
Taxa de filtração (L/m ² .s)	6,3	9,6	17,7						

Percebe-se que na Tabela 13, das 7 combinações de geotêxteis avaliadas, somente duas, 1xG4 + 1xG5 (G4 em cima) e 2xG5, apresentaram taxa de filtração superior a do filtro de areia para todas as colunas de água.

A maior taxa é referente à combinação 2xG5 com coluna de 20 cm, em que se obteve 79,8 L/m².s, cerca de 3,5 vezes a taxa de filtração do filtro de areia. O menor resultado para mesma coluna de água é de 17,7 L/m².s, cerca de 0,8 vezes menor que a do filtro de areia, para 1xG5 + 2xG3 (G5 em cima).

Entre as duas combinações com melhores resultados de taxa filtração, a combinação 2xG5 apresenta valor médio ligeiramente superior. Enquanto a primeira combinação (1xG4 + 1xG5, G4 em cima) apresentou valor médio de 50 L/m².s, a segunda cerca de 53 L/m².s. Isso indicaria que a melhor combinação, dentre as avaliadas, em termos de taxa de filtração seria a 2xG5.

Para os ensaios de turbidez nos sistemas filtrantes com geotêxteis, procurou-se utilizar valores próximos dos obtidos para a água da chuva antes do filtro de areia (Tabela 9). O valor médio de turbidez é de 6,45 NTU. Ensaios de turbidez com diferentes concentrações de carvão em pó foram realizados com o propósito de se encontrar uma concentração que propiciasse turbidez próxima a 6,45 NTU, sendo que foi tomado como base o valor de 7 NTU. Na Tabela 14 estão apresentados os valores de concentração de carvão em pó testados.

Tabela 14 - Concentrações de carvão em pó testadas com os respectivos valores de turbidez.

Concentração de carvão em pó (mg/L)	Turbidez (NTU)
176,3	23,0
44,5	9,9
40,2	5,5

Assim, para uma concentração de carvão em pó de cerca 42 mg/L, esperar-se-ia uma turbidez em torno de 7 NTU. No entanto, como pode ser observado no Anexo C, obteve-se valores de turbidez que variaram de 12,1 a 19,6, com concentrações de carvão em pó de 42,53 a 46,83 mg/L, respectivamente. Apesar dessa discordância, optou-se por utilizar como base a concentração de 42 mg/L como referência nos experimentos seguintes.

A fim de se avaliar a remoção de turbidez dos geotêxteis, todas as amostras e algumas combinações foram testadas utilizando a mistura de testes, com carvão ativado em pó. Os ensaios de turbidez foram realizados em quintuplicata. Os valores médios são apresentados na Tabela 15. Todos os ensaios realizados encontram-se no Anexo C.

Tabela 15 - Valores médios obtidos de remoção de turbidez e taxa de filtração para alguns geotêxteis e combinações; coluna d'água de 15 cm sobre o geotêxtil.

Elemento filtrante	Concentração de carvão em pó (mg/L)	Tempo (s)	Turbidez antes (NTU)	Turbidez depois (NTU)	Taxa de filtração (L/m ² .s)	Remoção de turbidez (%)
1x G6	46,05	3,1	18,2	16,9	52,0	7,4
2x G6	44,21	5,0	16,2	14,0	32,0	13,9
1x G3	43,42	5,6	16,4	14,0	28,4	15,2
2x G3	38,05	14,5	13,7	9,6	11,5	30,5
1xG2 + 1xG3 (G2 em cima)	43,06	9,5	15,3	11,7	17,0	23,0
1x G5 + 1xG6 (G5 em cima)	46,48	3,5	15,4	13,3	46,0	14,1
1x G5 + 2xG3 (G5 em cima)	44,34	9,9	13,5	5,8	16,1	56,1

Conforme observado na Tabela 15, a melhor remoção média de turbidez foi obtida para a combinação 1xG5 + 2xG3 (G5 em cima). A partir desse resultado, optou-se por explorar mais essa combinação de geotêxteis através de variações nos ensaios quanto à lavagem dos elementos filtrantes a cada ensaio, a concentração de carvão em pó e a coluna de água. Realizaram-se ensaios com concentração de carvão ativado próxima à utilizada anteriormente (42 mg/L) e com 210 mg/L, 5 vezes maior, com o propósito de simular uma situação extrema de turbidez. Os valores médios obtido para essa combinação encontram-se na Tabela 16.

Tabela 16 - Valores médios dos ensaios realizados com a combinação 1xG5 + 2xG3 (G5 em cima das outras duas). Todos os resultados encontram-se no Anexo D.

Condição	Coluna de água	Lavagem	Concentração de carvão em pó (mg/L)	Tempo médio de escoamento (s)	Turbidez antes (NTU)	Turbidez depois (NTU)	Taxa de filtração (L/m ² .s)	Remoção de turbidez (%)
I	15 cm	sim	44,34	9,9	13,5	5,8	16,1	56,1
II	10 cm	sim	42,09	12,4	15,1	5,1	14,7	66,7
III	15 cm	não	42,39	9,5	19,8	11,0	16,8	44,7
IV	15 cm	sim	209,55	10,7	39,7	25,6	15,0	35,2
V	15 cm	não	208,43	11,2	38,7	27,1	14,2	29,7

Comparando-se as condições I e II, na Tabela 16, pode-se dizer que uma menor coluna de água (carga hidráulica), com conseqüente maior tempo de escoamento, permitiu uma maior remoção média de partículas de carvão em pó.

A partir dos resultados de remoção de turbidez das condições I e III e IV e V, pode-se dizer que a lavagem dos geotêxteis influi na remoção de partículas de carvão, de modo que a não lavagem prejudica a qualidade do filtrado. Isso pode ser devido ao carreamento de algumas partículas que haviam sido retidas nos

interstícios dos geotêxteis e que, com uma outra filtração sem a lavagem, as mesmas recebem energia suficiente para avançarem e vencerem as fibras.

Vale ressaltar que para as condições com lavagem I e IV, apesar de a concentração de carvão em pó ter sido aumentada em cerca de 5 vezes (600%), a remoção de turbidez reduziu de cerca de 20,9%. Para as condições III e V, sem lavagem, a remoção de turbidez reduz menos, cerca de 15,0%.

Quanto à remoção de turbidez, a combinação 1xG5 + 2xG3 (G5 em cima) apresentou-se como a melhor combinação, dentre as avaliadas, como elemento filtrante em substituição ao filtro de areia instalado no sistema de aproveitamento da água da chuva no IPT. Esses dois geotêxteis foram aprovados pelo critério de Christopher & Holtz, indicando sua eficácia como método de dimensionamento de geotêxteis para retenção de finos.

Há de se relevar o fato de a vazão utilizada como referência, 14,7 L/s, é considerada como alta e corresponde a chuvas de alta intensidade e alto período de retorno. Portanto, apesar da maior parte das combinações de geotêxteis terem apresentado taxas de filtração menores que a do filtro de areia (23 L/m².s), inclusive a melhor combinação, somente o uso em escala real da melhor combinação, com acompanhamento do desempenho, irá determinar sua real eficácia.

Conforme discutido, a não lavagem mostrou-se prejudicial para o desempenho do filtro e sua limpeza com jato de água, quando instalado em escala real, deve ser realizada periodicamente.

Realizaram-se dois ensaios com água da chuva coletadas nos reservatórios de coleta, um com água acumulada no reservatório de descarte e um com água da chuva sem contato com o telhado e sem tratamento. Utilizou-se a combinação 1xG5 + 2xG3 (G5 em cima) para todos esses ensaios. Os resultados dessas quatro coletas são expostos na Tabela 17.

A cada chuva o reservatório de descarte se enche por completo ou não, dependendo da precipitação. Após cada chuva, o volume do mesmo é extravasado através de uma saída perto da base do reservatório. Essa saída localiza-se cerca de 3 cm acima da base, criando um volume disponível para o depósito de sedimentos. Independente de ter sido cheio ou não, o reservatório recebe muitas partículas menores que 0,28 mm (abertura do filtro de material grosseiro), que têm a

oportunidade de sedimentarem. Portanto, como a amostra III foi obtida pela agitação do volume desse reservatório, a mesma possuía grande quantidade de materiais particulados. Apesar disso, obteve-se remoção de 79,6% da turbidez, chegando ao valor de 3,1 NTU. Isso pode ser devido ao fato de as partículas acumuladas no fundo terem se aglomerado, favorecendo a retenção no topo do filtro de geotêxteis.

Para a água da chuva sem qualquer tratamento e sem contato com o telhado (amostra IV), obteve-se uma remoção de 11,5% da turbidez. Vale ressaltar que a turbidez antes da filtração era relativamente pequena.

Todos os ensaios explicitados na Tabela 17 apresentam taxa de filtração inferior à máxima suportada pelo filtro de areia (23 L/m².s). Apesar desses resultados, o acompanhamento da remoção de turbidez em escala real contribuirá para a viabilidade do uso de geotêxteis não tecidos como elemento filtrante da água da chuva.

Tabela 17 - Ensaios realizados com água da chuva, de reservatórios de coleta e do reservatório de descarte.

Amostra	Volume (L)	Tempo de escoamento (s)	Turbidez antes (NTU)	Turbidez depois (NTU)	Taxa de filtração (L/m ² .s)	Remoção turbidez (%)
I - 1º reservatório de coleta	2,0	9,86	15,9	7,1	12,1	55,2
II - 2º reservatório de coleta	2,0	10,51	8,8	7,5	11,4	14,8
III - Reservatório de descarte	2,0	7,90	15,2	3,1	15,2	79,6
IV - Água da chuva	2,0	8,54	3,7	3,3	14,0	11,5

Na Tabela 17, a amostra I corresponde ao reservatório de coleta antes do filtro de material grosseiro e representa a água da chuva que escoou do telhado,

sem qualquer tratamento. A amostra II foi coletada logo após o filtro de material grosseiro. A amostra III do reservatório de descarte foi coletada após o volume do mesmo ser agitado com o propósito de homogeneizá-lo. A água da chuva, amostra IV, foi coletada com o auxílio de provetas de 2000 mL que foram deixadas à chuva.

A amostra I apresentava grande quantidade de materiais particulados, o que contribuiu para seu alto valor de turbidez. A remoção desses materiais e parte de outros menores forneceu turbidez 55,2% menor. A amostra II, que passou pelo filtro de materiais grosseiros, apresentou-se com turbidez 45% menor que a amostra I. Isso indica a significativa influência dos materiais grosseiros na turbidez.

Os testes finais, com a combinação 1xG5 + 2XG3 (G5 em cima) de geotêxteis, foram iniciados em 02 de julho de 2009 e os resultados estão apresentados na Tabela 18. A Figura 12 apresenta os geotêxteis instalados onde antes estava a areia.

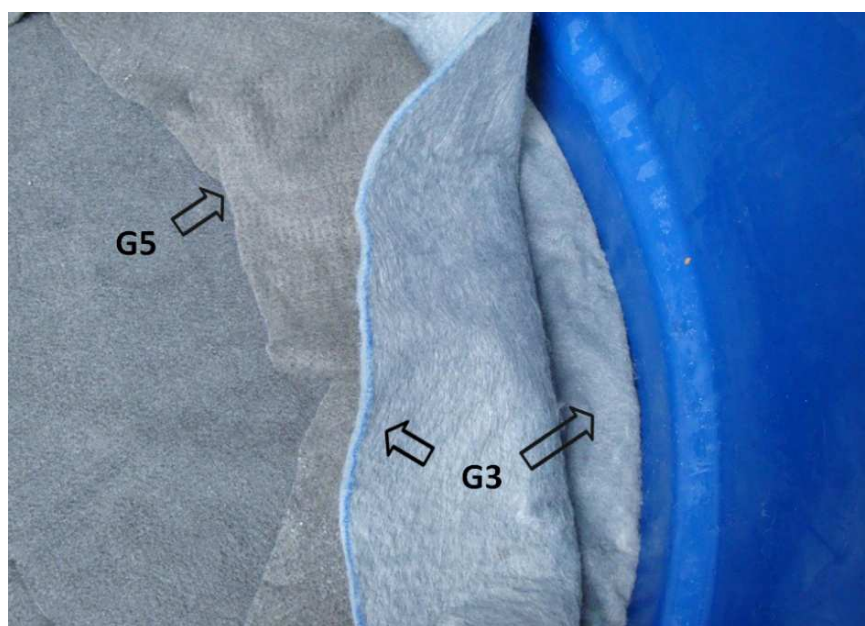


Figura 12 - Geotêxteis G3 e G5 instalados na caixa d'água.

Para a instalação das mantas nesse recipiente, a areia foi removida. As mantas instaladas ficaram como apresentado na Figura 13. Os geotêxteis foram presos numa grade de suporte utilizando-se fio de náilon.

Após o uso, as mantas de geotêxteis apresentaram-se sujas, conforme a Figura 13. Parte da sujeira que chegou ao sistema ficou retida na parte superior do filtro.



Figura 13 - Geotêxteis instalados na caixa d'água.

Tabela 18 - Análises de turbidez e cor antes e após o filtro de geotêxteis, de começo de julho de 2009 a janeiro de 2010.

Coleta	Turbidez (UNT)			Cor (Pt-Co)		
	Antes do filtro	Depois do filtro	Remoção (%)	Antes do filtro	Depois do filtro	Remoção (%)
02/jul	5,57	5,93	-6,5	44,1	48,8	-10,7
27/jul	3,07	4,76	-55	50	44,7	10,6
31/jul	114	26,1	77,1	156	63,6	59,2
18/ago	18,6	12,1	34,9	104	92,8	10,8
19/ago	7,02	7,99	-13,8	44	57,6	-30,9
24/ago	2,85	5,73	-101,1	33,6	50	-48,8
14/set	4,09	3,6	12	48,8	40,5	17
13/out	8,41	18,5	-120	41,6	50,9	-22,4
19/out	8,95	6,59	26,4	32,5	47,7	-46,8
27/out	4,15	13,6	-227,7	34,2	37	-8,2
23/nov	16,8	188	-1019	33,9	53,7	-58,4
25/nov	13,4	30,3	-126,1	36,9	40,5	-9,8
08/dez	5,32	71,4	-1242,1	32,1	34,3	-6,9
07/jan	11,5	12,5	-8,7	21,3	28,4	-33,3
15/jan	6,08	12,3	-102,3	39,4	37,3	5,3
19/jan	3,28	7,14	-117,7	28,3	32,7	-15,5
Média	14,57	26,66	-186,85	48,79	47,53	-11,79

A Tabela 18 apresenta os resultados do funcionamento do filtro de geotêxteis no sistema de aproveitamento de água da chuva do IPT. Percebe-se pelos percentuais de remoção de turbidez que o filtro funcionou de forma instável, piorando a qualidade da água da chuva na maioria das análises. O melhor resultado

de remoção de turbidez foi em torno de 77% para final de julho, enquanto que o pior resultado de piora foi em mais de 1200% para começo de dezembro.

Os resultados para cor demonstram que o filtro de geotêxteis teve, em média, pouca eficácia em remoção de substâncias húmicas, precursoras de cor. Da mesma forma que para a turbidez, a maioria dos resultados foram negativos, ou seja, houve piora na cor da água da chuva.

Os resultados da Tabela 18 apresentam remoções positivas e negativas, tanto de turbidez como de cor. Vale destacar que, mesmo que os resultados não tenham sido bons, esses foram melhores que os encontrados na Tabela 9, em que as análises com o filtro de areia estão expostas.

O funcionamento instável do filtro de geotêxteis pode ser devido a não limpeza periódica das mantas. Isso acarreta no acúmulo de partículas entre as fibras dos geotêxteis e, conforme a água da chuva passa, essas partículas são carregadas até saírem do filtro.

Vale dizer que as condições de estudo deste trabalho são dependentes das condições atmosféricas e do estado do telhado de captação, conforme descrito por Gonçalves (2006). Podem-se obter melhores resultados em sistemas de aproveitamento da água da chuva utilizando geotêxteis não tecidos em outras regiões com condições de trabalho diferentes, como regime de precipitação, grau de urbanização e concentração de materiais particulados dispersos no ar. Espera-se que regiões com menor poluição atmosférica apresentem água da chuva com melhor qualidade, visto que a concentração de materiais particulados seria menor, com consequente menor deposição dos mesmos em áreas de captação.

Como os geotêxteis não conseguem reter todas as partículas e sua eficiência de remoção depende da vazão por área que chega a eles, quanto pior a qualidade da água da chuva a ser filtrada, pior será a qualidade da água obtida, a princípio. No entanto, conforme já discutido, a amostra III da Tabela 17, que apresentava alta concentração de sólidos aglomerados foi filtrada e uma alta remoção de turbidez foi obtida. Esse resultado sugere que a eficiência de remoção de partículas também depende do estado de aglomeração das mesmas. Quanto mais aglomeradas, formando flocos, maior seria a retenção no geotêxtil. O mesmo ocorre em sistemas

de tratamento de água e esgoto, em que são adicionados coagulantes para que se formem flocos, melhorando a eficiência de remoção do sistema.

CUSTOS

Atualmente os geotêxteis apresentam preços acessíveis, o que facilita sua aquisição. Os geotêxteis da empresa Ober custam cerca de R\$12,00/quilo e os da Bidim custam cerca de R\$20,00/quilo (consulta realizada em 14/09/2010). É possível saber o custo do metro quadrado através da gramatura dos geotêxteis, presente nas Tabelas 7 e 8

6 CONCLUSÃO

A utilização de mais de um geotêxtil proporcionou resultados melhores de remoção de turbidez em comparação à somente um. No entanto, a taxa de filtração decresce conforme se utilizam mais camadas.

Os geotêxteis não tecidos testados não forneceram bons resultados de remoção de turbidez e cor da água da chuva. A combinação 1xG5 + 2xG3 (G5 em cima) apresentou-se como a melhor dentre as avaliadas e foi a mais explorada. A filtração da parcela fina presente na água da chuva captada em telhados requer melhores estudos para que sua retenção forneça melhores resultados.

A não lavagem dos geotêxteis a cada filtração leva a valores menos satisfatórios de turbidez no efluente. No entanto, todos esses resultados, em termos de remoção de turbidez, apresentaram-se melhores que os obtidos para o filtro de areia.

Mais estudos sobre o potencial de uso de geotêxteis como elemento filtrante de água da chuva podem ser realizados com, por exemplo, diferentes especificações de geotêxteis, vazões de água por área de geotêxtil e regiões de captação de água da chuva.

Estudos sobre as tipologias dos poluentes e materiais diversos que são captados juntamente com a água da chuva poderiam ser realizados de forma a se otimizar o filtro, de forma a se determinar os melhores materiais e especificações técnicas para cada tipologia.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDULLA, F. A.; AL-SHAREEF A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. **Desalination**, Irbid, v. 243, p. 195-207, 2009.
- ABINT. Associação Brasileira das Indústrias de Não Tecidos e Tecidos Técnicos. Curso Básico de Geotêxteis. São Paulo, 2001.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Conservação e Reúso da Água em Edificações, Prol Ed. Gráfica, São Paulo, 2005.
- ANA. Agência Nacional de Águas. Água: fatos e tendências, Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável (CEBDS), Brasília, 2009.
- ANA, FIESP e SindusCon. Agência Nacional de Águas, Federação das Indústrias do Estado de São Paulo e Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo. Conservação e Reúso da Água em Edificações. Prol Ed. Gráfica, São Paulo, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7.214: Areia normal para ensaio de cimento. São Paulo, 1982.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.084: Instalações prediais de águas pluviais. São Paulo, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas para fins não potáveis – Requisitos. São Paulo, 2007.
- BIDIM. Tabela de Especificações Técnicas – Linha Geotêxtil Bidim RT. Bidim Ind. e Com. Ltda., 2009.
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo 2008. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo, 2009.
- CHRISTOPHER, B. R.; FISCHER, G. R. Geotextile Filtration Principles, Practices and Problems, **Geotextiles and Geomembranes**, Georgia, v. 11, p.337-353, 1999.
- DI BERNARDO, L. Tratamento de água para abastecimento por filtração direta, Projeto PROSAB, ABES, Ed. RiMa, Rio de Janeiro, 2003.

FARAHBAKHS K.; DESPINS, C.; LEIDDL, C. Developing capacity for large-scale rainwater harvesting in Canada. **Water Quality Research Journal of Canada**, Guelph, v. 44, n° 1, 92-102, 2009.

FERRAZ, C. F. **Influência na redução da espessura da camada suporte na eficiência da filtração lenta com uso de mantas sintéticas não tecidas para águas de abastecimento**. 1991. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

FEWKES, A. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. **Building and Environment**, Nottingham, v. 43, p. 765-772, 1999.

FREITAS, R. A. S. **Comportamento de geotêxteis como filtro em resíduos – fosfogesso e lama vermelha**. 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHIMDT, R. W. Potencial for potable water savings using rainwater: An analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**, Florianópolis, v. 41, p. 204-210, 2006.

GONÇALVES, R. F. (coord.) **Uso Racional da Água em Edificações**, Rio de Janeiro: ABES/Prosab, 2006.

GONÇALVES, R. F. (coord.) **Conservação de Água e Energia em Sistemas Prediais e Públicos de Abastecimento de Água**, Rio de Janeiro: ABES/Prosab, 2009.

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

HERRMANN, T.; SCHMIDA U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, Hannover, v. 1, p. 307-316, 1999.

HESPAHOL I. (coordenador); Mierzwa J. C.; Rodrigues L. D. B.; Silva M. C. C. **Manual de conservação e reúso de água na indústria**. Centro Internacional de Referência em Reúso de Água – CIRRA, Rio de Janeiro, 2007.

HOUSTON, R.; CHAN, Y. C.; GARDNER, T.; SHAW, G.; CHAPMAN, H.; Characterisation of atmospheric deposition as a source of contaminants in urban rainwater tanks. **Water Research**, Queensland, v. 43, p. 1630-1640, 2009.

KOERNER, R. M. Designing with geosynthetics, Ed. Pearson Education, quinta edição, Upper Saddle River, 2005.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application on Ireland. **Desalination**, Dublin. v. 206, p. 1-8, 2010.

LIMA, M. M. **Desempenho de diferentes tipos de mantas sintéticas não tecidas na filtração da água para irrigação localizada**. 2003. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 2004. 189 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

MBWETE, T. S. A.; GRAHAM, N. J. D. Improving the efficiency of slow sand filtration with nonwoven synthetics fabrics, vol. 24, Londres, 1987.

OBBER. Tabela de Especificações Técnicas – Linha Ober GeoFort . Ober S.A. Indústria e Comércio, 2009.

PADUA, V. L. **Investigação experimental visando o emprego de mantas sintéticas não tecidas na filtração de suspensões floculentas no tratamento de água**. 1999. 291 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.

PALMEIRA, E. M; GARDONI, M. G. Geotextile in filtration: a state-of-the-art review and remaining challenges. **State-of-the-Art Report**, International Symposium on Geosynthetics-GeoEng2000, Vol.1, Melbourne, 2000.

PATERNIANI, J. E. S. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração em areia de águas de abastecimento**. 1991. 245 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

SABESP. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br>>. Acesso em: 05 ago. 2010.

SAO PAULO. Lei nº13.276, de 04 de janeiro de 2002. Torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes,

edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500m². São Paulo, 27 de dezembro de 2001.

SHAABAN, A. J.; FENG H. Y. Nahrim's experience in rainwater utilisation systems research. National Hydraulic Research Institute of Malaysia, Selangor, 2007.

SU, M.; LIN, C.; CHANG, L.; KANG, J.; LIN, M. A probabilistic approach to rainwater harvesting systems design and evaluation. **Resources Conservation & Recycling**, Taipei, v. 53, p. 393-399, 2009.

TRAVES, W. H.; GARDNER, E. A.; DENNIEN, B.; SPILLER, D. Towards indirect potable reuse in South East Queensland. **Water Science and Technology**, Brisbane, v. 58, p. 153-161, 2008.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. (Coord.) Avaliação e controle da drenagem urbana. 1 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS, 2000. 556 p.

VERTEMATTI, J. C. Manual Brasileiro de Geossintéticos, Edgard Blücher, São Paulo, 2004.

VILLARREAL, E. L.; DIXON, A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. **Building and Environment**, Lund, v. 40, p. 1174-1184, 2005.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

ZHANG, Y.; CHEN, D.; CHEN, L.; ASHBOLT, S. Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities, **Journal of Environmental Management**, Qingdao, v. 91, p. 222-226, 2009.

ANEXOS

Anexo A - Valores obtidos de taxa de filtração para os seis geotêxteis avaliados

G1				G2			G3		
Coluna de água	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm
	1,28	1,09	1,07	1,98	1,98	2,28	11,53	8,51	6,81
Tempo (s)	1,01	1,14	1,12	1,76	1,95	2,17	10,4	7,67	7,04
	0,92	1,01	1,12	1,87	1,92	2,23	10,14	7,7	6,81
Média (s)	1,07	1,08	1,10	1,87	1,95	2,23	10,69	7,96	6,89
Taxa de filtração (L/m ² .s)	98,8	146,6	191,1	56,5	81,2	94,7	9,9	19,9	30,6
G4				G5			G6		
Coluna de água	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm
	1,28	1,39	1,75	1,29	1,72	1,7	2,18	2,61	2,5
Tempo (s)	1,21	1,42	1,73	1,4	1,8	1,75	2,2	2,5	2,56
	1,43	1,61	1,4	1,45	1,71	1,95	2,3	2,78	2,54
Média (s)	1,31	1,47	1,63	1,38	1,74	1,80	2,23	2,63	2,53
Taxa de filtração (L/m ² .s)	80,9	107,4	129,6	76,6	90,8	117,1	47,5	60,2	83,2

Anexo B - Valores obtidos de taxa de filtração para geotêxteis combinados.

1xG4 + 1xG5 (G4 em cima)				1xG5+ 1xG6 (G5 em cima)			2xG5		
Coluna de água	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm
	3,53	3,01	3,2	7,84	4,18	4,12	4,48	2,86	2,9
Tempo (s)	3,92	2,9	3,02	8,58	4,23	4,32	4,61	2,89	2,5
	3,98	2,7	3,28	5,56	4,24	4,14	4,1	2,89	2,53
Média (s)	3,81	2,87	3,17	7,33	4,22	4,19	4,40	2,88	2,64
Taxa de filtração (L/m².s)	27,8	55,2	66,6	14,4	37,5	50,3	24,1	55,0	79,8
2xG6			2xG3			1xG3 + 1xG6 (G6 em cima)			
Coluna de água	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm	10 cm	15 cm	20 cm
	6,62	4,21	4,53	14,54	20,64	10,21	23,18	20,98	6,7
Tempo (s)	8,67	4,21	4,14	16,67	24,14	10,7	26,67	16,84	6,84
	9,06	4,59	4,39	16,26	40,04	10,45	23,64	13,54	6,68
Média (s)	8,12	4,34	4,35	15,82	28,27	10,45	24,50	17,12	6,74
Taxa de filtração (L/m².s)	13,0	36,5	48,4	6,7	5,6	20,2	4,3	9,3	31,3
1xG5 + 2xG3 (G5 em cima)									
Coluna de água	10 cm	15 cm	20 cm						
	16,36	16,18	11,39						
Tempo (s)	17,01	15,9	12,04						
	17,17	17,24	12,24						
Média (s)	16,85	16,44	11,89						
Taxa de filtração (L/m².s)	6,3	9,6	17,7						

Anexo C - Valores obtidos de remoção de turbidez e taxa de filtração, para coluna de água de 15 cm, com as respectivas concentrações de carvão em pó.

Geotêxtil	Amostra	Concentração (mg/L)	Tempo (s)	Turbidez antes (NTU)	Turbidez depois (NTU)	Taxa de filtração (L/m ² .s)	Remoção turbidez (%)
1xG6	1	48,83	3,04	19,60	19,50	52,20	0,51
	2	44,53	3,04	19,00	16,20	52,20	14,74
	3	44,79	3,07	16,10	15,00	51,69	6,83
	4	44,38	2,56	16,90	15,30	61,99	9,47
	5	43,62	2,50	18,80	17,20	63,47	8,51
	Média	45,23	2,84	18,08	16,64	56,31	8,01
2x G6	6	41,58	4,43	15,80	14,40	35,82	8,86
	7	46,23	5,01	17,30	16,30	31,67	5,78
	8	44,83	5,56	15,60	11,40	28,54	26,92
	9	43,89	4,10	17,30	15,00	38,70	13,29
	10	43,62	4,37	16,80	13,20	36,31	21,43
	Média	44,03	4,69	16,56	14,06	34,21	15,26
1xG3	11	42,23	5,92	14,00	11,60	26,80	17,14
	12	44,64	5,43	17,70	14,80	29,22	16,38
	13	43,40	5,45	17,60	15,50	29,12	11,93
	14	42,94	4,34	13,20	11,50	36,56	12,88
	15	42,79	4,15	15,40	13,90	38,24	9,74
	Média	43,20	5,06	15,58	13,46	31,99	13,62

Continua na página 72

Anexo C – Continuação - Valores obtidos de remoção de turbidez e taxa de filtração, para coluna de água de 15 cm, com as respectivas concentrações de carvão em pó.

2xG3	16	38,64	18,14	13,10	9,43	8,75	28,02
	17	40,98	10,68	15,80	11,90	14,86	24,68
	18	34,53	14,65	12,10	7,40	10,83	38,84
	19	43,32	9,09	14,20	10,20	17,46	28,17
	20	41,55	7,78	13,50	9,96	20,40	26,22
	Média	39,80	12,07	13,74	9,78	14,46	29,19
1xG2 + 1xG3 (G2 em cima)	21	49,81	9,54	15,90	12,00	16,63	24,53
	22	35,13	8,04	13,40	10,70	19,74	20,15
	23	44,23	10,95	16,50	12,50	14,49	24,24
	24	40,98	5,90	16,40	12,90	26,90	21,34
	25	42,83	4,75	11,10	9,81	33,41	11,62
	Média	42,60	7,84	14,66	11,58	22,23	20,38
1x G5 + 1x G6 (G5 em cima)	26	49,13	3,29	17,30	13,90	48,23	19,65
	27	47,58	3,37	15,40	15,10	47,09	1,95
	28	42,72	3,72	13,60	10,80	42,66	20,59
	29	42,49	3,16	15,00	13,10	50,22	12,67
	30	42,04	3,40	12,50	10,10	46,67	19,20
	Média	44,79	3,39	14,76	12,60	46,97	14,81
1x G5 + 2xG3 (G5 em cima)	31	45,74	10,26	12,40	5,44	15,47	56,13
	32	43,62	9,80	12,20	6,10	16,19	50,00
	33	43,66	9,54	15,80	5,98	16,63	62,15
	34	42,04	7,34	18,50	9,90	21,62	46,49
	35	42,26	7,29	13,60	7,81	21,77	42,57
	Média	43,46	8,85	14,50	7,05	18,34	51,47

Anexo D - Valores obtidos para a combinação 1xG5 + 2x RT31, com as respectivas condições de ensaio.

Amostra	Coluna d'água	Lavagem	Concentração de carvão em pó (mg/L)	Tempo médio de escoamento (s)	Turbidez antes (NTU)	Turbidez depois (NTU)	Taxa de filtração (L/m².s)	Remoção de turbidez (%)
36	10 cm	sim	44,63	7,72	15,50	5,26	20,55	66,06
37	10 cm	sim	40,40	10,39	16,10	5,67	15,27	64,78
38	10 cm	sim	41,24	19,00	13,70	4,23	8,35	69,12
39	10 cm	sim	42,54	7,27	14,70	6,20	21,83	57,82
40	10 cm	sim	40,28	5,72	16,90	5,83	27,74	65,50
41	15 cm	não	42,72	9,51	20,60	12,50	16,69	39,32
42	15 cm	não	43,02	9,12	20,00	9,71	17,40	51,45
43	15 cm	não	41,43	9,77	18,90	10,70	16,24	43,39
44	15 cm	não	43,77	7,41	16,40	10,50	21,41	35,98
45	15 cm	não	40,72	7,19	19,20	10,50	22,07	45,31
46	15 cm	sim	209,92	9,00	37,70	27,10	17,63	28,12
47	15 cm	sim	207,89	10,95	42,10	23,70	14,49	43,71
48	15 cm	sim	210,83	12,26	39,40	26,10	12,94	33,76
49	15 cm	sim	208,79	7,75	44,20	28,50	20,48	35,52
50	15 cm	sim	210,34	7,90	40,50	26,90	20,09	33,58
51	15 cm	não	206,45	10,48	39,20	25,50	15,14	34,95
52	15 cm	não	209,36	11,17	39,80	25,10	14,21	36,93
53	15 cm	não	209,47	12,01	37,20	30,80	13,21	17,20
54	15 cm	não	219,89	7,47	43,10	34,20	19,40	20,65
55	15 cm	não	212,98	8,18	47,00	28,40	16,64	39,57