

I-161 - METODOLOGIA DE AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO DESEMPENHO DE BARREIRAS FLUTUANTES PARA USO COMO PROTEÇÃO DE CAPTAÇÕES EM MANANCIAIS DE ÁGUA SUPERFICIAL

João Vitor Moreno Gaiotte⁽¹⁾

Bacharel em Ciências e Tecnologias e Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas (Unifal).

Rafael de Oliveira Tiezzi

Engenheiro Ambiental, Mestre em Planejamento Energético, Doutor em Recursos Hídricos e Professor do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas (ICT/Unifal).

Caio Pompeu Cavalhieri

Engenheiro Ambiental, Mestre em Engenharia Civil e Pesquisador do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

Rafael Brito de Moura

Engenheiro Ambiental, Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento e Professor do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas (ICT/Unifal).

Diego de Souza Sardinha

Engenheiro Ambiental, Mestre e Doutor em Geologia Regional e Professor do Instituto de Ciência e Tecnologia da Universidade Federal de Alfenas (ICT/Unifal).

Endereço⁽¹⁾: Praça Francisco Escobar, 6 – Centro. Poços de Caldas – MG. CEP: 37701-740. Brasil. Tel: +55 (35) 9175-3445. E-mail: jv.moreno@hotmail.com

RESUMO

Cortinas de redução de turbidez foram idealizadas para conter plumas de turbidez em corpos d'água, problemas geralmente associados a processos erosivos e que trazem problemas operacionais em estações de tratamento de água (ETAs) como elevado consumo de produtos químicos e grande geração de lodo. Assim, sabendo da importância de se controlar a qualidade da água bruta captada pelas ETAs e conhecendo o importante papel que os geotêxteis desempenham no controle de materiais em suspensão na água, o presente estudo desenvolveu uma metodologia para avaliar o desempenho de mantas geotêxtil como barreiras de remoção de turbidez. A metodologia apresentada neste trabalho visa auxiliar e embasar a escolha em laboratório dos geotêxteis que melhor se adaptem à realidade de cada local. Tendo sido criada a partir das seguintes adaptações na metodologia da American Society for Testing Materials (ASTM), ASTM D 5141: (a) mudança no local de instalação do geotêxtil; (b) aumento da capacidade para viabilizar a avaliação de um ou mais geotêxteis em série; (c) alteração das dimensões e da declividade do canal experimental; e, por fim, (d) substituição do método de comparação (de sólidos totais para turbidez). Na metodologia criada também foram considerados fatores como granulometria dos sedimentos e efeitos de colmatação e cegamento nos geotêxteis em função do tempo. O tipo de geotêxtil testado a partir da metodologia proposta não ofereceu limitações quanto às faixas granulométricas e obteve reduções de turbidez acima de 89% em todos os testes, ainda que tenha havido aumento da perda de carga e depósito de sedimento no fundo do canal. Entende-se que as propostas neste trabalho apresentam potencial para contribuir com a tomada de decisão em projetos que envolvam o uso de barreiras de turbidez. Ainda assim, é importante avaliar parâmetros complementares para que o desempenho das cortinas de turbidez em situações reais de uso possam se aproximar dos resultados obtidos em laboratório.

PALAVRAS-CHAVE: Geotêxtil, Lodo, Turbidez em mananciais, Redução de turbidez.

INTRODUÇÃO

Em estações de tratamento de água (ETAs) convencionais, a dosagem de coagulante na etapa inicial do processo é determinada pela característica dos materiais em suspensão e principalmente pela concentração dos mesmos. Sabe-se, além disso, que o uso desse tipo de produto é um dos maiores gastos em ETAs, ao lado dos recursos destinados ao pagamento de funcionários e de despesas com energia.

Depois de agregados pelo coagulante, os sólidos suspensos são retirados do sistema na forma de lodo (agregado de sedimentos, matéria orgânica e coagulante) que, com a entrada em vigor da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal 12.305/2010) notoriamente recebeu a classificação de resíduo e, portanto, requer uma destinação final adequada. Dessa forma, o lodo gerado nesse sistema corresponde a um dos principais problemas econômicos e ambientais em ETAs, inclusive porque todo o volume do resíduo gerado com uma alta concentração de coagulante (sulfato de alumínio, em geral).

A geração de lodo em ETAs é bastante influenciada pela presença de sólidos em suspensão na água captada. Esses materiais são transportados para a água devido à erosão hídrica e agrava-se em ambientes naturalmente descampados ou degradados por ação antrópica, a ponto de comprometer a qualidade da água bruta captada e causar reflexos negativos nas atividades das ETAs.

Um dos resultados mais visíveis da erosão é o aumento de turbidez em corpos d'água. O solo desprendido no processo erosivo acaba sendo carregado para os mananciais superficiais, elevando-se então a turbidez a partir do aumento dos sólidos em suspensão. Uma forma de controlar problemas assim e que figura entre as *best management practices* (BMPs) é o uso de são as cortinas de redução de turbidez que, além de serem facilmente instaladas, também requerem baixa manutenção – e, por isso mesmos, foram amplamente utilizadas nas obras do trecho Sul do Rodoanel da Região Metropolitana de São Paulo com resultados bastante satisfatórios (**Figura 1**).



Figura 1: Aplicação da cortina de turbidez na obra do trecho Sul do Rodoanel. (Fonte: IPT, 2008).

A aplicação das cortinas de turbidez é justificada por promover a redução na quantidade de sedimentos em suspensão, o que tende a melhorar significativamente a qualidade da água bruta captada, causando reflexos positivos sobre as diferentes atividades desenvolvidas nas ETAs como diminuição do uso de produtos químicos e da geração de lodo. ANDRADE SILVA, et al. (2013) descreve de forma bem direta a justificativa e motivação do presente trabalho ao dizer que “quanto maiores forem os esforços com intuito de minimizar a geração desse resíduo menores os custos associados ao tratamento e destinação do mesmo”.

No entanto, é essencial a avaliação de um método capaz de remover turbidez de águas utilizadas em sistemas de abastecimento público, o que seria valioso para avaliar diferentes tipos de material que podem compor as cortinas de turbidez (geotêxteis tecidos e não tecidos, por exemplo). Assim, mostra-se necessária a criação de uma metodologia qualitativa dos diferentes tipos que contribuía para adequar esse tipo de técnica às particularidades de cada projeto.

Dentro desse contexto, o objetivo do presente trabalho é desenvolver uma metodologia que permita avaliar, em laboratório, o desempenho de barreiras flutuantes como estruturas de remoção de turbidez a partir de adaptações pontuais na metodologia criada pela American Society for Testing Materials (ASTM), a ASTM D 5141 (2011).

MATERIAIS E MÉTODOS

Sabendo da necessidade da criação de um método capaz de comparar diferentes tipos de geotêxtil, isoladamente e em diferentes combinações, construiu-se um equipamento baseado na norma americana ASTM D 5141 (2011), mas com as seguintes modificações estruturais pertinentes aos ensaios propostos:

- **Posicionamento da manta geotêxtil:** o método original prevê o uso de uma única manta posicionada em uma das extremidades do equipamento, enquanto que na nova proposta a manta é posicionada na porção central do equipamento para que haja carga hidráulica antes e depois do geotêxtil;
- **Dimensões do canal:** o novo equipamento foi dimensionado para permitir a instalação de duas mantas em série;
- **Inclinação do equipamento:** a inclinação original do equipamento foi reduzida para melhor representar as condições de uma represa (de 8% para 0,05%); e
- **Contenção de água:** para que o nível da água fosse mantido constante ao longo dos ensaios, instalou-se um vertedor em uma das extremidades do novo equipamento.

Outra condição também adaptada da norma ASTM D 5141 (2011), foi a forma de avaliar as coletas realizadas durante os testes (usou-se de análise de turbidez e não de sólidos totais como prevê o método da norma). O emprego da variação de turbidez em detrimento das análises de sólidos totais deveu-se tanto pela simplicidade e agilidade do método quanto pela quantidade relativamente grande de amostras retiradas ao longo de cada ensaio (cerca de 144 amostras em 120 minutos).

A construção do equipamento, bem como a metodologia criada, está apresentada no presente trabalho na forma de resultados.

RESULTADOS

EQUIPAMENTO CONSTRUÍDO

Além da definição da metodologia de testes e análise dos dados, as modificações necessárias para dar início aos testes foram os primeiros resultados desse trabalho, conforme ilustra a **Figura 2**. O equipamento possibilita a realização de uma gama enorme de testes em que é possível avaliar o efeito de diminuição de turbidez de cada uma das amostras de geotêxtil posicionadas em série.

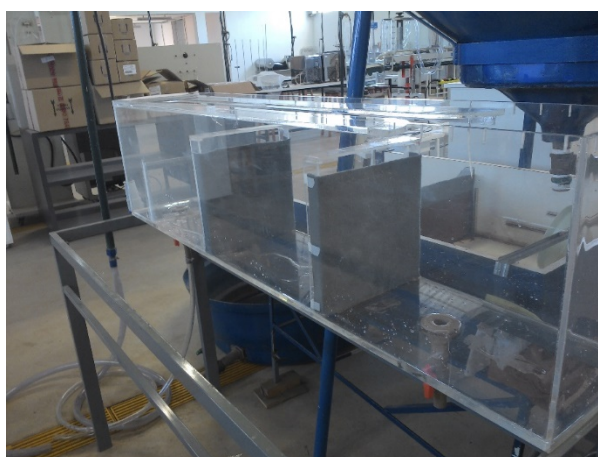


Figura 2: Equipamento desenvolvido. Notar a presença de dois geotêxteis em série.

Após a construção do equipamento, foram feitos testes com amostra de água com turbidez pré-determinada produzida em laboratório a partir da mistura com sedimentos (**Figuras 3 e 4**).



Figuras 3 e 4: Fotos do equipamento em teste. Notar a aparente redução de turbidez.

METODOLOGIA DE TESTES (DESENVOLVIDA)

Os experimentos realizados em laboratórios procuraram reproduzir elementos importantes de situações reais de uso como, por exemplo, exposição prolongada da cortina ao aporte de materiais em suspensão, além de eventuais alterações das propriedades da cortina causadas por colmatação e cegamento. A **Figura 5** traz esquematicamente o experimento em funcionamento.

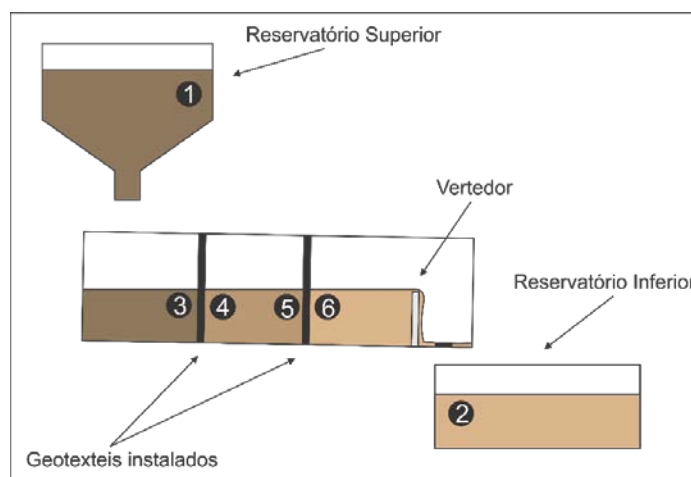


Figura 5: Esquema do aparato experimental e locais de coleta (numerados).

O funcionamento do experimento ilustrado na Figura 5 segue os seguintes passos: (a) preparação de uma mistura de sedimentos e água com turbidez entre 400 e 900 UNT; (b) preenchimento do reservatório superior com 250 litros da mistura; e (c) liberação da mistura para o canal experimental com vazão de 2L/min, onde atravessa as mantas e a mistura final é conduzida por um vertedor de saída para o reservatório inferior. A declividade do canal experimental foi mantida em 0,0005m/m durante todos os testes.

Primeiramente foi avaliada a remoção de turbidez realizada pelas amostras de geotêxtil em testes com duração de 2 horas e feitos a partir de misturas preparadas com sedimentos de faixas granulométricas distintas: entre 212 e 106µm, entre 106 e 53µm e abaixo de 53µm. Posteriormente os geotêxteis foram avaliados usando somente os sedimentos de menor granulometria (< 53 µm e preparado a partir de moagem e peneiramento), porque em um evento de chuva ou revolvimento de fundo corresponderia ao que ficaria em suspensão por mais tempo.

COLETA DE AMOSTRAS

Nos pontos de amostragem ilustrados na Figura 5, foram coletadas amostras de água em intervalos de tempo estabelecidos: 20, 30, 40, 60, 90 e 120 minutos para testes de 2 horas de duração e coletas a cada 30 minutos

para testes que duravam 8 horas. Em cada ponto de coleta foram coletadas de três amostras para amortizar as variações atribuíveis à alta turbidez inicial da mistura.

A comparação entre os valores de turbidez nos pontos de coleta permitiram avaliar fenômenos como: sedimentação, filtração e a combinação dos dois. A análise do desempenho do geotêxtil usado como cortina de turbidez baseou-se nos três critérios descritos a seguir.

COMPARAÇÃO DA TURBIDEZ ENTRE O INÍCIO E O FIM DE CADA ENSAIO

Esse primeiro critério foi usado para quantificar a turbidez inicial da mistura (ponto 1) e a turbidez no reservatório inferior (ponto 2) ao fim do experimento. Com esses dois valores de turbidez obteve-se a porcentagem de redução global de turbidez a partir da **Equação 1**.

$$\text{Redução global (\%)} = \frac{\text{Turbidez}_{\text{reservatório superior}} - \text{Turbidez}_{\text{reservatório inferior}}}{\text{Turbidez}_{\text{reservatório superior}}} \times 100 \quad (1)$$

EFEITO DA SEDIMENTAÇÃO

A sedimentação estudada neste trabalho foi apenas aquela ocorrida antes de passar por qualquer uma das mantas. Para tanto, as amostras foram coletadas imediatamente antes da primeira manta (ponto 3) e comparadas com a turbidez obtida anteriormente no reservatório superior (ponto 1) por meio da **Equação 2**.

$$\text{Sedimentação inicial (\%)} = \frac{\text{Turbidez}_{\text{reservatório superior}} - \text{Turbidez}_{\text{antes da primeira manta}}}{\text{Turbidez}_{\text{reservatório superior}}} \times 100 \quad (2)$$

FILTRAÇÃO EFETIVAMENTE REALIZADA PELAS CORTINAS DE TURBIDEZ

Outro importante fator analisado isoladamente foi a remoção de turbidez causada pelo efeito da filtração em função do tempo de experimentação. Nesse sentido, foram coletadas amostras imediatamente antes e depois de cada manta instalada (pontos 3 e 4 e pontos 5 e 6) para que o percentual de filtração atribuível a cada geotêxtil fosse calculado a partir das **Equações 3 e 4**.

$$\text{Filtração manta 1 (\%)} = \frac{\text{Turbidez}_{\text{antes da manta 1}} - \text{Turbidez}_{\text{após a manta 1}}}{\text{Turbidez}_{\text{antes da manta 1}}} \times 100 \quad (3)$$

$$\text{Filtração manta 2 (\%)} = \frac{\text{Turbidez}_{\text{antes da manta 2}} - \text{Turbidez}_{\text{após a manta 2}}}{\text{Turbidez}_{\text{antes da manta 2}}} \times 100 \quad (4)$$

AVALIAÇÃO DA PERDA DE CARGA

A perda de carga gerada pela colmatação do geotêxtil foi avaliada a partir de réguas instaladas nas laterais do equipamento (Figuras 3 e 4). As medidas do nível da água foram feitas em conjunto com as amostragens de água (sempre a montante e a jusante de cada manta).

JAR-TEST

Para estimar o consumo de coagulante e de lodo gerado a partir dos experimentos, foi realizado um ensaio de Jar-test variando a dosagem de coagulante de 5 a 35 mg/L de sulfato de alumínio.

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE UM TIPO DE GEOTÊXTEL USANDO A METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Inicialmente, os geotêxteis foi avaliado em função da capacidade de redução de turbidez por faixa granulométrica. Todos os gráficos apresentados para essa etapa de testes ilustram os valores de turbidez registrados antes da primeira e após a segunda manta, bem como a porcentagem de redução de turbidez nesse

intervalo. O resultado do primeiro teste, de um total de três, feito com faixa granulométrica de 106 a 212 μm está apresentado na **Figura 6**.

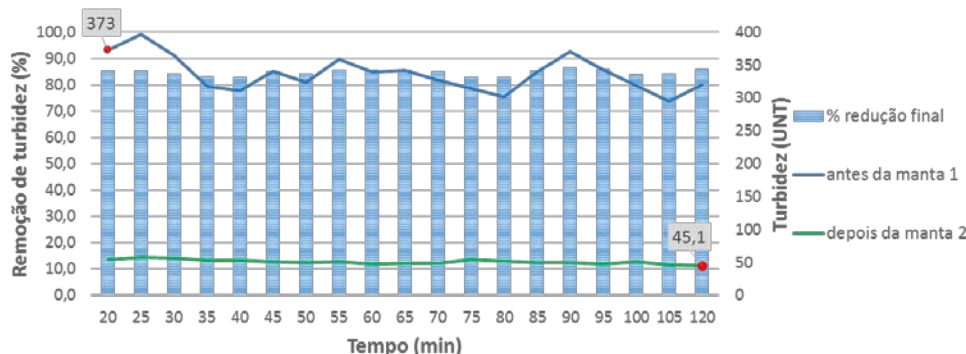


Figura 6: Resultado do teste usando sedimentos entre 212 e 106 μm .

A partir dos dados obtidos, nota-se que a remoção de turbidez no intervalo entre as barreiras manteve-se superior a 80% durante todo experimento. A sedimentação observada antes da passagem pela primeira barreira foi de 25% em média. Quando avaliada a filtração realizada por cada barreira os valores são satisfatórios, sendo 70 e 31% para a primeira e segunda manta, respectivamente. A remoção total de turbidez, considerando inclusive a sedimentação ocorrida, para esse experimento foi de 89,5%.

Para a faixa granulométrica entre 53 e 106 μm (**Figura 7**), a redução total de turbidez foi de 94,5% indicando uma excelente remoção. Nesse caso, a sedimentação antes da primeira manta foi de 25% em média.

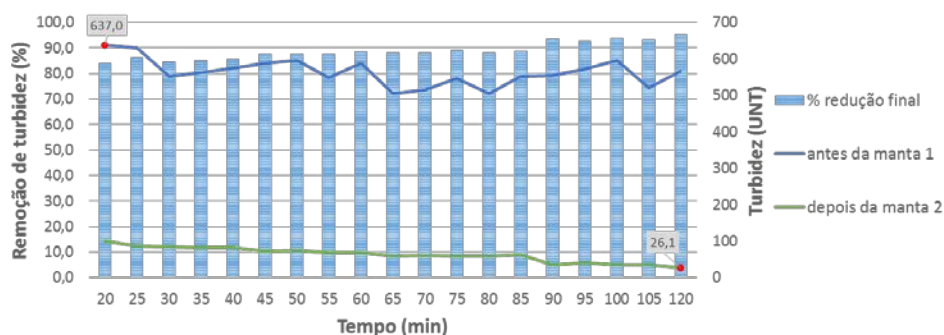


Figura 7: Resultado do teste usando sedimentos entre 106 e 53 μm .

Observando o gráfico da Figura 7, nota-se que a remoção de turbidez referente ao intervalo entre as barreiras, ou seja, antes da primeira e depois da segunda, obteve rendimento maior que 80%, chegando inclusive ao final dos testes com rendimento superior a 90%. A turbidez removida por filtração em cada barreira foi de 88 e 52% para a primeira e segunda, respectivamente.

Em relação aos sedimentos com granulometria abaixo de 53 μm , os resultados demonstram uma redução de turbidez sempre acima dos 90% referente ao intervalo de antes da primeira manta e depois da segunda (**Figura 8**). Como esperado o fator sedimentação nesse caso teve ainda menos influência ficando em média nos 22%.

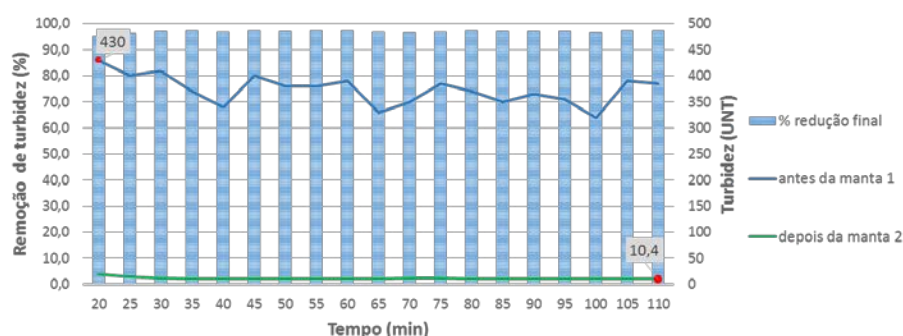


Figura 8: Resultado do teste usando sedimentos abaixo de 53 µm.

A turbidez a montante e a jusante das barreiras ficaram entre 86,2 e 58,7% para a primeira e segunda respectivamente. Os geotêxteis não demonstraram limitação quanto à faixa granulométrica, obtendo uma remoção total de 97% quando testados com os sedimentos de granulometria mais fina.

Para estabelecer alguns padrões de comportamento, os geotêxteis foram colocados em teste por um período mais longo de tempo (8 horas). Os resultados obtidos estão representados na **Figura 9**. Destaca-se ainda que todos os valores de turbidez apresentados nos gráficos correspondem invariavelmente à média aritmética simples dos registros desse parâmetro obtidos para três amostras distintas (triplicata). Como medida de erro presente em cada teste, foi considerado o desvio padrão referente à turbidez das três amostras coletadas.

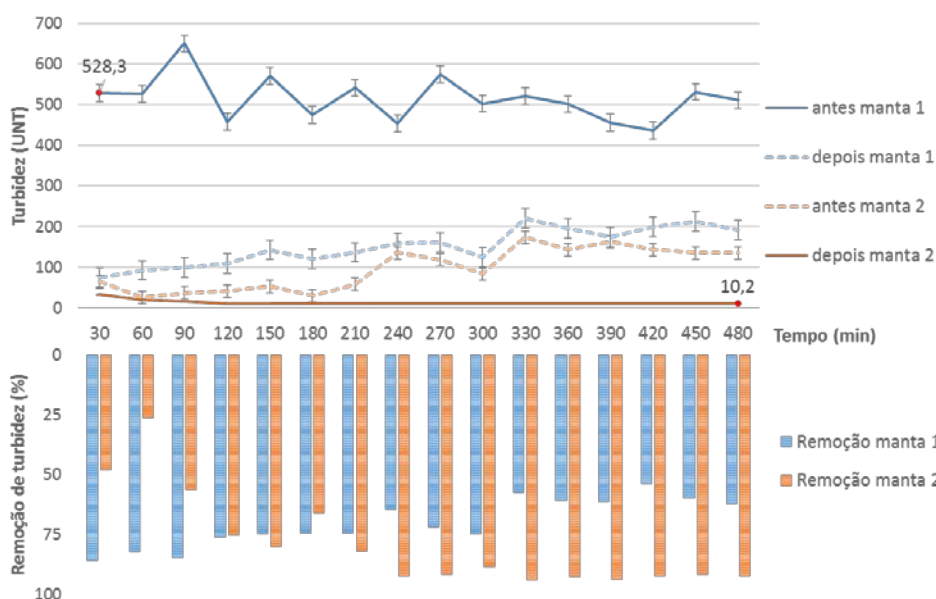


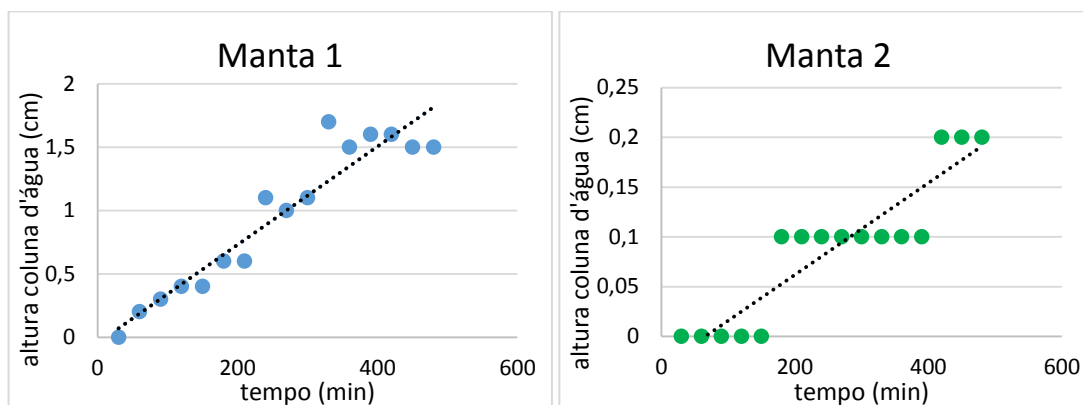
Figura 9: Resultado do teste contínuo (8 horas) usando sedimentos abaixo de 53µm.

No teste contínuo foi possível observar a repetição de algumas tendências, como a diminuição da turbidez final e a diminuição da remoção na primeira barreira à medida que o tempo passa, embora essa redução não tenha interferido na turbidez da mistura final.

Utilizando sedimentos de granulometria abaixo de 53 µm nesse teste, a redução referente ao intervalo de antes da primeira e depois da segunda manta manteve-se sempre maior que 97%, confirmando o desempenho desse sistema de remoção. A remoção referente à primeira manta ficou próxima de 70% nas primeiras cinco horas de teste, tendo caído para próximo de 60% nas horas subsequentes. A remoção referente à segunda manta seguiu um padrão de melhora gradual, sendo que ao final da primeira hora de testes sua eficiência era inferior a 30%, enquanto que no final a remoção de turbidez já era superior a 90% (mesmo com o aumento da turbidez antes da mesma). A sedimentação inicial desse experimento não foi em nenhum momento superior a 20%, ficando em média próxima de 9%, o que torna evidente a importância da presença dos geotêxteis na diminuição da turbidez para sedimentos com essa granulometria.

MODELAGEM SIMPLIFICADA DE PERDA DE CARGA E SEDIMENTAÇÃO

Devido ao efeito de colmatação dos geotêxteis, a coluna d'água tende a ficar mais alta a montante das barreiras. Esse aumento foi acompanhado por meio de régua instaladas nas laterais do equipamento e as variações temporais registradas podem ser observadas na **Figura 10** para a primeira manta e na **Figura 11** para a segunda manta.



Figuras 10 e 11: Altura da coluna d'água em relação ao tempo para a primeira manta e segunda manta.

É possível observar que o aumento da coluna d'água a montante da manta 1 ocorre de forma mais rápida (cerca de 10 vezes) que o aumento da manta 2, já que o primeiro geotêxtil recebe uma quantidade mais alta de sedimentos. Por meio de linearização pelo método dos mínimos quadrados, obteve-se a curva de aumento da coluna d'água em relação ao tempo para as duas mantas em teste (**Equações 5 e 6**):

$$h_{m1} = 0,004t - 0,045 \quad (5)$$

$$h_{m2} = 0,0005t - 0,03 \quad (6)$$

onde: h_{m1} = altura da coluna d'água na primeira manta (cm); e h_{m2} = altura da coluna d'água na segunda manta (cm) e t = tempo (min).

JAR-TEST

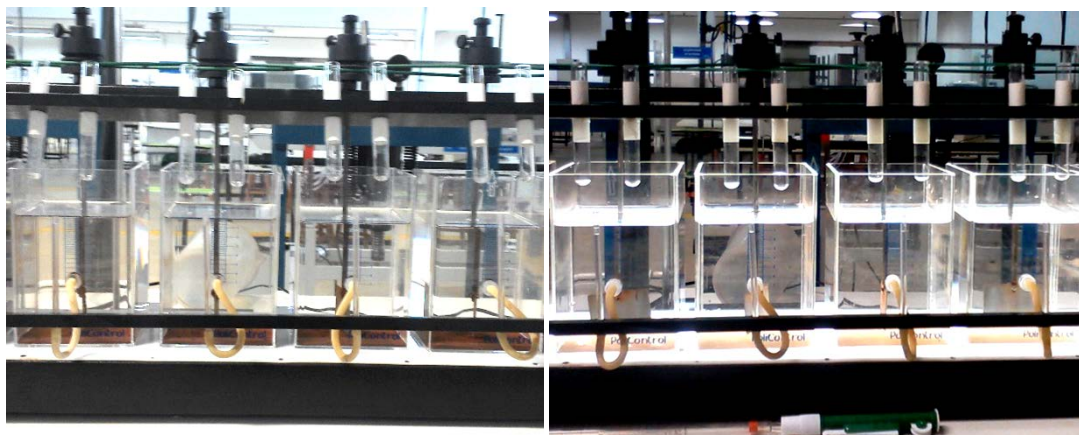
Por meio de Jar-test foi estimado-se a quantidade de coagulante que seria usada em duas situações distintas do experimento: a mistura ainda no seu estado inicial / bruto e também após a passagem pelas duas mantas. Por se tratar de uma avaliação quantitativa e não qualitativa, convencionou-se adotar como melhor valor o primeiro resultado abaixo de 5 UNT obtido após procedimento do Jar-test. A **Tabela 1** traz os resultados de Jar-test realizado.

Tabela 1: Jar-test feito usando água bruta e água depois da passagem pelas mantas.

Antes – 460 UNT		Depois – 29 UNT	
Dosagem (mg/L)	Turbidez final (UNT)	Dosagem (mg/L)	Turbidez final (UNT)
10	33,20	5	10,40
15	21,70	10	5,29
20	10,50	15	4,30
25	4,95	20	3,46
30	3,50	25	4,22
35	5,63	30	3,22

O consumo de coagulante para atingir uma turbidez abaixo de 5 UNT para as duas situações analisadas difere em 10 mg/L, o que representaria, de maneira geral, significativas economias para a operação de uma ETA. Além disso, a geração de lodo também sofreria um impacto positivo com o uso das mantas, uma vez que o

fator de redução obtido foi de aproximadamente 78%. As **Figuras 12 e 13** mostram a visível diferença na geração de lodo em amostras antes e após a passagem pelas mantas.



Figuras 12 e 13: Experimento de Jar-test realizado com água bruta e com água após a passagem pelas mantas, respectivamente. Notar a diferença de lodo ao fundo das cubas.

Os valores obtidos para geração de lodo foram de 0,1877 g/L (para a amostra sem passar pelas barreiras de redução de turbidez) e 0,0413 g/L (após a passagem), o que representa 4,5 vezes mais geração de lodo com a água bruta frente à água passada pela sequência de mantas.

DISCUSSÃO

CAVALHIERI (2013), ao avaliar a remoção de turbidez com um equipamento semelhante ao proposto pela norma ASTM D 5141 (2011), obteve resultados de remoção acima de 40% para geotêxteis novos (ou seja, ainda com as características de fábrica) e de 80% (para geotêxteis usados retirados de um canteiro de obras após dois anos ininterruptos de uso). Tais resultados reforçam ainda mais o potencial de remoção de turbidez dos geotêxteis obtidos no presente trabalho. Convém destacar, entretanto, que os dois experimentos diferem principalmente na vazão de escoamento, na inclinação e na posição do geotêxtil em teste por representarem aplicações distintas. Ainda assim, é possível observar padrões nos resultados de ambos trabalhos como melhora gradativa da remoção de turbidez e diminuição da vazão à medida que a colmatação aumenta.

Além disso, ao avaliar a viabilidade da utilização de geotêxteis não tecidos para filtração de água de chuva, SCHUJMAN (2010) obteve para a mesma classe de geotêxtil remoções de turbidez superiores a 50%, chegando a valores de 66,7% e 56,1% a partir de uma combinação de geotêxteis.

Usando as **Equações 7 e 8** propostas pela American Water Work Association – AWWA (1978) é possível estimar a quantidade de lodo gerado a partir da turbidez da mistura. Cabe mencionar que o presente trabalho não visou avaliar as premissas adotadas para a formulação das equações apresentadas adiante e, portanto, o método proposto pela AWWA (1978) foi usado apenas como um exercício para estimar a quantidade de lodo que seria gerada a partir da mistura antes e depois de passar pelas amostras de geotêxtil.

$$P = 3,5 \times 10^{-3} \times Tu^{0,66} \quad (7)$$

$$W = 86400 \times P \times Q \quad (8)$$

onde: P = produção de sólidos (kg de matéria seca / m³ de água bruta tratada), Tu = turbidez da água bruta (UNT), W = quantidade de sólidos secos (kg/dia) e Q = vazão de água bruta tratada (m³/s).

Para efeitos de cálculo também o valor adotado para a vazão tratada foi de 200L/s. A **Tabela 2** apresenta os valores de turbidez obtidos experimentalmente e as estimativas de geração de lodo calculadas a partir das equações apresentadas.

Tabela 2: Valores de turbidez obtidos experimentalmente e resultados do cálculo proposto.

Turbidez			Geração de lodo (valor estimado)		
Reservatório superior (UNT)	Reservatório inferior (UNT)	Remoção de turbidez (%)	Água bruta (Kg/dia)	Após a passagem pelas mantas (Kg/dia)	Redução de Lodo (%)
514	12,6	97,5	3722,6	322,0	91,4

Os valores calculados demonstram a dimensão da redução de lodo a partir da remoção de turbidez obtida experimentalmente. Se fosse obtida em uma situação real de uso, uma redução de apenas 20% nos valores de turbidez (tratando-se de uma turbidez da água captada de 514 UNT), representaria uma mudança na geração de lodo de 3722 Kg/dia para 1286 Kg/dia. Para esse cálculo não foram consideradas, separadamente, as dosagens de produtos químicos, porém os valores aproximam-se do que foi obtido no experimento de Jar-test realizado quando houve uma redução de 78% do lodo gerado para uma eficiência de 93% de remoção de turbidez.

A partir dos resultados é possível notar que a medida proposta tem potencial para funcionar bem, reduzindo a turbidez de forma satisfatória. Além disso, a tendência é que quanto maiores as reduções de turbidez alcançadas, menores serão os gastos com produtos químicos e com tratamento de lodo. Sabe-se, porém, que o aumento da perda de carga gerada pela colmatção dos geotêxteis diminui a taxa que escoamento através da manta, o que pode gerar repercussões indesejáveis. Outro potencialmente gerador de efeitos indesejáveis é a sedimentação ocasionada pela própria presença dos geotêxteis que, em alguns experimentos, chegou a 1 cm de altura em 8 horas.

Assim, como avaliado por CAVALHIERI (2013), é necessária uma boa fundamentação de projetos para que os resultados sejam compatíveis com os obtidos em situações reais. Nesse sentido, é essencial encontrar a condição que concilie taxa de escoamento e redução de turbidez e, para tanto, o projeto continua em andamento nos Laboratórios da Unifal, em parceria com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) e a empresa de saneamento de Poços de Caldas - MG (DMAE). Também está prevista a instalação das medidas em um dos reservatórios de abastecimento de Poços de Caldas.

CONCLUSÕES

O equipamento e a metodologia desenvolvidos permitem que uma ampla gama de testes seja conduzida em função das especificidades de cada projeto, de maneira que seja possível determinar para cada situação as condições ideais de taxa de escoamento e redução de turbidez. Para tanto, o equipamento permite a avaliação da combinação de geotêxteis de diferentes tipos (por exemplo, tecido e não tecido agulhado) e gramaturas.

Para a configuração avaliada neste trabalho (dois geotêxteis em série) pode-se destacar os seguintes resultados:

- 1) Todas as misturas de água e sedimentos de diferentes granulometrias obtiveram redução de turbidez acima de 80% (valor referente à mistura antes da primeira manta e depois da segunda). Quando inserido o fator sedimentação, a redução de turbidez ficou sempre acima de 89%, atingindo 97% de redução em alguns casos, o que demonstra que as barreiras de redução de turbidez apresentam uma importante aplicação para o controle de sedimentos muito finos. Há uma tendência visualizada em todos os gráficos da turbidez da mistura final diminuir à medida que o tempo passa, o que se deve ao fato da colmatção melhorar significativamente o fator filtração nos testes;
- 2) Quando os geotêxteis foram colocados em operação por oito horas, sua capacidade de remoção foi mantida e até mesmo melhorada em alguns pontos. Houve uma tendência da turbidez entre as duas mantas igualar-se à turbidez da mistura inicial à medida que a primeira manta perdeu eficiência. No entanto, tal fato não afeta a qualidade da mistura final devido à presença da segunda manta, o que evidencia a importância da aplicação de duas ou mais mantas em série; e
- 3) A síntese dos resultados mostrou que, apesar da sedimentação antes do contato com o primeiro geotêxtil existir, esse fenômeno não foi expressivo em nenhum dos testes quando comparado com a redução de turbidez via filtração gerada pelas dois geotêxteis em série.

Por fim, os resultados mostram a importância da aplicação dos geotêxteis como barreiras flutuantes para controle de sedimentos em suspensão e também evidenciam a necessidade de se estudar as demais variáveis

envolvidas no processo, de maneira que para uma melhor formulação de diretrizes associadas à otimização do desempenho de barreiras flutuantes para o controle de sedimentos em suspensão e contribuir com a difusão desse tipo de medida e, portanto, beneficiar um amplo conjunto de empreendimentos. Além disso, observa-se que as medidas estudadas neste trabalho tem bastante potencial para beneficiar diferentes tipos de ETAS, visto que tendem a diminuir o uso de produtos químicos (coagulantes) e, consequentemente, reduzir a geração de lodo (um dos grandes problemas em ETAS atualmente).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. ASTM D 5141: Standard test method for determining filtering efficiency and flow rate of a geotextile for silt fence application using site-specific soil. Pennsylvania, 2011.
2. AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION – AWWA, Water treatment plant sludges, Journal AWWA, 1978.
3. ANDRADE SILVA, M. S. de; et. al.. Estimativa da quantidade de lodo produzido no tratamento de água do tipo convencional e Actiflo®: comparação de metodologias. Encontro de Engenharias e Tecnologia dos Campos Gerais. Ponta Grossa, 11p. 2013.
4. BRASIL. Lei n.º 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 3 ago., 2010. Seção 1. pt. 3.
5. CAVALHIERI, C. P.. Avaliação de geotêxteis não-tecidos em cercas-silte para remoção de turbidez. Dissertação (mestrado). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2013.
6. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT. Apoio tecnológico ao desenvolvimento de programas e medidas ambientais da fase de instalação do trecho sul do Rodoanel (SP-021): atividades de novembro/2008. São Paulo: IPT, Relatório Técnico, 2008.
7. SCHUJMAN, O. S.. Estudo da viabilidade técnica de utilização de geotêxteis não tecidos para filtração da água da chuva. Monografia. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo: São Carlos. 77p. 2010.
8. SOUZA JUNIOR, W. C. de; PAVANI, B. F.; GONÇALVES, D. A.. Estimativas de erosão e transporte de sedimentos para corpos d'água como indicadores para pagamentos por serviços ambientais. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 17p. 2011.