

Avaliação e desenvolvimento experimental para testes de barreiras flutuantes visando à contenção de sólidos suspensos

Evaluation and experimental development for testing turbidity curtains aiming for suspended solids containment

- **Data de entrada:**
03/04/2017
- **Data de aprovação:**
03/04/2017

Eduardo Paniguel Oliveira/ Rafael Brito de Moura/ Diego de Souza Sardinha/
Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes/ Alexandre Silveira/ Rafael de Oliveira Tiezzi*

DOI: 10.4322/dae.2018.030

Resumo

Cortinas ou barreiras de redução de turbidez foram idealizadas para conter plumas de sólidos suspensos em corpos d'água. A captação de água com elevada turbidez causa o aumento de custos com produtos químicos e na gestão do lodo em estações de tratamento de água (ETA). Com a finalidade de reduzir a turbidez no manancial, o presente estudo avaliou o desempenho de 7 diferentes barreiras flutuantes utilizando geotêxteis com gramaturas de 130 a 600 g/m². A metodologia criada utilizou um canal de acrílico com duas barreiras em sequência, vazão de 2,4 L/min e concentração de sólidos de 1g/L. Os resultados apresentaram reduções média de turbidez entre 10 a 71%, retenção de massa de 1,3 a 22%, a perda de carga final em cada barreira variando entre 0,0 e 2,5 centímetros e o *Jar-test* apresentou valores de 15mg/L de coagulante para a amostra coletada após a barreira e 25mg/L para a água bruta.

Palavras-chave: Cortinas de turbidez. Turbidez. Geotêxtil.

Abstract

Floating turbidity curtains or barriers were idealized to contain turbidity plumes in water bodies. The presence of high turbidity in the raw water increases the cost of chemical products in water treatment plants (WTP) and increases the generation of sludge. With the purpose to reduce the turbidity in the source, this study evaluated the use of 7 different floating barriers using geotextile with weight from 130 to 600 g/m². The created method used an acrylic channel with two barriers in sequence, flow of 2,4L/min and solids concentration of 1g/L. The results obtained are average turbidity reduction from 10 to 71%, mass retention of 1,3 to 22%, head loss between 0,0 and 2,5 centimeters and the *Jar-Test* resulted in the use of 15mg/L of coagulant for the sample collected after the barriers and 25mg/L for the raw water.

Keywords: Floating turbidity barrier. Turbidity. Geotextile.

Eduardo Paniguel Oliveira – Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Alfenas (Unifal). Mestrando em Ciência e Engenharia Ambiental na Unifal.

Rafael Brito de Moura – Engenheiro Ambiental, MSc e PhD em Ciências da Engenharia (Hidráulica e Saneamento). Professor do Instituto de Ciência e Tecnologia da Unifal.

Diego de Souza Sardinha – Engenheiro Ambiental, MSc e PhD em Geologia Regional. Professor do Curso de Engenharia Ambiental do Instituto de Ciência e Tecnologia da Unifal.

Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes – Engenheiro Ambiental, MSc e PhD em Geociências Aplicadas (Geoprocessamento e Análise Ambiental) pelo Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Professor do Instituto de Ciência e Tecnologia da Unifal.

Alexandre Silveira – Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista (Unesp), Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor do Curso de Engenharia Ambiental do Instituto de Ciência e Tecnologia da Unifal.

Rafael de Oliveira Tiezzi – Engenheiro Ambiental, MSc em Planejamento Energético e PhD em Recursos Hídricos, Energéticos e Ambientais. Professor do Instituto de Ciência e Tecnologia da Unifal.

***Endereço para correspondência:** Rodovia José Aurélio Vilela, 11999 (BR 267 Km 533) – Cidade Universitária – Poços de Caldas – MG. CEP: 37715-400. Telefone: (35) 3697-4761. E-mail: rtiezzi@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da água está intrinsicamente ligada à qualidade de vida e à saúde das pessoas que podem usufruir desse benefício. Um dos fatores de maior influência na geração de lodo em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) são os sólidos em suspensão presentes na água captada (CABRAL et al., 2016). O solo desprendido pela ação da água de chuvas em ambientes naturalmente descampados ou degradados acaba sendo carregado aos mananciais superficiais, elevando-se a concentração de sólidos em suspensão e por consequência a turbidez, um dos resultados mais visíveis da erosão (LEPSCH, 2011).

O controle dos efeitos adversos causados pela ação das chuvas no recurso hídrico está na redução do processo erosivo nas vertentes da bacia. No entanto, para tal seriam necessárias ações e aplicações de recursos na conservação do solo ou na manutenção e recuperação da cobertura nativa. Dentro da realidade brasileira, esses tipos de ações protetivas estão longe de ser uma priorida-

de entre os gestores dos recursos hídricos, sendo o principal motivo a inexistência de mecanismos eficazes que demonstrem a viabilidade econômica e social para esse tipo de investimento (ALABAMA SOIL AND WATER CONSERVATION COMMITTEE, 2003).

Para problemas associados ao transporte de sedimentos, há uma forma de controle com o emprego de cortinas de redução de turbidez, também chamadas de barreiras flutuantes. Tal método está presente na literatura de forma mais intensa a partir da década de 90 e pode ser encontrado, como exemplo, no *Alabama Handbook for Erosion Control, Sediment Control and Storm water Management on Construction Sites and Urban Areas* (2003). A simplicidade do processo de aplicação e a baixa necessidade de manutenção despertam o interesse para esta metodologia, como nas obras do trecho Sul do Rodoanel, Região Metropolitana de São Paulo (IPT, 2008), Figuras 1 e 2 e, em cercas-silte (CAVALHIERI, 2008).



Figura 1: Aplicação de barreiras flutuantes na obra do trecho Sul do Rodoanel, notar diferença na tonalidade da água
Fonte: IPT, 2008



Figura 2: Aplicação de sequências de barreiras flutuantes na obra do trecho Sul do Rodoanel, notar diferença na tonalidade da água

Fonte: IPT, 2008

Como pode ser visto nas Figuras 1 e 2, as cortinas de turbidez apresentam visualmente uma redução na turbidez, aumentando a qualidade da água no manancial que segue para as estações de tratamento de água. O método de barreiras flutuantes mostra-se eficiente em sua aplicação, porém não há estudos que quantifiquem a redução de turbidez ou sólidos suspensos a partir desse método.

As ETA convencionais possuem na etapa inicial do processo a aplicação de coagulante. A quantidade de coagulante aplicado, em geral sulfato de alumínio, é determinada pelas características do material suspenso e principalmente pela concentração do mesmo (KAWAMURA, 2000). Os sólidos suspensos depois de agregados pelo coagulante são retirados do sistema por etapas de decantação e filtração na forma de lodo. O tratamento de lodo eleva muito os custos envolvidos nos processos de destinação final, fazendo com que a maioria dos sistemas de tratamento de água acabe dispondo o lodo no ambiente de forma incorreta. Frequentemente é observado o

descarte no corpo hídrico mais próximo, provocando impactos ambientais negativos.

De acordo com a NBR 10.004 (2004), o lodo gerado na ETA é classificado como resíduo sólido, podendo ainda ser classificado como resíduo sólido industrial quando atinge o limite máximo de concentração de 0,2mg/L de alumínio no extrato, não sendo permitido o lançamento do lodo in natura nos corpos hídricos. O desrespeito à legislação faz com que mananciais superficiais tenham sua qualidade comprometida devido ao lançamento desses resíduos. Saneas (2009) mostra que em grandes centros urbanos essa prática tem aumentado a quantidades de sólidos e conseqüentemente a turbidez em corpos d'água, bem como a sua toxicidade. Essa prática danosa pode comprometer de forma grave os ecossistemas aquáticos. Entre as modificações encontradas destacam-se: o assoreamento dos corpos hídricos; a alteração da qualidade da água; aumento da concentração de metais e de sólidos; e o risco de dispersão de

organismos patogênicos, de acordo com Silva (2008) e Burgos et al. (2014).

Diversos autores estudam alternativas para destinar, corretamente, os lodos produzidos em ETAs: incorporá-lo ao afluente de ETE (SCALIZE et al., 2014); incrementá-lo em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário (GONÇALVES et al., 2017); além de estudos que otimizem o processo de secagem do lodo (KURODA et al., 2014). Antes de pensar na remediação ou do destino final, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei Federal 12.305/2010) prioriza a medida de não geração de resíduos sólidos. Com isso, o presente trabalho tem como finalidade avaliar o desempenho de diferentes barreiras na redução de turbidez, refletindo no aumento da qualidade da água, diminuindo a quantidade de lodo gerada e reduzindo gastos com insumos químicos nas ETA.

2 OBJETIVOS

Avaliar, em escala laboratorial, barreiras flutuantes para a contenção de sólidos suspensos e diminuição de turbidez em reservatórios de ETAs.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Material

3.1.1 Canal

O experimento foi realizado em um canal de acrílico com dimensões de 1,36 x 0,28 x 0,20 metros -- comprimento útil x largura útil x altura do vertedouro -- respectivamente, totalizando um volume útil próximo a 80 litros. O canal tem uma declividade igual a 0,0015m/m.

3.1.2 Afluente

Como fonte de sólidos em suspensão, foram utilizadas amostras de solos, moídos e peneirados até atingirem granulometrias de silte e argila, passante em peneiras de 200 mesh, menores que 75 μm . A concentração de sedimentos foi dosada em 1 g/L de água, atingindo turbidez média de 460 NTU.

3.1.3 Barreiras flutuantes

Para cada experimento foram utilizadas duas barreiras de geotêxtil com distância de aproximadamente 0,48 cm, alocadas dentro do canal com o auxílio de uma moldura de acrílico de forma a preencher toda a secção molhada.

Foram utilizados 7 diferentes geotêxteis para as mesmas condições de ensaios, apresentadas na Tabela 1. Para cada experimento realizado foi utilizada a mesma gramatura de manta geotêxtil para ambas as barreiras flutuantes.

Tabela 1. Gramatura (g/m^2) das mantas geotêxteis experimentais utilizadas.

Geotêxtil tecido (T)	440
	130
Geotêxtil não tecido (NT)	180
	200
	400
	500
	600

3.2 Métodos analíticos

3.2.1 Turbidez

A medição da turbidez foi realizada em 9 pontos representativos: na saída do reservatório inicial e no canal, divididos em duas alturas, a 6 e 15 centímetros de profundidade (Figuras 3), sendo realizadas 17 amostragens, com intervalos de 20 minutos cada.

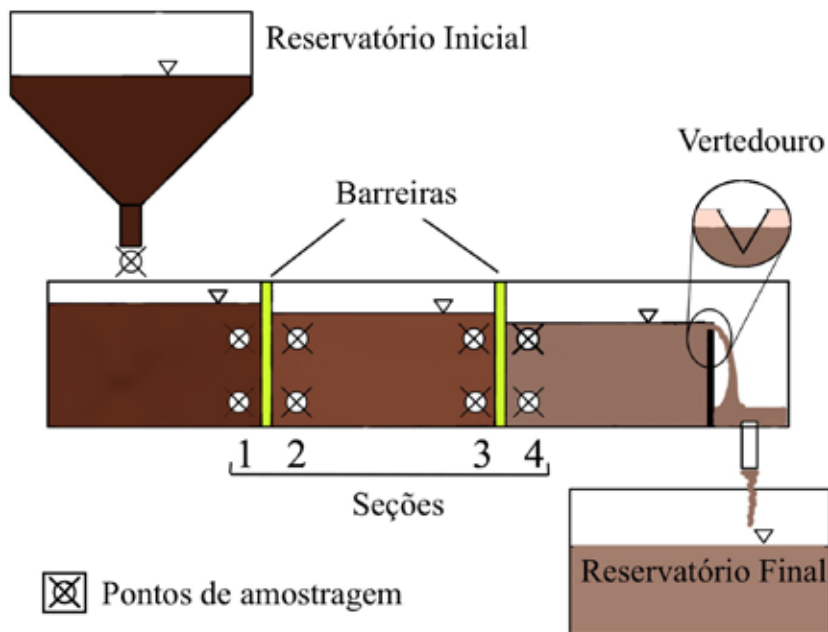


Figura 3. Desenho esquemático do experimento realizado.

Fonte: Autores.

As medidas de turbidez foram obtidas com a utilização de um turbidímetro de bancada Del Lab, modelo DLT-WV, previamente calibrado com soluções de <10 NTU, 10 NTU, 100NTU e 800 NTU, condizentes com a escala utilizada para o experimento.

A turbidez de cada seção foi considerada como sendo a média das duas amostras coletadas para um determinado tempo, de acordo com a Equação 1.

$$T_{seção\ i} = \frac{T_{seção\ i,6cm} + T_{seção\ i,15cm}}{2} \quad (1)$$

Em que: $T_{seção\ i}$ é a turbidez na seção i analisada - 1, 2, 3 ou 4 - (NTU); $T_{seção\ i,6cm}$ é a turbidez da amostra a 6 cm de profundidade na seção i analisada (NTU); $T_{seção\ i,15cm}$ é a turbidez da amostra a 15 cm de profundidade na seção i analisada (NTU).

Também foram avaliadas as capacidades de redução de turbidez de cada barreira para cada instan-

te de tempo medido, Equações 2 e 3, e a redução do sistema para cada instante de tempo medido (conjunto das barreiras), de acordo com as Equações 4 e 5.

$$R_{barreira\ i} = T_{seção\ anterior} - T_{seção\ após} \quad (2)$$

Em que: $R_{barreira\ i}$ é a redução de turbidez (NTU) realizada pela barreira i (1ª ou 2ª).

$$\%R_{barreira\ i} = \left(1 - \frac{T_{seção\ após}}{T_{seção\ anterior}}\right) \times 100 \quad (3)$$

Em que: $\%R_{barreira\ i}$ é a redução em porcentagem realizada pela barreira i .

$$R_{sistema} = T_{seção\ 1} - T_{seção\ 4} \quad (4)$$

$$\%R_{sistema} = \left(1 - \frac{T_{seção\ 4}}{T_{seção\ 1}}\right) \times 100 \quad (5)$$

3.2.2 Massa retida

Os geotêxteis utilizados foram pesados em balança analítica antes e após o experimento. Após o término de cada experimento, todo o sistema foi colocado em repouso por 1 dia, para a sedimentação, esvaziamento do canal, retirada, secagem e pesagem das mantas experimentais. A diferença de massa indica a quantidade de material retido na barreira flutuante e/ou manta experimental (Eq 6). A massa sedimentada no canal esvaziado também foram quantificadas.

$$\% \text{ massa retida} = \frac{m_{\text{Manta após uso}} - m_{\text{Manta antes do uso}}}{m_{\text{total de sedimento do experimento}}} \quad (6)$$

3.2.3 Perda de carga

A altura da lâmina d'água e do material sedimentado foi obtida por meio da leitura de réguas graduadas fixadas ao lado externo do canal. As leituras foram realizadas em intervalos próximos de 20 minutos, totalizando 17 leituras. Com isso, a perda de carga foi estipulada de acordo com a Equação 7.

$$\text{Perda de carga} = H_{\text{antes}} - H_{\text{depois}} \quad (7)$$

Em que: H_{antes} é a altura da lâmina d'água antes da barreira (cm); H_{depois} é a altura da lâmina d'água depois da barreira (cm).

3.3 Procedimento

No início de cada experimento o canal foi preenchido com água limpa; as barreiras eram alocadas e então abria-se a válvula para entrada do afluente.

O reservatório inicial era preenchido com 140 Litros de água e 140g de sedimento e era agitado manualmente. Durante cada experimento, essa solução foi reposta seis vezes.

Cada conjunto de barreiras foi avaliado durante um tempo próximo a 6 horas, totalizando 840L de afluente utilizado. A vazão foi controlada por meio de uma válvula gaveta manual e mantida próxima a 2,4 litros por minuto.

As coletas de dados de turbidez, perda de carga e altura do sedimento ocorreram em intervalos próximos a 20 minutos, totalizando 17 medidas para cada conjunto de barreiras.

Após o término, o sistema ficava em repouso durante 1 dia para ocorrer a sedimentação da massa suspensa. O esvaziamento do canal era feito de forma lenta a partir de uma válvula. As barreiras eram retiradas do suporte de acrílico e secas em estufa, e o material sedimentado era coletado e pesado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito da gramatura na turbidez

Com os dados de turbidez obtidos, foi possível avaliar as barreiras em duas maneiras: avaliando cada uma delas separadamente e avaliando o sistema das duas barreiras em conjunto.

A Figura 4 apresenta os resultados de turbidez para a seções 1, 2 e 4 – antes da primeira barreira, após a primeira barreira e após a segunda barreira. Como é possível observar, o aumento da turbidez ocorre com o passar do tempo, o afluente inserido no canal concentra-se antes das barreiras e com o passar do tempo maior quantidade de sólidos suspensos passa pelas barreiras, indicado pelo aumento da turbidez nas seções 2 e 4.

As flutuações nos valores de turbidez podem ter ocorrido devido às correntes de dispersão dentro do canal, que não ocorrem de forma uniforme e homogênea, pela flutuação no controle manual da vazão de entrada do afluente, desprendimento de plumas de turbidez da barreira e suspensão do material sedimentado.

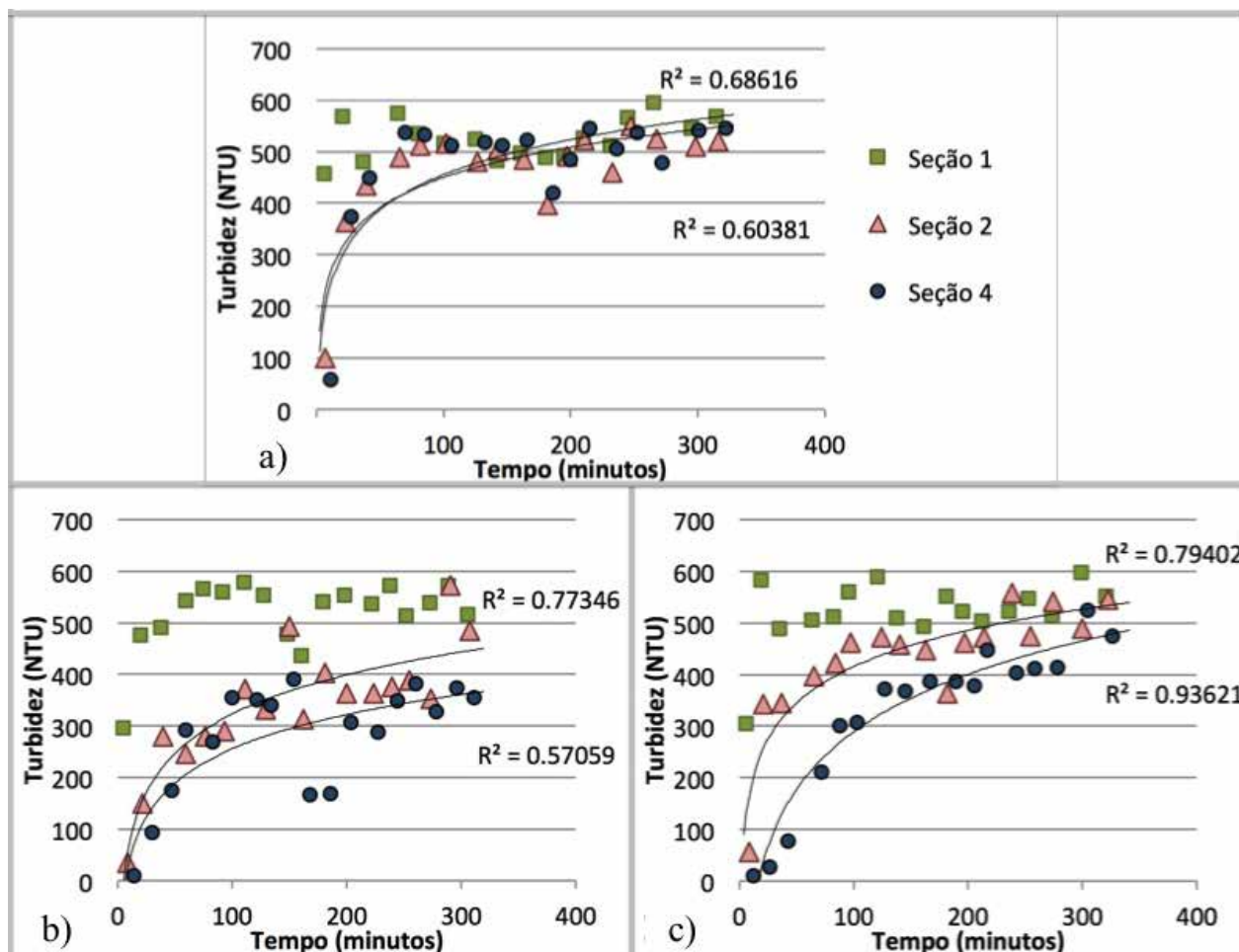
Os dados das seções 1 e 4 da Figura 4 foram agrupados e apresentados na Tabela 2, mostrando os valores de média, mediana, máxima e mínima redução em % da turbidez.

Tabela 2. Redução da turbidez nas barreiras flutuantes em cada conjunto, seção 1 e seção 4.

Conjunto	Média	Mediana	Máximo	Mínimo
T - 440	10%	1%	87%	-6%
NT - 130	48%	42%	97%	18%
NT - 180	39%	28%	97%	11%
NT - 200	32%	28%	87%	9%
NT - 400	64%	62%	95%	35%
NT - 500	71%	73%	95%	43%
NT - 600	66%	67%	94%	33%

O conjunto de barreias flutuantes, manta geotêxtil tecida (T-440), apresenta valores muito inferior

res aos das mantas geotêxtis não tecidas, mesmo possuindo gramatura intermediária de 440g/m². Esse fato pode ser explicado devido à trama de fios presentes na manta tecido, que possui poros maiores que 240µm. Como o sedimento utilizado é o passante da peneira de 75µm, o material em suspensão apresentou pouca dificuldade para atravessar a manta geotêxtil tecida. Outro fato a respeito desse conjunto de barreias é o valor mínimo de redução ser negativo, devido à turbidez na seção 4 ser maior que a turbidez na seção 1 em determinado ponto do experimento (Tabela 2 e Figura 4). Os resultados obtidos para gramaturas próximas (NTs – 130, 180 e 200) apresentaram flutuações que podem estar relacionadas às variações na própria manta geotêxtil, que não são completamente uniformes.



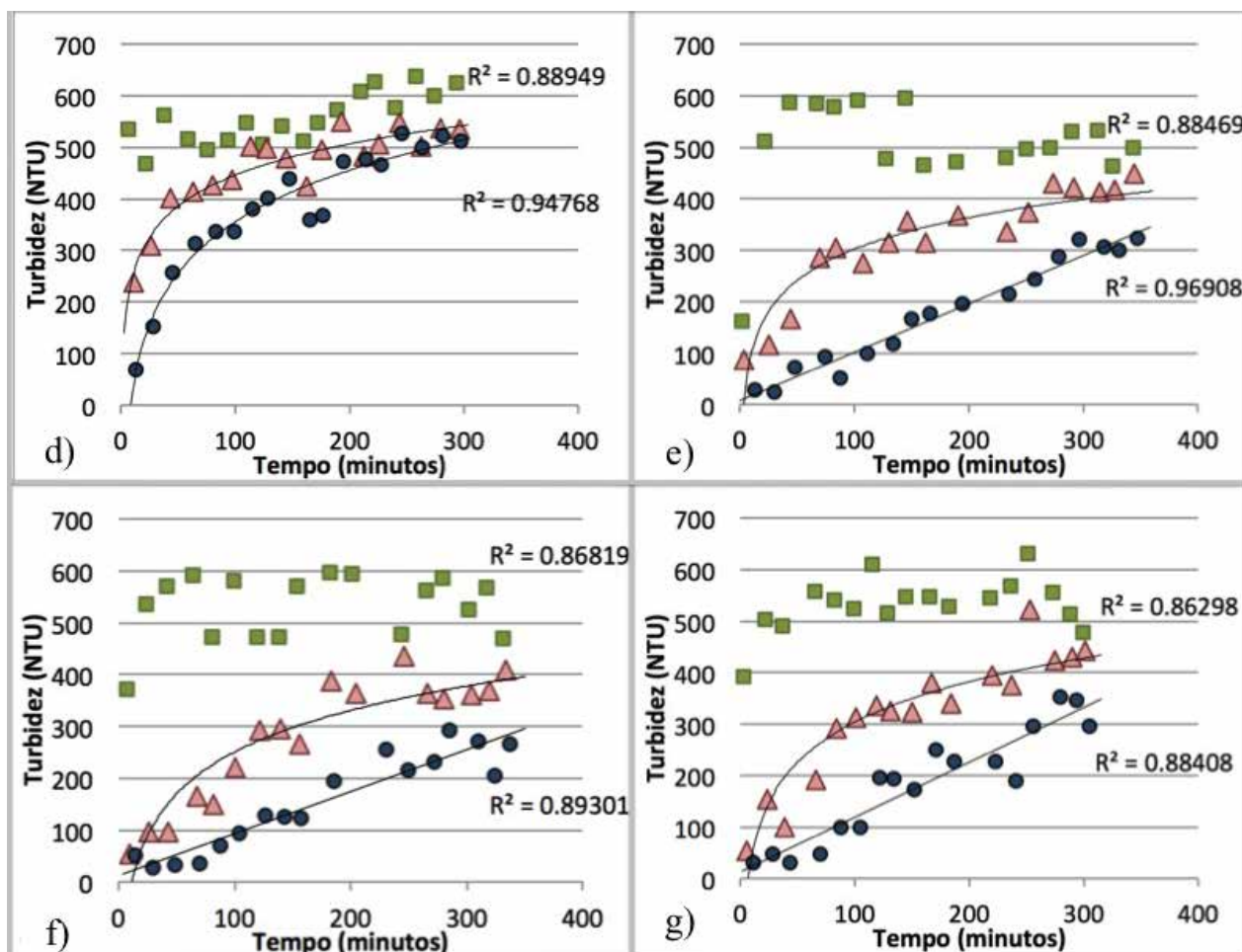


Figura 4: Turbidez obtida para as seções 1, 2 e 4 dos experimentos realizados e os ajustes R2 para os dados da seção 2 e 4. Em que: a) Tecida; b) 130g/m²; c) 180g/m²; d) 200g/m²; e) 400g/m²; f) 500g/m²; 600g/m².

Percebe-se que a tendência da turbidez na seção 2 possui o comportamento logarítmico, enquanto a turbidez na seção 4 possui comportamento logarítmico para as menores gramaturas (130, 180 e 200) e linear para as maiores gramaturas (400, 500 e 600). É interessante observar que os conjuntos NT-400, 500 e 600 possuem, mesmo ao final do experimento, um potencial de redução de turbidez, pois os valores de turbidez médio após a segunda barreira estão na faixa de 280 a 350, enquanto na entrada os valores fluam de 450 a 550.

Observa-se que as primeiras barreiras saturam de forma mais rápida que as segundas barreiras. Pensando na aplicação desse método em corpos hídricos (reservatórios), é interessante pensar na utilização de várias barreiras subsequentes, melhorando a eficiência total, garantindo o funcionamento e facilitando a manutenção e troca das barreiras saturadas.

Avaliando a turbidez retida em cada barreira separadamente, foi gerada a Tabela 3, que apresenta os valores de redução em NTU e em porcentagem para as 1^a e 2^a barreira de cada conjunto.

Tabela 3. Redução média da turbidez em cada barreira.

Conjunto	Redução de Turbidez Média (NTU e %)					
	1ª Barreira	%	2ª Barreira	%	Conjunto	%
T - 440	63	12%	11	2%	50	10%
NT - 130	180	36%	57	21%	241	48%
NT - 180	91	19%	109	30%	186	39%
NT - 200	92	17%	77	20%	173	32%
NT - 400	182	36%	147	50%	324	64%
NT - 500	255	48%	118	46%	376	71%
NT - 600	215	41%	152	49%	350	66%

Na Tabela 3, os valores de turbidez antes da primeira barreira são maiores, devido à entrada do afluente no canal. Conseqüentemente, os valores de redução de turbidez em NTU foram maiores para as primeiras barreiras do que para a segunda barreira. Ao avaliar a porcentagem de redução média realizada pelas barreiras, porém, percebe-se que as segundas barreiras mostraram-se tão eficientes quanto as primeiras barreiras ou melhores. Contudo, feita a análise da Figura 4, e das Tabelas 2 e 3, pode-se concluir que ambas as barreiras conseguem reduzir a turbidez em um primeiro momento, porém com o passar do tempo a eficiência tende a cair ao ponto de reduzir muito pouco a turbidez (observado nas barreiras NT – 180 e 200). Para determinar o ponto ideal de troca do material das barreiras deve ser estudado o comportamento para maiores escalas temporais e físicas.

4.2 Efeito da gramatura na retenção de massa

Paralelamente às medições de turbidez e na determinação de filtração para cada manta geotêx-

til, foi analisada a massa retida em cada barreira flutuante. Os resultados apresentados na Tabela 4 resumem as condições presentes durante todo o experimento em uma única medida; diferentemente da medição de turbidez, que pode sofrer variações em pequenos intervalos de tempo, devido à movimentação de plumas. Para cada conjunto, a massa total utilizada foi de 860 g aplicadas ao longo do experimento. De toda a massa inserida no canal pelo afluente, a maior parte sedimenta ao fundo do canal, apresentando valores de sedimentação de 65 a 77%.

A massa retida em cada barreira flutuante é proporcional ao aumento das gramaturas, com exceção da barreira geotêxtil tecida (T-440), pelos motivos citados na discussão da redução de turbidez. Nos ensaios com barreiras de gramatura 600 g/m², a massa total retida nas barreiras foi de 22% e do material sedimentado 70%, quando comparado com todo o material colocado em solução. Nesse caso, o sistema permitiu reduzir em 92% a massa colocada em suspensão.

Tabela 4. Massa retida nas barreiras flutuantes.

Conjunto	Massa Retida (gramas)					
	1ª Barreira	%	2ª Barreira	%	Soma	%
T - 440	8.7	1%	2,7	0,3%	11.4	1,3%
NT - 130	35.1	4%	22.7	3%	57.8	7%
NT - 180	43.0	5%	28.1	3%	71.1	8%
NT - 200	43.7	5%	26.3	3%	70.0	8%
NT - 400	104.2	12%	66.3	8%	170.3	20%
NT - 500	101.0	12%	50.5	6%	151.5	18%
NT - 600	124.7	15%	62.6	7%	187.3	22%

A partir da Tabela 4, as primeiras barreiras flutuantes, por receberem um maior aporte de sedimentos, possuem um valor maior de massa retida quando comparadas com as segundas barreiras flutuantes. Tal característica pode ser explorada em escala real (reservatórios de abastecimento), realizando combinações de gramaturas e utilizando sequências de duas ou mais barreiras. Ao estabelecer uma sequência sucessiva de gramaturas, as primeiras barreiras proporcionariam a sedimentação, porém não conseguiriam reter grandes quantidades de materiais, enquanto as últimas barreiras com gramaturas maiores apresentariam maior dificuldade para a passagem do material suspenso, retendo-o nas barreiras além de proporcionar a sedimentação.

4.3 Efeito da gramatura na perda de carga

As barreiras flutuantes que apresentam maior redução de turbidez e maior retenção de massa refletem em uma maior dificuldade para a passagem da água pela manta geotêxtil, fator avaliado com a análise da perda de carga da Tabela 5. Além disso, a Tabela 6 apresenta os valores obtidos para a altura do material sedimentado antes de cada barreira flutuante.

Tabela 5. Perda de carga final medida para cada barreira flutuante.

Conjunto	Perda de Carga final (cm)	
	1ª Barreira	2ª Barreira
T - 440	0,30	0,0
NT - 130	0,25	0,1
NT - 180	0,6	0,4
NT - 200	0,6	0,3
NT - 400	2,4	1,0
NT - 500	2,9	1,4
NT - 600	2,5	1,3

Tabela 6. Altura do sedimento ao final do experimento antes de cada barreira flutuante.

Conjunto	Altura do Sedimento Final (cm)	
	1ª Barreira	2ª Barreira
T - 440	0,40	0,20
NT - 130	0,50	0,15
NT - 180	0,30	0,20
NT - 200	0,45	0,30
NT - 400	0,70	0,20
NT - 500	0,75	0,20
NT - 600	0,75	0,20

As barreiras flutuantes diminuem a velocidade do escoamento e bloqueiam material suspenso; conseqüentemente, esse material sedimenta e se deposita durante o experimento. Nas barreiras flutuantes, as mantas com maiores gramaturas apresentam uma altura de sedimentos maior ao final do experimento. Isso também pode estar influenciando a perda de carga, pois antes da barreira há uma altura maior de sedimento do que após a barreira (Tabelas 5 e 6).

4.4 Jar-Test

Para quantificar o gasto de coagulante em dois momentos distintos do experimento, usou-se uma amostra da solução preparada (água bruta) e uma amostra de água coletada após a passagem pelas barreiras flutuantes, para realizar o Jar-test. Por se tratar de uma avaliação quantitativa e não qualitativa, foi tomado como melhor valor para cada uma das amostras de água o primeiro resultado abaixo de 5 NTU obtido após procedimento do Jar-test, cujos resultados estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Resultado Jar-Test realizado para a água bruta e água após a passagem pelas barreiras flutuantes.

Antes - 460 NTU		Depois - 29 NTU	
Dosagem (mg/L)	Turbidez final (NTU)	Dosagem (mg/L)	Turbidez final (NTU)
10	33,2	5	10,4
15	21,7	10	5,29
20	10,5	15	4,3
25	4,95	20	3,46
30	3,5	25	4,22
35	5,63	30	3,22

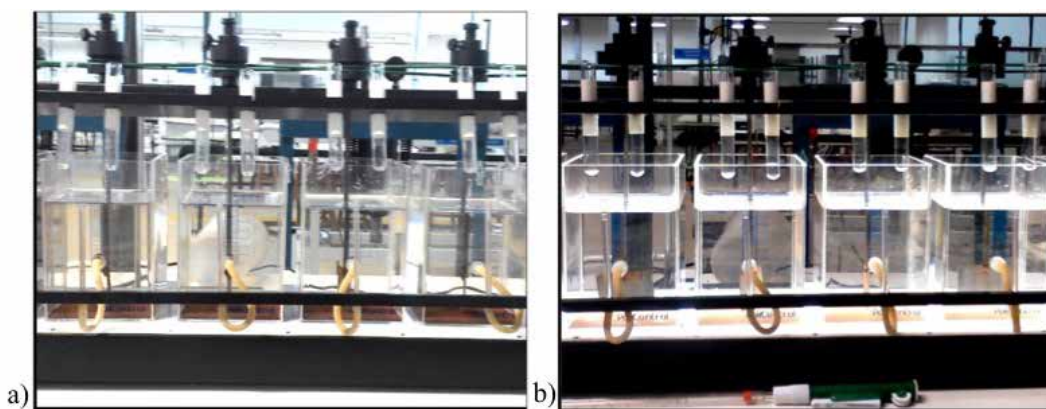


Figura 5. Experimento Jar-test realizado com (a) água bruta, (b) água após a passagem pelas barreiras.

Os valores obtidos para a geração de lodo foram de: 0,19 g/L quando aplicado 25mg/L de coagulante para a amostra de água bruta; e de 0,04 g/L de lodo quando aplicado 15mg/L de coagulante para a amostra de água passada pelas barreiras flutuantes. Isso representa aproximadamente 4,5 vezes mais geração de lodo com a água bruta, quando comparado com a água passada pela sequência de barreiras flutuantes, indicando uma redução de turbidez de forma satisfatória. Com isso, quanto maior a redução de turbidez alcançada, menor o gasto com produtos químicos e com tratamentos de lodos. Contudo, sabe-se que o aumento da perda de carga gerada pela colmatação dos geotêxteis diminui a vazão, podendo então gerar repercussões indesejáveis em longo prazo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento possibilitou o estudo da retenção de sólidos suspensos com a utilização de duas bar-

reiras flutuantes formadas por mantas geotêxteis, em série e em um canal hidráulico. Com o estudo realizado, foi possível avaliar e comparar a redução de turbidez, a massa retida nas barreiras e a perda de carga para ensaios com sete diferentes gramaturas de geotêxteis. Assim, para as condições avaliadas neste trabalho, pode ser destacado:

1) Os experimentos realizados com as barreiras flutuantes de geotêxtil proporcionaram uma redução de turbidez diferenciada para cada gramatura avaliada, utilizando os testes de 6 horas, gerando uma oportunidade para comparação entre cada tipo de barreira;

2) Quanto maior a gramatura dos geotêxteis avaliados, maior a redução de turbidez. As maiores gramaturas apresentaram redução média de turbidez atingindo valores de 71%, enquanto para as menores gramaturas a média foi de 32%;

3) De maneira análoga à turbidez, as maiores gramaturas conseguiram reter maiores massas de sedimentos, atingindo valores de 22% da massa total;

4) Comparando o Jar-Test para a amostra bruta e a que passou pelas barreiras, a redução de coagulante foi de 40% e a geração de lodo foi 78% menor.

A gramatura é uma variável importante a ser determinada na utilização dessa tecnologia em reservatórios de água. No entanto, deve ser levado em conta que maiores reduções de turbidez estão relacionadas a maiores perdas de carga. Portanto, a utilização de sequências de barreiras flutuantes com variadas gramaturas, começando com as menores e seguidas de gramaturas mais elevadas, pode ser interessante. Isso poderá auxiliar na sedimentação do material suspenso ao encontrar as barreiras com menores gramaturas; na sequência, as barreiras com maiores gramaturas podem promover a retenção do material restante, evitando o cegamento e a colmatação das barreiras logo de início.

Os resultados também demonstram a importância dessa tecnologia para o controle de sedimentos em corpos hídricos. No entanto, mais estudos devem ser realizados para formular diretrizes associadas à otimização do desempenho das barreiras flutuantes visando contribuir com a difusão dessa tecnologia. Nesse sentido, o principal benefício ambiental e econômico na utilização dessa tecnologia está no aumento da qualidade do corpo hídrico antes da captação de água bruta para as ETAs, na diminuição do uso de produtos químicos (coagulantes) e consequentemente na redução do lodo gerado, um dos principais problemas na gestão ambiental desses sistemas. Por fim, nesse estudo não foi avaliado o tempo útil até o completo cegamento e colmatação das mantas geotêxteis. Com isso, recomenda-se a realização desses estudos em escala de campo para melhor interpretar as dinâmicas envolvidas nos reservatórios de captação d'água.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004/2004 Classificação de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, ABNT, 2004.

ALABAMA SOIL AND WATER CONSERVATION COMMITTEE. **Alabama Handbook for Erosion Control, Sediment Control and Stormwater Management on Construction Sites and Urban Areas: Developing Plans and Designing Best Management Practices**. 4. ed. Montgomery, Alabama, 2003. v. 2.

BRASIL. **Lei Nº 12.305, de 2 de Agosto de 2010**. Brasília, Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

BURGOS, T. N.; KURODA, E. K.; SILVEIRA, C. SCHUROFF, P. A.; LIMA, N. R.; PELAYO, J. S. Resíduos de estações de tratamento de água: avaliação dos riscos potenciais ambientais e para saúde. **Arquivos de Ciência e Saúde**, São José do Rio Preto, v. 21, n. 2, p.89-96, abr. 2014.

CABRAL, V. A. L.; VIANA, D. B.; BASTOS, R. K. X. Dimensionamento de leitos de secagem de lodo de estações de tratamento de água com emprego de modelos probabilísticos. **Revista Dae**, [s.l.], v. 64, n. 203, p.26-47. Editora Cubo Multimídia. 2016.

CAVALHIERI, C. P. 2008. **Avaliação de geotêxteis não-tecidos em cercas-silte para remoção de turbidez**. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas.

GONÇALVES, F.; SOUZA, C. H. U.; TAHIRA, F. S.; FERNANDES, F.; TEIXEIRA, R. S. Incremento de lodo de ETA em barreiras impermeabilizantes de aterro sanitário. **Revista Dae**, [s.l.], v. 65, n. 205, p.5-14. Editora Cubo Multimídia. 2017.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. **Apoio tecnológico ao desenvolvimento de programas e medidas ambientais da fase de instalação do Trecho Sul do Rodoanel (SP-021)**. São Paulo: IPT, 2008.

KAWAMURA, Susumu. **Integrated design and operation of water treatment facilities**. 2nd ed. John Wiley & Sons. New York. 2000.

KURODA, E. K.; SILVEIRA, C.; MACEDO, J. G.; LIMA, M. S. P.; KAWAHIGASHI, F.; BATISTA, A. D.; SILVA, S. M. C. P.; FERNANDES, F. Drenagem - secagem de lodo de decantadores de ETAs em manta geotêxtil. **Revista Dae**, [s.l.], v. 62, n. 194, p.24-35. Editora Cubo Multimídia. 2014.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

SANEAS. 2009. Lodo: Um ponto de alerta no universo do Saneamento. **Revista Saneas**, v. 32, pp. 2-12, 2009.

SCALIZE, P. S.; DI BERNARDO, L.; SOARES, L. A.; BAUMANN, L. R. F. Disposição de resíduo de ETA em sistema de Tratamento aeróbio de esgoto seguido de lagoa sedimentada. **Revista Dae**, [s.l.], v. 62, n. 197, p.72-86. Editora Cubo Multimídia. 2014.

SILVA, A. M. **Avaliação da qualidade do rio São Lourenço, SP, sob influência de estações de tratamento de água e estações de tratamento de esgoto**. 2008. 157 f. (Doutorado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear - Materiais), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.