

## II-235 - UTILIZAÇÃO DE GEOSINTÉTICOS EM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS DE AERAÇÃO PROLONGADA EM FLUXO CONTÍNUO

**Amanda Rodrigues Inácio<sup>(1)</sup>**

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário Senac. Mestranda em Engenharia Civil, Área de Saneamento e Ambiente, pela Universidade Estadual de Campinas. Coordenadora do Sistema Senac de Gestão Ambiental do Senac Campinas.

**Oder Luiz de Sousa Junior<sup>(2)</sup>**

Tecnólogo em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas e mestre em Engenharia Civil com ênfase em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas. Doutorando em Engenharia Civil com ênfase em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual de Campinas.

**Carlos Gomes da Nave Mendes<sup>(3)</sup>**

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo – USP, mestre e doutor em Engenharia Civil em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo - USP. Professor livre-docente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

**Katlyn Dias da Silva<sup>(4)</sup>**

Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Saturnino de Brito, 224 – Cidade Universitária - Campinas - SP - CEP: 13083-889- Brasil - Tel: +55 (19) 98726-2819 - e-mail: amandarodriguesinacio@gmail.com.

### RESUMO

Devido ao custo das membranas aplicadas mundialmente em sistemas MBR, tem-se a hipótese de aplicação de filtros com mantas geossintéticas em substituição ao decantador secundário. Portanto, este estudo tem por objetivo avaliar o desempenho de um sistema de lodos ativados de aeração prolongada em fluxo contínuo na modalidade MBR, utilizando filtração em manta geossintética em substituição ao decantador secundário do sistema para tratamento de esgoto sanitário. Foi utilizado um reator biológico com volume útil de 200L. Para a confecção dos 2 módulos de filtração foi utilizada a manta geossintética do fabricante Ober, especificação Geofort GF7/130, denominada de Manta Geossintética 1, combinadas com 2 tipos de espaçadores, sendo eles: A - tela antiderrapante feita em poliéster com revestimento em PVC (módulo de filtração 1); B - geomanta tridimensional feita em filamentos de polipropileno termosoldados (módulo de filtração 2). Definiu-se a idade do lodo em 25 dias e o TDH em 18 horas. Os módulos de filtração foram instalados no tanque de aeração e uma bomba peristáltica foi responsável por fazer a sucção do permeado, bem como foram operados de forma intermitente com ciclos de 24h cada. O estudo teve duração de 57 dias. Para o Módulo de Filtração 1 e 2, a concentração média de DBO afluente foi de  $445 \pm 44 \text{ mgO}_2/\text{L}$ . No Módulo de Filtração 1, a concentração média de DBO para o efluente foi de  $60 \pm 31 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , obtendo-se eficiência de remoção média de  $85,8 \pm 8,4\%$ . Para o Módulo de Filtração 2, a concentração média de DBO para o efluente foi de  $18 \pm 8 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , obtendo-se eficiência média de  $95,8 \pm 2,3\%$ . A turbidez média do afluente ao Módulo de Filtração 1 foi de  $247 \pm 142 \text{ NTU}$  e do efluente foi de  $4 \pm 3 \text{ NTU}$ , obtendo-se a eficiência média de remoção de turbidez de  $97,7 \pm 2\%$ . Para o Módulo de Filtração 2, a turbidez média do afluente foi de  $330 \pm 260 \text{ NTU}$  e do efluente foi de  $3 \pm 1,2 \text{ NTU}$ , obtendo-se eficiência média de remoção de turbidez de  $98,5 \pm 1\%$ .

**PALAVRAS-CHAVE:** Lodos Ativados, Aeração Prolongada, Fluxo Contínuo, Biorreator com Membranas, Manta Geossintética.

### INTRODUÇÃO

Os processos biológicos de tratamento de esgoto são aqueles que dependem da ação de microrganismos presentes nos esgotos, ou seja, ocorre por mecanismos biológicos. Estes processos visam reproduzir os processos naturais que ocorrem em um corpo d'água após o lançamento de despejos (JORDÃO & PESSÔA, 2014; VON SPERLING, 2005).

Um dos processos biológicos de tratamento de esgoto amplamente aplicados no Brasil e em outros países é o sistema de lodos ativados. De acordo com Metcalf & Eddy (2016), o processo de lodos ativados é utilizado para tratamento biológico de esgotos domésticos e industriais.

Considerando uma das características relevantes dos sistemas de lodos ativados que é a elevada área para o decantador secundário, tem-se a proposta de sistemas MBR (Membrane Bioreactor), onde esta etapa do sistema é substituída por um processo de separação por membranas instalada no tanque de aeração ou externo ao tanque.

Porém, a aplicação generalizada do processo MBR é limitada pelos elevados custos de capital, manutenção e funcionamento e tais custos incluem o alto valor das membranas (CHANG et al.,2001).

Segundo Schneider e Tsutiya (2001), à princípio qualquer material que permita a síntese de filmes com porosidade controlada pode ser utilizado para a fabricação de membranas. De acordo com Hutten (2007), as mantas geossintéticas são constituídas por estruturas de fibra aleatórias, geralmente na forma de folhas, e por sobreposição que criam múltiplos poros conectados. Porém, a avaliação da aplicação das mantas geossintéticas em sistemas MBR para tratamento de esgoto ainda é um desafio e há poucos estudos sobre o tema.

Portanto, este estudo tem por objetivo avaliar o desempenho de um sistema de lodos ativados de aeração prolongada em fluxo contínuo na modalidade de biorreator com membranas - MBR, utilizando filtração em manta geossintética em substituição ao decantador secundário do sistema para tratamento de esgoto sanitário.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Esta pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Protótipos Aplicados ao Tratamento de Águas e Efluentes (LABPRO) e as análises físico-químicas e microbiológicas são desenvolvidas no Laboratório de Saneamento (LABSAN), pertencentes ao Departamento de Saneamento e Ambiente (DSA) da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FEC) da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), Campus Prof. Zeferino Vaz, localizado no bairro Barão Geraldo, no município de Campinas, São Paulo.

## **ESGOTO SANITÁRIO**

O esgoto sanitário utilizado para tratamento biológico nesta pesquisa é originado em algumas instalações da Universidade Estadual de Campinas, como laboratórios, restaurantes, bancos, escola e o Hospital de Clínicas situado na universidade. Nestes locais, bem como em toda universidade, há um fluxo de pessoas que circulam diariamente, utilizando os banheiros públicos distribuídos no campus universitário e também na área hospitalar.

O esgoto bruto chega até o LABPRO através da rede de esgoto sanitário da universidade em um Poço de Visita. Neste Poço de Visita foi adaptado um recipiente com capacidade de 50 L, onde é realizada a captação de uma parcela do esgoto sanitário que é recalado para uma de caixa reservatória (Tanque de Equalização 1) com volume de 500L através da bomba submersa 1 (fabricante Anauger, modelo anauger® 800, vazão de recalque de 1000L/h) controlada por uma boia eletrônica. Este Tanque de Equalização alimenta o sistema de Lodos Ativados de Aeração Prolongada com Fluxo Contínuo deste estudo, bem como outros projetos de pesquisa de alunos do Programa de Pós-Graduação do Departamento de Saneamento e Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

O esgoto bruto que é armazenado no Tanque de Equalização 1 é recalado até o Tanque de equalização 2, por uma bomba submersa 2 (fabricante Schneider Motobombas, modelo BCS – C5, vazão de recalque de 10000L/h) controlada por uma boia eletrônica. O Tanque de Equalização 2 possui capacidade de armazenamento de 1000L, com uma cota superior aproximada de 1,5 m do no Tanque de Equalização 1.

O esgoto bruto armazenado no Tanque de Equalização 2 alimenta o Sistema de Lodos Ativados de Aeração Prolongada em Fluxo Contínuo objeto deste estudo. Esta alimentação é feita por gravidade, pois o mesmo se encontra em uma cota superior ao sistema mencionado.

A seguir, é apresentado de forma esquemática o fluxo do esgoto bruto desde o Poço de Visita até o Reator de Lodos Ativados de Aeração Prolongada em Fluxo Contínuo:

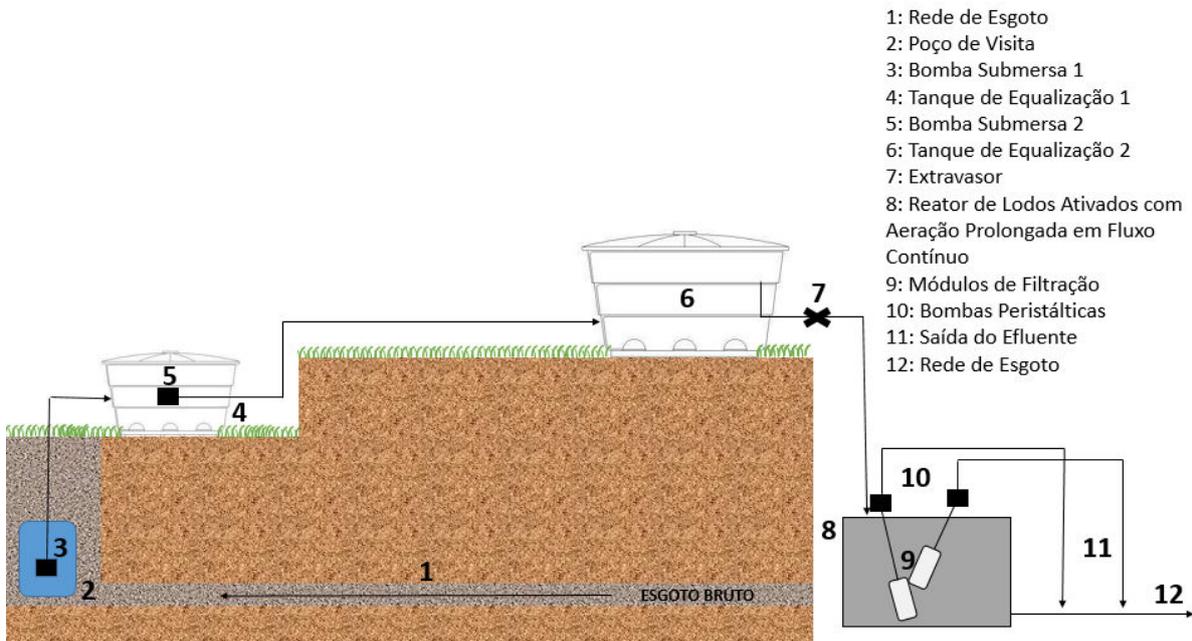


Figura 1: Fluxo do Esgoto Bruto.

## REATOR BIOLÓGICO E OPERAÇÃO

Para a realização deste estudo adotou-se o uso de um reator biológico composto por 3 compartimentos, sendo uma caixa coletora, que neste estudo não será utilizada, e dois tanques de aeração em série, que são interligados por três furos próximo à base da placa que os separam. Para este estudo foi considerado o volume útil do reator de 200L, uma vez que são utilizados os dois tanques de aeração. O reator em 3 dimensões pode ser observado a seguir:

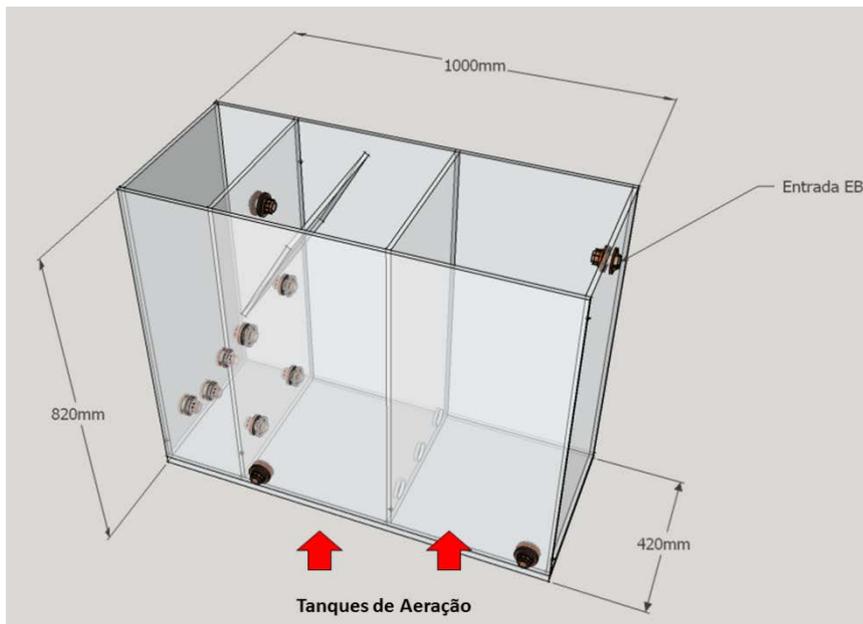


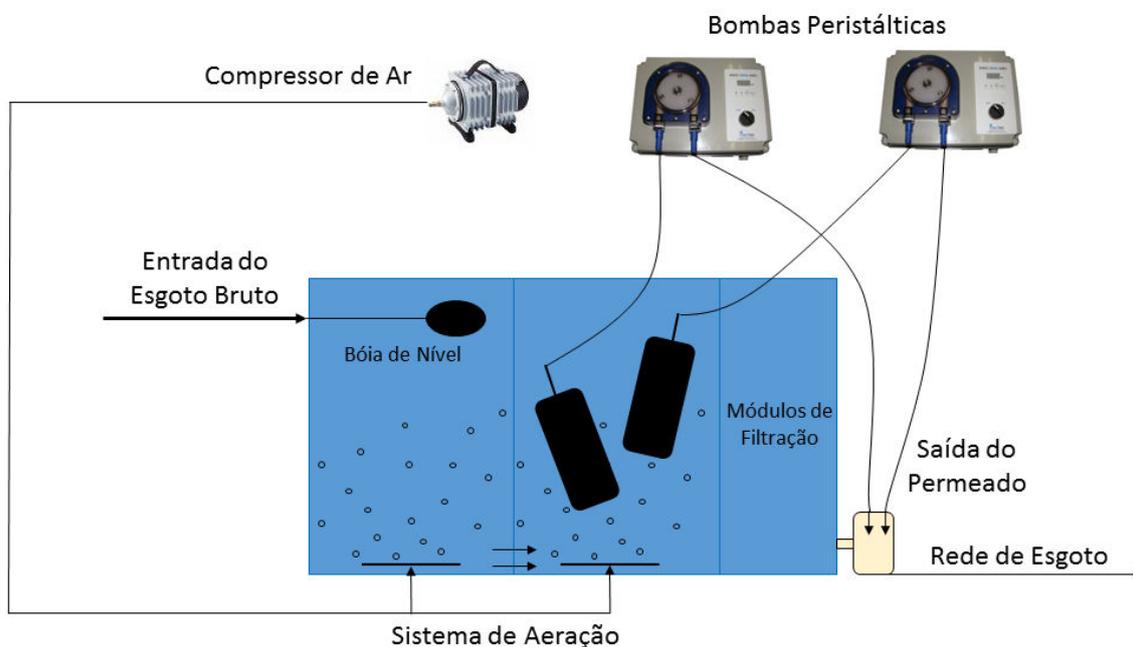
Figura 2: Reator biológico em 3 dimensões.

O reator possui fluxo de alimentação contínuo, controlado por uma boia de nível instalada na entrada do esgoto no reator. A aeração do sistema é realizada através de um compressor de ar (fabricante Boyu, modelo ACQ – 007, 0,035mPa) ligado a um difusor de ar instalado no fundo do reator. A concentração de oxigênio dissolvido é controlada na faixa de 2 a 4mgO<sub>2</sub>/L. O sistema é aerado por 45 minutos a cada 1 hora.

Considerando 200L de volume útil do reator, diariamente são descartados 8L de licor misto, a fim de se manter a idade do lodo em 25 dias.

Os módulos de filtração são acondicionados na segunda câmara de aeração do reator. Cada módulo de filtração é conectado à uma bomba peristáltica (fabricante Provitec, modelo AWG – 500, capacidade de 4 L/hora até 140 L/hora) responsável pela sucção do permeado, através de uma mangueira flexível corrugada de 20mm de diâmetro. As bombas peristálticas operam 45 minutos a cada 1 hora. Os módulos de filtração operam de forma intermitente com ciclos operacionais de 24h cada.

As bombas peristálticas são programadas para manterem uma vazão de sucção de 0,250mL/min a fim de se obter um TDH de 18 horas, com as bombas operando por 45 minutos a cada 1 hora. Com esta vazão de sucção, o reator possui capacidade de tratar 270L de esgoto por dia. Conforme o módulo de filtração perde a sua capacidade, é necessário aumentar a potência de sucção da bomba peristáltica, até atingir 100% da sua capacidade de rotação. O permeado obtido através da sucção dos filtros realizado pelas bombas peristálticas é encaminhado para a rede de esgoto. Na figura a seguir é possível observar o fluxo de operação do reator:



**Figura 3: Operação do Reator de Lodos Ativados de Aeração Prolongada em Fluxo Contínuo com Filtração em Geossintéticos.**

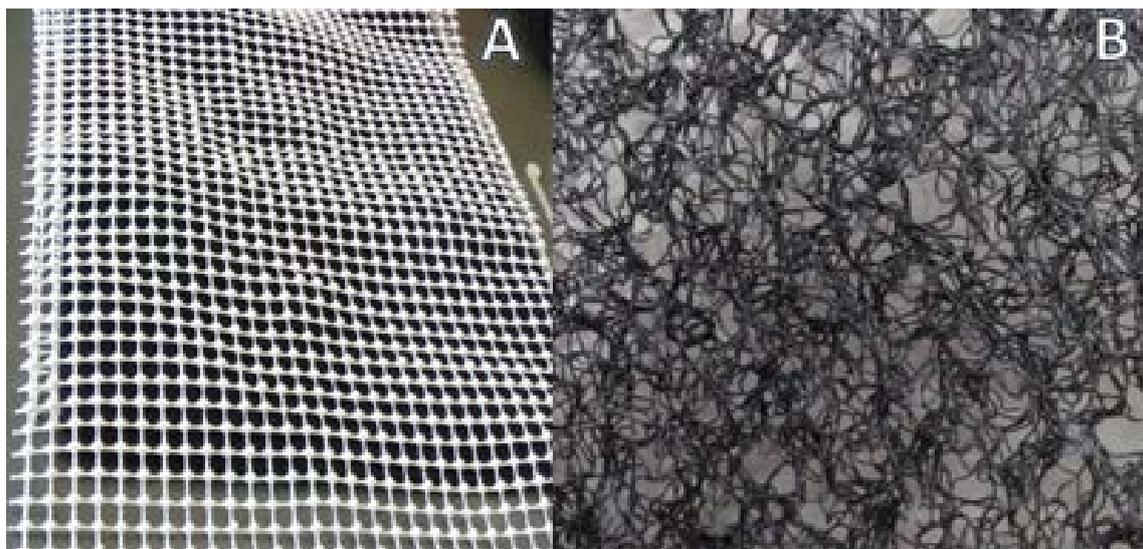
## MANTAS GEOSSINTÉTICAS

Para a realização deste estudo foi utilizada manta geossintética para filtração. A Manta Geossintética 1 é constituída de manta geotêxtil não tecido agulhado, fabricante Ober, especificação Geofort GF7/130. Esta manta tem como principais aplicações: Camada anti-propagação de trincas; Sistemas drenantes; Drenagem de campos esportivos; Separação de solos e estabilização de sub-leito; Reforços de aterros apoiados sobre solos com baixa capacidade de carga; Muros de arrimo e taludes íngremes; Proteção de geomembranas em canais de concreto; Geoformas e diques contínuos. A tabela a seguir apresenta as suas respectivas características:

**Tabela 1: Características da Manta Geossintética Geofort CF7/130.**

Característica	Propriedade	Norma	Unidade	Geofort GF7/130
Hidráulica	Permeabilidade Normal	ASTM D4491	cm/s	0,4
	Abertura de Filtração	AFNOR G 38017	mm	0,16
	Permissividade	ASTM D 4491	s <sup>-1</sup>	2,35
Física	Espessura	-	mm	1,70
	Densidade Superficial	-	g/m <sup>2</sup>	130,00
	Porosidade	-	%	94,46
	Superfície Específica	-	m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	8263,00
	Diâmetro Médio das Fibras	-	µm	26,80
	Matéria Prima	-	-	Poliéster

A manta geossintética foi cortada nas seguintes dimensões: 1500mm x 500mm. A mesma foi dobrada ao meio e costurada na lateral, formando uma peça com dimensões de 1500mm x 250mm e que possui área superficial de 375.000mm<sup>2</sup> ou 0,375m<sup>2</sup>. Como espaçadores foram utilizados 2 tipos de materiais, sendo eles: A - tela antiderrapante feita em poliéster com revestimento em PVC; B - geomanta tridimensional feita em filamentos de polipropileno termosoldados. As imagens a seguir mostram os respectivos espaçadores:



**Figura 4: A – Tela Antiderrapante ; B – Geomanta Tridimensional.**

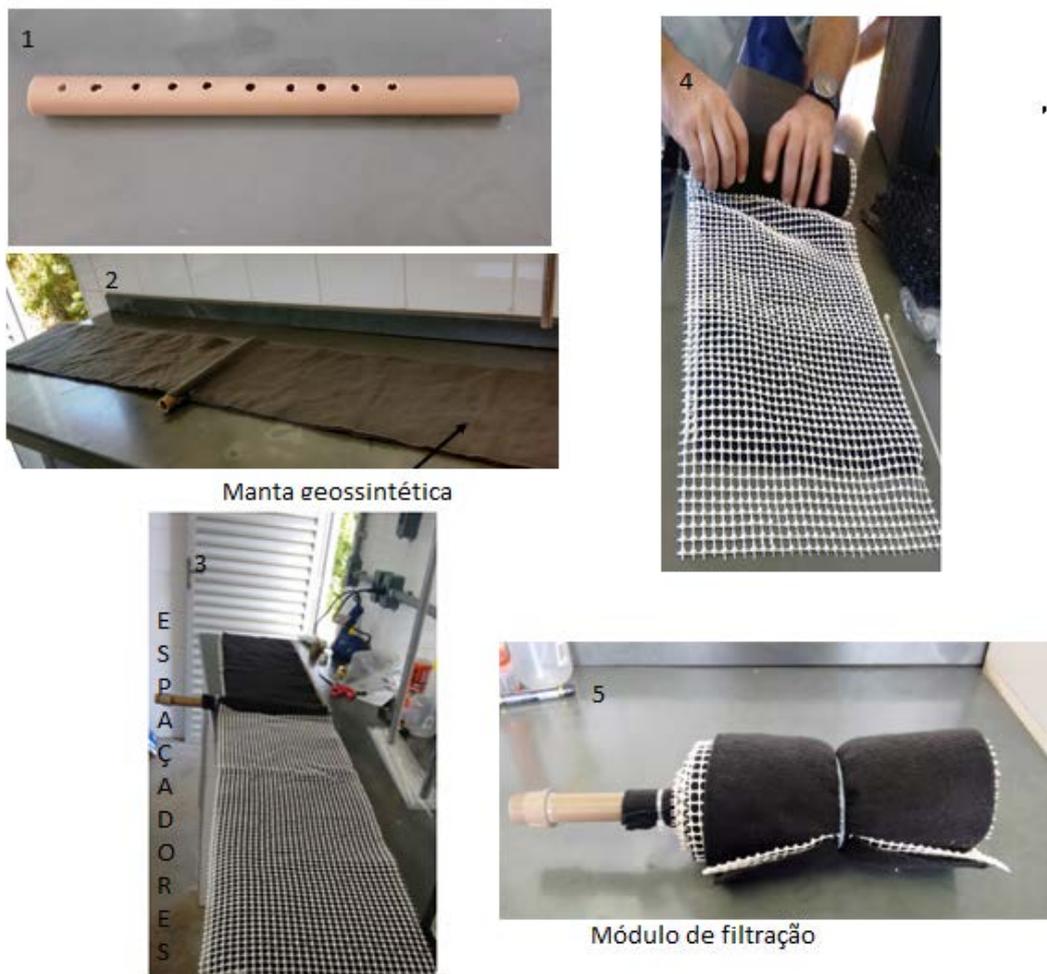
## MÓDULOS DE FILTRAÇÃO

Para a montagem dos módulos de filtração foram utilizados os seguintes materiais: cano de PVC de 25mm de diâmetro, Manta Geossintética 1, espaçadores e abraçadeira de nylon. O passo a passo da montagem é apresentado a seguir:

- Primeiramente, com uma furadeira foram feitos furos no cano de PVC, para propiciar que o esgoto permeie no módulo de filtração (5-1).
- Este cano de PVC é posicionado no centro da manta geossintética (5-2).
- Após isso, são posicionados os espaçadores e duas formas diferentes: um embaixo da manta no lado esquerdo ao cano e outro acima da manta do lado direito ao cano (5-3).

- Com estes itens posicionados, dobra-se a manta, posicionando a manta e o espaçador do lado esquerdo sobre o espaçador e a manta do lado direito. Assim, enrola-se no sentido da direita as camadas de espaçador e manta, formando o módulo de filtração (5-4).
- Por fim, utiliza-se a abraçadeira de nylon para fixar as camadas enroladas (5-5).

Na Figura 5 a seguir é possível observar o passo a passo do processo de montagem de módulos de filtração:



**Figura 5: Etapas de Montagem dos Módulos de Filtração.**

Após combinar a Manta Geossintética 1 com os dois espaçadores, tem-se o Módulo de Filtração 1 e 2, que podem ser observados na figura abaixo. O Módulo de Filtração 1 possui peso de 613,4g e volume de 1,3L, e o Módulo de Filtração 2 possui peso de 699,5g e volume de 1,5L.



Figura 6: Módulos de Filtração 1 e 2.

### ANÁLISES LABORATORIAIS

Para avaliar o desempenho do sistema para tratamento de esgoto sanitário foram realizadas as seguintes análises laboratoriais: demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO), carbono orgânico dissolvido, turbidez, oxigênio dissolvido, série de sólidos e IVL (para o licor misto). Foram analisadas as seguintes amostras: afluente ao reator biológico e efluente do módulo de filtração 1 e 2. O sistema também foi analisado através do seu TDH.

### TESTE DE COLMATAÇÃO

Quando os módulos de filtração perdem sua capacidade de filtração, mesmo operando com as bombas peristálticas em sua capacidade máxima, é realizado um procedimento denominado neste estudo de Teste de Colmatação. O Teste de Colmatação consiste na análise do comportamento do módulo de filtração após uma limpeza manual, para verificar a capacidade de recuperação do mesmo. Primeiramente, é realizado uma coleta de permeado para verificação da turbidez e da vazão de filtração. Após isso, o módulo de filtração é retirado da câmara de aeração onde ficou submerso e é submergido na primeira câmara de aeração para realização da limpeza.

A limpeza consiste em um procedimento onde são realizados giros de 360° consecutivos com o módulo de filtração submergido no tanque de aeração por um período de 5 minutos, conforme figura abaixo. Após este procedimento, que visa o desprendimento dos sólidos retidos pelo módulo de filtração, o comportamento dele é analisado por 1 hora. A cada 5 minutos é realizado uma coleta de permeado para análise da turbidez e também para verificação da vazão de permeado. Por fim, se após 1 hora o módulo de filtração apresentar uma vazão de saída semelhante à vazão anterior ao processo de limpeza, considera-se que o módulo de filtração colmatou.

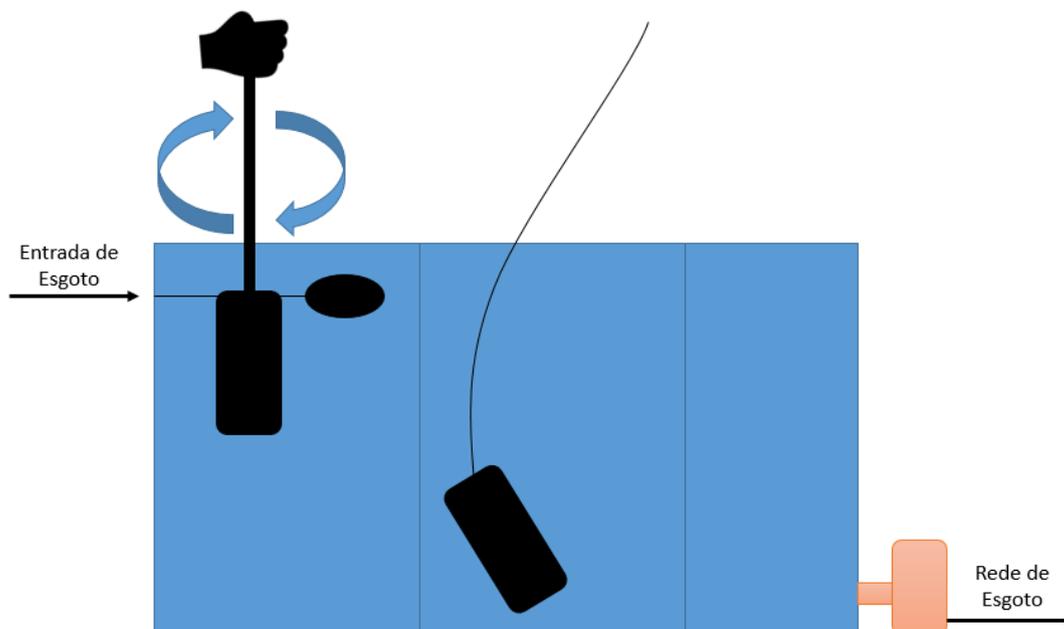


Figura 7: Procedimento para Teste de Colmatação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir serão apresentados os resultados obtidos através do monitoramento do sistema durante os 57 dias de operação.

Para o Módulo de Filtração 1, a média de concentração de oxigênio dissolvido para o afluente foi de  $1 \pm 0,2 \text{ mgO}_2/\text{L}$  e para o efluente foi de  $4 \pm 1,3 \text{ mgO}_2/\text{L}$ . Para o Módulo de Filtração 2, a média de concentração de oxigênio dissolvido para o afluente foi de  $1 \pm 0,2 \text{ mgO}_2/\text{L}$  e para o efluente foi de  $3 \pm 0,7 \text{ mgO}_2/\text{L}$ . Portanto, o Módulo de Filtração 1 apresentou concentração média maior em relação ao Módulo de Filtração 2, porém, nos dois casos, houve uma melhora da qualidade do efluente final ocasionada pelo aumento da concentração de oxigênio dissolvido no efluente tratado.

A turbidez média do afluente ao Módulo de Filtração 1 foi de  $247 \pm 142 \text{ NTU}$  e do efluente foi de  $4 \pm 3 \text{ NTU}$ , obtendo-se a eficiência média de remoção de turbidez de  $97,7 \pm 2\%$ . Para o Módulo de Filtração 2, a turbidez média do afluente foi de  $330 \pm 260 \text{ NTU}$  e do efluente foi de  $3 \pm 1,2 \text{ NTU}$ , obtendo-se eficiência média de remoção de turbidez de  $98,5 \pm 1\%$ . O comportamento Módulo de Filtração 1 e 2 para a turbidez ao longo da operação pode ser observado a seguir:

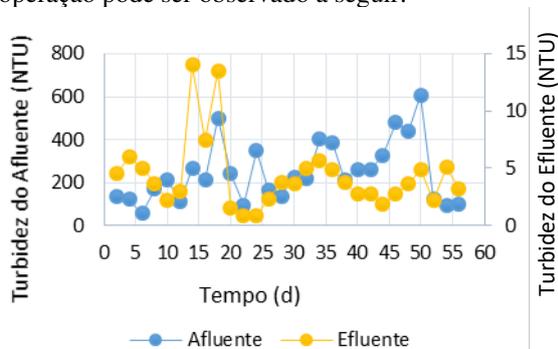


Figura 8: Turbidez do afluente e efluente do Módulo de Filtração 1.

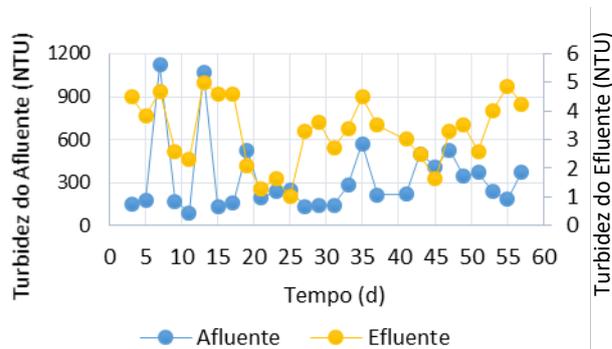


Figura 9: Turbidez do afluente e efluente do Módulo de Filtração 2.

Comparando os módulos de filtração, verificou-se que o Módulo de Filtração 2 foi o que apresentou melhor resultado para o efluente final em termos de turbidez. Ou seja, para a remoção sólidos suspensos, há a indicação de que o espaçador do módulo de filtração gera influencia na eficiência do mesmo.

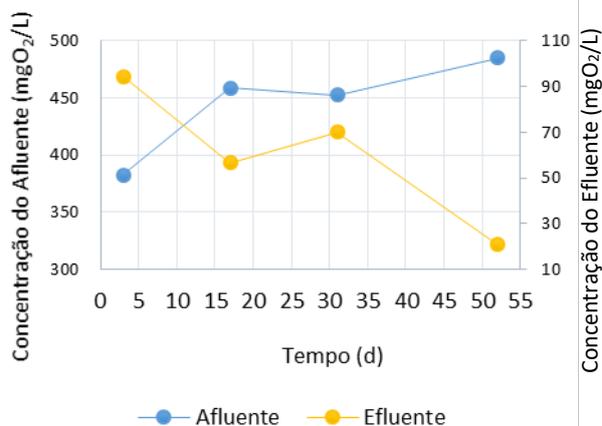
Para o Módulo de Filtração 1 e 2, a concentração média de carbono orgânico dissolvido (COD) para o afluente foi de  $161 \pm 22 \text{ mg/L}$ . Para o efluente do Módulo de Filtração 1, a concentração média foi de  $27 \pm 6 \text{ mg/L}$ , obtendo eficiência média de remoção de  $82,6 \pm 5\%$ . Para o efluente do Módulo de Filtração 2, a concentração média foi de  $26 \pm 5 \text{ mg/L}$ , obtendo eficiência média de remoção de  $83,1 \pm 4,4\%$ . Portanto, comparando-se o desempenho de ambos, verifica-se que os dois possuem desempenho semelhantes para a remoção de COD.

Para o Módulo de Filtração 1 e 2, a concentração média de DBO afluente foi de  $445 \pm 44 \text{ mgO}_2/\text{L}$ . No Módulo de Filtração 1, a concentração média de DBO para o efluente foi de  $60 \pm 31 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , obtendo-se eficiência de remoção média de  $85,8 \pm 8,4\%$ . Para o Módulo de Filtração 2, a concentração média de DBO para o efluente foi de  $18 \pm 8 \text{ mgO}_2/\text{L}$ , obtendo-se eficiência média de  $95,8 \pm 2,3\%$ .

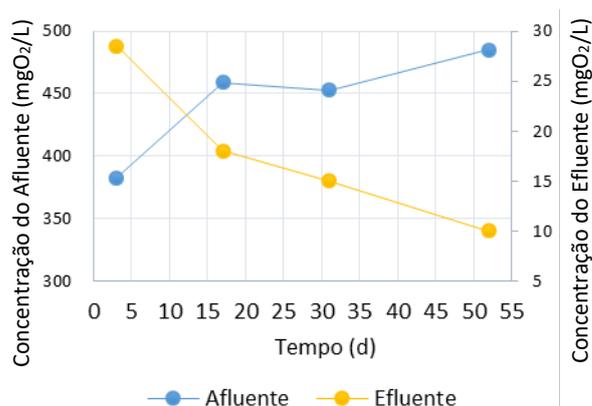
Em São Paulo, o Decreto Estadual nº 8468 estabelece a DBO como parâmetro de lançamento onde após o tratamento o efluente deve possuir concentração de  $60 \text{ mgO}_2/\text{L}$  ou o sistema deve atingir eficiência de remoção de 80%. Portanto, os dois módulos de filtração apresentaram concentração média de DBO e eficiência dentro do estabelecido.

Porém, comparando-se o desempenho de ambos, verifica-se que o Módulo de Filtração 2 possuiu melhor desempenho para remoção de DBO, atingindo menores concentrações para o efluente tratado e consequentemente, maior eficiência de remoção.

O comportamento Módulo de Filtração 1 e 2 para a DBO ao longo da operação pode ser observado a seguir:



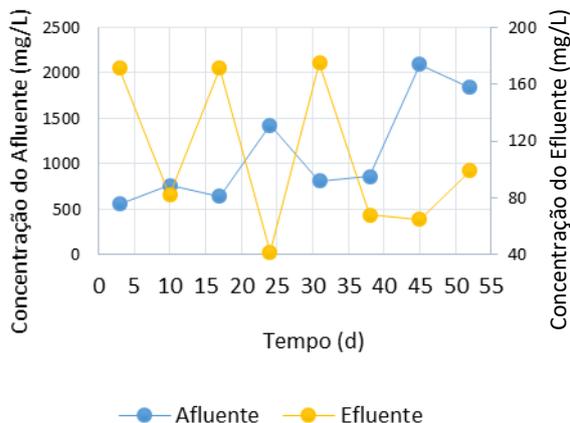
**Figura 10: Concentração de DBO para o Módulo de Filtração 1.**



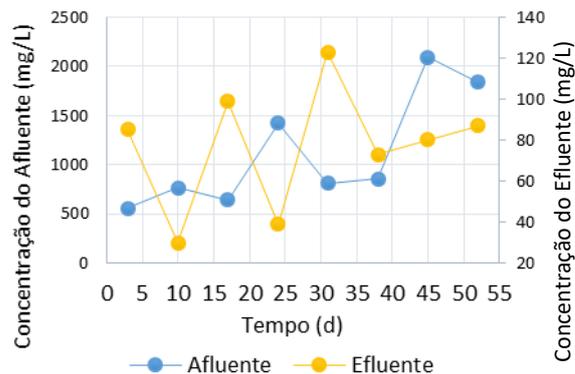
**Figura 11: Concentração de DBO para o Módulo de Filtração 2.**

Para o Módulo de Filtração 1 e 2, a concentração média de DQO afluente foi de  $1122 \pm 583 \text{ mg/L}$ . Para o efluente do Módulo de Filtração 1, a concentração média de DQO foi de  $109 \pm 55 \text{ mg/L}$  e a eficiência média de remoção foi de  $86,4 \pm 11\%$ . Para o Módulo de Filtração 2, a concentração média de DQO do efluente foi de  $77 \pm 30 \text{ mg/L}$  e a eficiência de remoção média foi de  $91,3 \pm 6\%$ .

Os dois módulos de filtração utilizados apresentaram concentração média de DQO e eficiência de remoção satisfatórias. Porém, comparando-se o desempenho de ambos, verifica-se que o Módulo de Filtração 2 possuiu melhor desempenho para remoção de DQO, atingindo menores concentrações para o efluente tratado e consequentemente, maior eficiência de remoção. O comportamento do Módulo de Filtração 1 e 2 em relação à DQO ao longo desta etapa de operação podem ser observados nos gráficos a seguir:



**Figura 12: Concentração de DQO para o Módulo de Filtração 1.**



**Figura 13: Concentração de DQO para o Módulo de Filtração 2.**

Os resultados obtidos para a série de sólidos do afluente e dos efluentes dos Módulos de Filtração 1 e 2 podem ser observados nas tabelas a seguir:

**Tabela 2: Série de sólidos no afluente (mg/L)**

	SST	SSF	SSV	ST	STF	STV	SDT	SDF	SDV
<b>n</b>	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
<b>Média</b>	475,0	65,8	409,2	977,5	280,0	697,5	502,5	214,2	288,3
<b>Mínimo</b>	120,0	0,0	120,0	560,0	0,0	160,0	306,7	0,0	26,7
<b>Máximo</b>	1000,0	166,7	866,7	1660,0	480,0	1180,0	740,0	400,0	673,3
<b>CV</b>	0,7	0,9	0,7	0,4	0,6	0,5	0,3	0,6	0,8
<b>Desvio Padrão</b>	322,2	59,9	275,4	350,4	163,9	322,9	165,0	137,1	236,6

**Tabela 3: Série de sólidos no efluente do Módulo de Filtração 1 (mg/L)**

	SST	SSF	SSV	ST	STF	STV	SDT	SDF	SDV
<b>n</b>	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
<b>Média</b>	32,1	1,8	30,4	517,5	250,0	267,5	485,4	248,2	237,1
<b>Mínimo</b>	0,0	0,0	0,0	240,0	80,0	140,0	240,0	80,0	40,0
<b>Máximo</b>	100,0	14,3	100,0	840,0	440,0	660,0	797,1	440,0	631,4
<b>CV</b>	1,1	2,8	1,1	0,3	0,5	0,7	0,3	0,5	0,8
<b>Desvio Padrão</b>	34,2	5,1	33,9	167,8	127,8	190,3	163,9	129,1	188,7

**Tabela 4: Série de sólidos no efluente do Módulo de Filtração 2 (mg/L)**

	SST	SSF	SSV	ST	STF	STV	SDT	SDF	SDV
<b>n</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	8
<b>Média</b>	21,3	6	15,4	492,5	250	242,5	471,2	244	227,1
<b>Mínimo</b>	0	0	0	240	0	0	225,7	0	0
<b>Máximo</b>	60	33,3	60	860	400	800	860	400	800
<b>CV</b>	0,9	2	1,4	0,4	0,7	1,1	0,4	0,7	1,2
<b>Desvio Padrão</b>	19,6	12,1	21,2	177,6	163,5	276,2	184,9	160	281,7

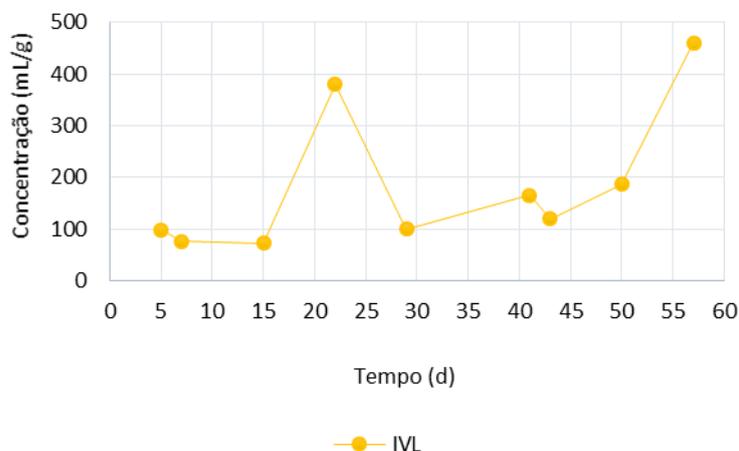
Observando-se os resultados obtidos, é possível verificar que com a aplicação dos módulos de filtração foi possível reduzir significativamente a concentração de SST nos efluentes. Comparando-se os dois módulos de filtração, verifica-se que o Módulo de Filtração 2 possuiu melhor desempenho para remoção de SST, obtendo concentração média de 21,3mgSSV/L.

A série de sólidos também foi analisada no licor misto dentro do reator biológico, analisando-se a quantidade de sólidos no local onde os módulos de filtração estão alocados. Os resultados da série de sólidos obtidos para o licor misto podem ser observados na tabela a seguir:

**Tabela 5: Série de sólidos no licor misto do reator biológico (mg/L)**

	SST	SSF	SSV	ST	STF	STV	SDT	SDF	SDV	SS
<b>n</b>	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	9,0
<b>Média</b>	1299,6	145,1	1154,6	1775,0	377,5	1398,6	475,4	232,4	242,9	408,0
<b>Mínimo</b>	828,6	20,0	771,4	1300,0	260,0	860,0	140,0	80,0	13,3	100,0
<b>Máximo</b>	2166,7	400,0	2000,0	2460,0	480,0	2020,0	853,3	413,3	660,0	916,0
<b>CV</b>	0,4	0,9	0,4	0,2	0,2	0,3	0,5	0,5	0,9	0,7
<b>Desvio Padrão</b>	475,8	126,6	461,8	436,4	92,9	401,6	225,4	109,9	222,8	286,5

Para o licor misto também se avaliou o índice volumétrico de lodo (IVL). Sabe-se que a faixa de IVL para sistemas de lodos ativados é entre 90 e 150mL/g. Porém, durante a operação, nos momentos de colmatação dos módulos de filtração 1 e 2 houve um aumento significativo do IVL, levando ao aumento da média representativa desta fase que foi de 184±141mL/g. O comportamento do IVL pode ser observado no gráfico a seguir:

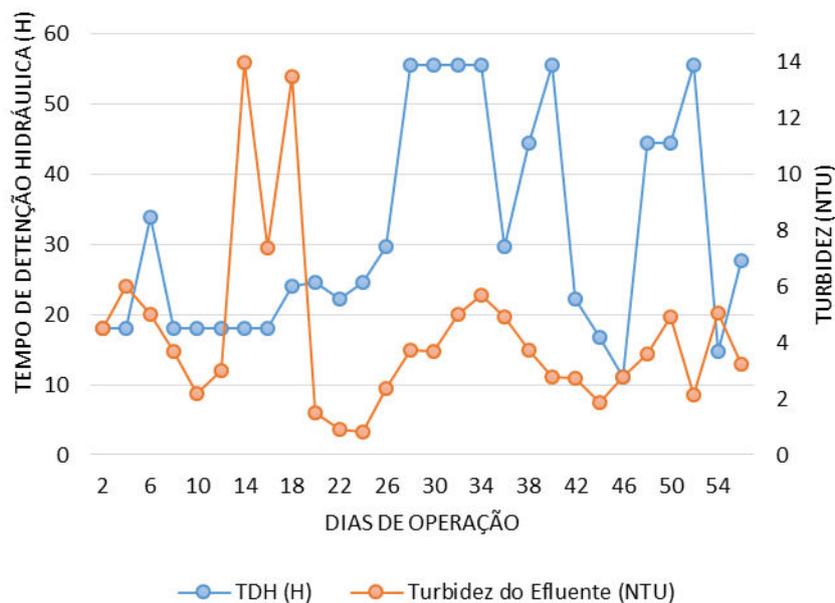


**Figura 14: Índice volumétrico de lodo.**

O tempo de detenção hidráulica para lodos ativados de aeração prolongada deve ser mantido entre 16 a 24 horas. Sendo assim, ao início de cada ciclo de operação dos módulos de filtração, as bombas peristálticas foram programadas para manterem uma vazão de sucção de 0,250mL/min a fim de se obter um TDH de 18 horas.

O Módulo de Filtração 1 iniciou sua operação exigindo o uso de 30% da potência da bomba peristáltica. Já no 16º dia de operação desta etapa, exigiu 100% de potência da bomba e a partir do 24º dia de operação desta etapa, não foi possível manter a faixa de TDH característica desta variante do sistema de lodos ativados. No 42º dia de operação realizou-se o teste de colmatação, que propicia a limpeza do módulo de filtração, e com isso houve um aumento na vazão de permeado, ocasionando no 44º dia um TDH de 17h. Porém, no 48º dia de operação a vazão de permeado voltou a cair, aumentando consequentemente o TDH do sistema.

Também foi possível verificar que o TDH não influenciou na qualidade do permeado em termos de turbidez, pois, mesmo com baixa vazão de permeado devido ao processo de colmatação da manta geossintética, a turbidez do efluente manteve-se em quase todo período de operação abaixo de 5NTU. A figura a seguir apresenta o TDH e a turbidez para a operação do Módulo de Filtração 1.

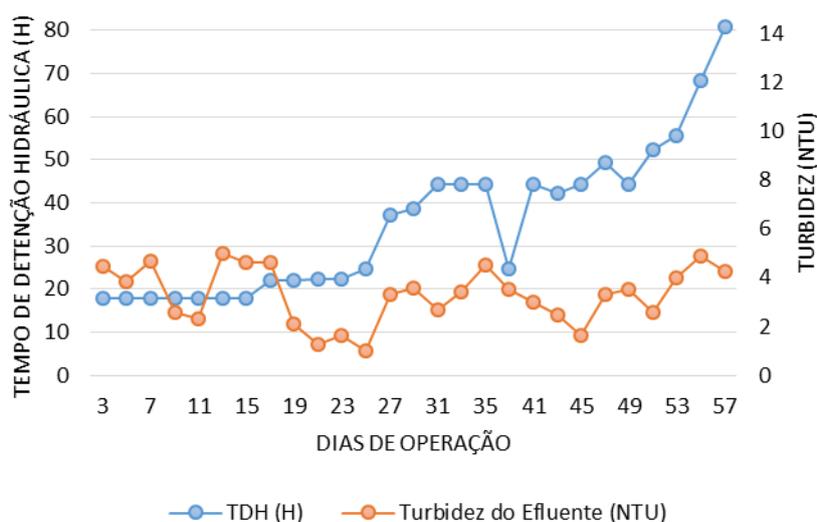


**Figura 15: TDH e turbidez do efluente na operação do Módulo de Filtração 1.**

O Módulo de Filtração 2 iniciou sua operação também exigindo o uso de 30% da potência da bomba peristáltica. Porém, foi no 23º dia de operação desta etapa, que o mesmo exigiu 100% de potência da bomba peristáltica e a partir do 25º dia de operação que não foi possível manter a faixa de TDH característica desta variante do sistema de lodos ativados.

No 41º realizou-se o teste de colmatação, que propicia a limpeza do módulo de filtração, porém, isto não fez com que houvesse uma melhora significativa em relação à vazão de permeado do sistema, ou seja, nesta configuração de módulo de filtração à resposta ao processo de limpeza foi insatisfatória.

Também foi possível verificar que o TDH não influenciou na qualidade do permeado em termos de turbidez, pois, mesmo com baixa vazão de permeado devido ao processo de colmatação da manta geossintética, a turbidez do efluente manteve-se em todo período de operação abaixo de 5NTU. A figura a seguir apresenta o TDH e a turbidez para a operação do Módulo de Filtração 2.



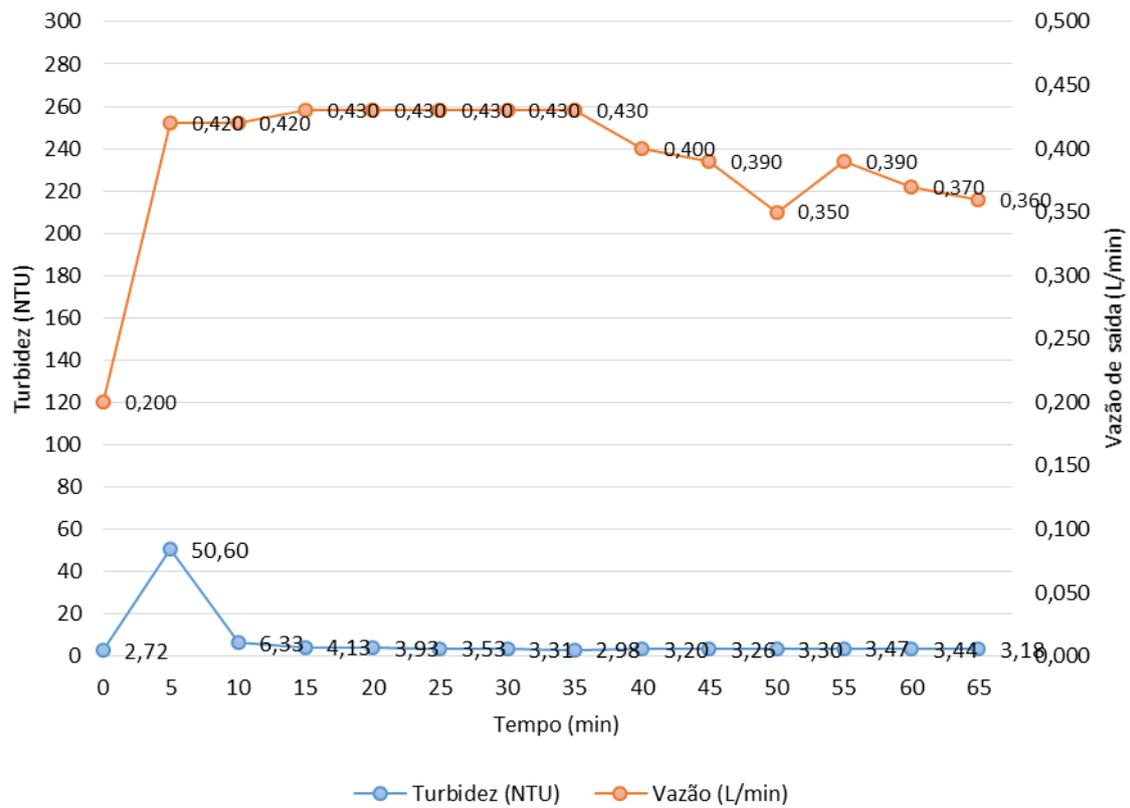
**Figura 16: TDH e turbidez do efluente na operação do Módulo de Filtração 2.**

O Teste de Colmatação do Módulo de Filtração 12 foi realizado no 42º dia de operação. Antes do procedimento, a vazão de permeado era de 200mL/min e turbidez de 2,72 NTU. Após o procedimento de limpeza, houve um pico de vazão de permeado chegando a 420 mL/min e turbidez de 50,6NTU que deve ser ocasionada pelo desprendimento do biofilme gerado pela limpeza. Ao longo de 1h, a vazão de permeado chegou a 360mL/min e a turbidez já havia reduzido para 3,18NTU. Portanto, verificou-se que com o procedimento de limpeza foi possível recuperar a capacidade de filtração do Módulo de Filtração 1. Porém, no 48º dia de operação a vazão de permeado voltou a cair, aumentando conseqüentemente o TDH do sistema e aos 57 dias de operação, considerou-se que o módulo havia colmatado, encerrando-se a sua operação.

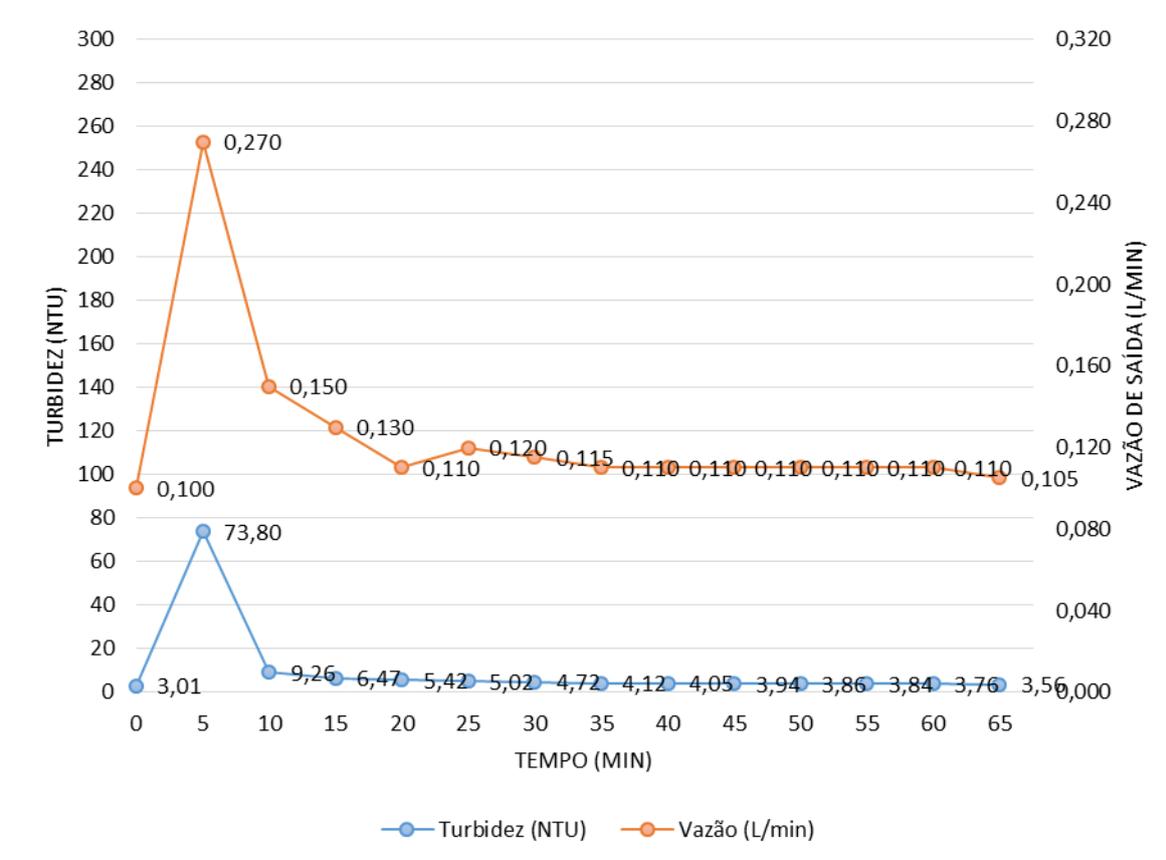
O Teste de Colmatação do Módulo de Filtração 2 foi realizado no 41º dia de operação. Antes do procedimento, a vazão de permeado era de 100mL/min e turbidez de 3,01 NTU. Após o procedimento de limpeza, houve um pico de vazão de permeado chegando a 270mL/min e turbidez de 73,8NTU que deve ser ocasionada pelo desprendimento do biofilme gerado pela limpeza. Porém, ao longo de 1h, a vazão de permeado decaiu para 110mL/min, chegando próximo ao valor inicial e a turbidez já havia reduzido para 3,56NTU.

Portanto, verificou-se que mesmo com a realização do procedimento de limpeza não foi possível recuperar a capacidade de filtração do Módulo de Filtração 2, ou seja, nesta configuração de módulo de filtração a resposta ao processo de limpeza foi insatisfatória.

O Comportamento do Módulo de Filtração 1 e 2 ao longo do Teste de Colmatação pode ser observado nas figuras a seguir:



**Figura 17: Teste de Colmatação - Comportamento do Módulo de Filtração 1.**



**Figura 18: Teste de Colmatação - Comportamento do Módulo de Filtração 2.**

O peso dos filtros após a operação também foi analisado para verificação da quantidade em massa de sólidos retida no módulo de filtração. O Módulo de Filtração 1 reteve 391,6g de sólidos e o Módulo de Filtração 2 reteve 669,8g de sólidos.

Sendo assim, acredita-se que o espaçador de Geomanta Tridimensional utilizado para construção do Módulo de Filtração 2 impeça que ocorra o desprendimento de sólidos agregados ao módulo de filtração, dificultando sua capacidade de recuperação.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, é possível concluir:

- O espaçador influencia no desempenho do módulo de filtração em termos de eficiência e operação;
- A operação de modo intermitente com ciclos de 24h para cada módulo de filtração é necessária para que o módulo recupere sua capacidade de filtração;
- O Módulo de Filtração 2 apresentou melhor desempenho para remoção de matéria orgânica;
- O Módulo de Filtração 2 reteve mais sólidos totais, fazendo com que sua capacidade de recuperação seja prejudicada;
- O Módulo de Filtração 1 reteve menos sólidos totais, o que propicia a possibilidade de recuperação da sua capacidade de filtração após o teste de colmatação, porém, após 3 dias de operação o mesmo já perdeu sua capacidade de filtração planejada sendo necessário aumentar a potência da bomba peristáltica para sucção de permeado.
- Em São Paulo, o Decreto Estadual nº 8468 estabelece a DBO como parâmetro de lançamento e neste caso, os dois módulos de filtração apresentaram desempenho satisfatório.

Portanto, verifica-se que é possível substituir a fase de decantação do sistema de lodos ativados de aeração em prolongada em fluxo contínuo por filtração em manta geossintética, Para estudos futuros, pode ser aprimorada

a operação dos reatores em busca de um maior tempo operacional dos módulos de filtração, através de mecanismos que retardem o processo de colmatção dos filtros, como por exemplo, sistemas de retrolavagem ou limpeza mecânica para retirada dos sólidos que estão incrustados na manta geossintética e nos espaçadores.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. CHANG, I. S. GANDER, M. JEFFERSON, B. JUDD, S. J. Low-Cost Membranes for Use in a Submerged MBR, Process Safety and Environmental Protection, vol. 79, n. 3, p. 183-188. 2001.
2. HUTTEN, I. M. Introduction to Nonwoven Filter Media, In: \_\_\_\_\_ Handbook of Nonwoven Filter Media. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2007 cap. 1, p. 1-28.
3. JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 7ª edição. Rio de Janeiro, ABES. 2014.
4. METCALF E EDDY. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5ed, Porto Alegre: AMGH. 1980 p. 2016.
5. SCHNEIDER, R. P.; TSUTIYA, M. T. Membranas filtrantes para o tratamento de água, esgoto e água de reúso. São Paulo; ABES; 2001 234 p.
6. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, vol.1. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade de Minas Gerais. 452 p. 2005.