



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**MARÍLIA PATRÍCIO ALVES**

**PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM FILTROS LENTOS, COM  
DIFERENTES MEIOS FILTRANTES.**

**CAMPINA GRANDE - PB**

**2020**

**MARÍLIA PATRÍCIO ALVES**

**PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM FILTROS LENTOS, COM  
DIFERENTES MEIOS FILTRANTES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental-PPGCTA, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Linha de Pesquisa: Tecnologia de Tratamento de Água e Resíduos.

**Orientador:** Prof. Dr. José Tavares de Sousa.

CAMPINA GRANDE - PB

2020

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

A474p Alves, Marília Patrício.

Pós-tratamento de esgoto doméstico em filtros lentos, com diferentes meios filtrantes [manuscrito] / Marília Patrício Alves. - 2020.

73 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2020.

"Orientação : Prof. Dr. José Tavares de Sousa ,  
Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental -  
CCT."

1. Esgoto doméstico. 2. Filtração lenta. 3. Reúso de água.

I. Título

21. ed. CDD 628.2

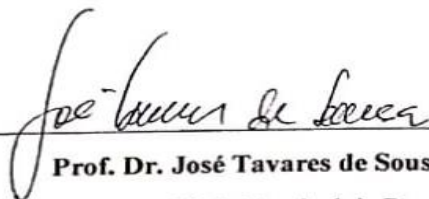
**MARÍLIA PATRÍCIO ALVES**

**PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM FILTROS LENTOS,  
COM DIFERENTES MEIOS FILTRANTES.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental-PPGCTA, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental.

Aprovada em 04 de fevereiro de 2020.

BANCA EXAMINADORA:



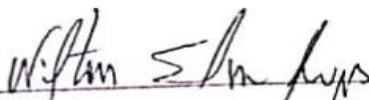
**Prof. Dr. José Tavares de Sousa**

(Orientador – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)



**Prof. Dr. Márcio Gomes Barboza**

(Examinador Externo – Universidade Federal de Alagoas – UFAL)



**Prof. Dr. Wiltor Silva Lopes**

(Examinador Interno – Universidade Estadual da Paraíba – UEPB)

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, que sempre guiou os meus passos, me ajudando a superar todos os obstáculos.

Aos meus familiares, namorado e amigos pelo apoio e paciência durante a elaboração da dissertação.

Ao Prof. Dr. José Tavares de Sousa pela orientação e dedicação no desenvolvimento dessa dissertação.

Aos membros da banca Prof. Dr. Márcio Gomes e Prof. Dr. Wilton Lopes por todas as contribuições realizadas para o enriquecimento do trabalho.

A todos os professores das disciplinas que cursei pelos conhecimentos e ensinamentos que foram transmitidos.

Aos amigos da EXTRABES pela troca de ideias e ajuda durante todo o mestrado.

A todos que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização da pesquisa, bem como meu aperfeiçoamento acadêmico e profissional.

Ao CNPq pela bolsa de mestrado concedida.

## RESUMO

A gestão dos recursos hídricos é um grande desafio no desenvolvimento econômico e na saúde pública. E devido a crescente preocupação com a pressão sofrida sobre esses recursos, promove-se o desenvolvimento de tecnologias capazes de ajudar a alcançar o equilíbrio entre a demanda e oferta da água. Diante disso, o esgoto doméstico torna-se um produto, sendo possível através do seu tratamento, gerar água de qualidade para satisfazer as atividades que necessitam em maior parcela em termos quantitativos. Dentre os processos de tratamento de águas, uma tecnologia bastante difundida que permite o melhoramento da qualidade dos efluentes é a filtração lenta podendo ser unida a outras tecnologias a fim de se obter maior eficiência, a exemplo do material não-tecido. Por conseguinte, a presente pesquisa teve como objetivo comparar diferentes meios filtrantes no emprego de filtros lentos e avaliar a capacidade dos sistemas em tratar esgoto doméstico, pré-tratado em sistema de lodos ativados, para produção de água de reúso urbano de classe II. Para isso, foram construídos quatro filtros lentos diferindo o meio filtrante sendo um de areia (FLA), um de material não-tecido sintético (FNT 1), um de material não-tecido agulhado de 20 cm (FNT 2) e de material não-tecido agulhado de 30 cm (FNT 3). Para avaliar a eficiência dos sistemas, foram monitorados os parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente obtido no sistema de lodo ativado (utilizado como afluente nos filtros) e efluentes produzidos nos filtros lentos. Como resultados foram obtidas eficiências médias de 80%, 50%, 44% e 38% na remoção de turbidez, DQO, SST e SSV, respectivamente, para o FLA. Para o FNT 1, eficiências médias de 32% e 27 % na remoção de turbidez e DQO. Para o FNT 2, as eficiências médias obtidas foram de 83%, 46%, 48% e 49% na remoção de turbidez, DQO, SST e SSV, respectivamente. Por fim, para FNT 3 eficiências médias de 74%, 43%, 41% e 43% na remoção de turbidez, DQO, SST e SSV, respectivamente. Em segundo plano, para o parâmetro amônia foi verificada baixa remoção pós filtros, e para o fósforo não foram obtidas diferenças entre afluente e efluentes. Os efluentes produzidos não apresentaram ovos de helmintos e as concentrações de Coliformes Totais e *E. Coli* obtidas foram na ordem de  $10^3$  NPM.  $100 \text{ mL}^{-1}$ . Conclui-se que o filtro lento com meio filtrante de material não-tecido agulhado apresenta eficiência equivalente ao filtro lento de areia que é um sistema já difundido. Porém, os FNTs possuem maior facilidade de operação e de limpeza, além de curto tempo de amadurecimento quando comparado com o FLA.

**Palavras-chave:** Esgoto doméstico; Filtração lenta; Reúso de água.

## ABSTRACT

Managing water resources is a great challenge on economic developing and public health. Due to the continuous growth of concern on behalf of this resources, promoting development of technologies capable of reaching the balance between demand and offer of water is important. Therefore, domestic sewage becomes a product, and it's possible to generate quality water to satisfy activities that need most in quantitative terms, through an efficient treatment. Among the treatment procedures of water, a technology widely known that allows the improvement of effluent quality is slow filtration and can be used with other technologies to achieve more efficiency, as an example, nonwoven material. Consequently, this research has the objective to compare the behave of different kinds of filtration media on slow filtration, and evaluate system's capacity to treat domestic sewage, pretreated with an activated sludge system, aiming the production of urban reuse water of class II. In this regard, four slow filters were built, they differ the filtration media. The materials used were sand (FLA), synthetic nonwoven material (FNT 1), needled nonwoven material of 20 cm (FNT 2) and needled nonwoven material of 30 cm (FNT 3). To evaluate system's efficiency, it was observed the physical, chemical and microbiological parameters of the activated sludge system (used as affluent of the filters) and effluents produced by slow filters. As result, the average efficiencies obtained were 80%, 50%, 44% and 38% on removing turbidity, DQO, SST and SSV, respectively, for the FLA. FNT 1 had average efficiency of 32% and 27% on removing turbidity and DQO. FNT 2 had average efficiencies of 83%, 46%, 48% and 49% on removing turbidity, DQO, SST and SSV, respectively. Finally, FNT 3 had average efficiencies of 74%, 43%, 41% and 43% on removing turbidity, DQO, SST and SSV, respectively. In the background, for ammonia parameter it was verified low removal post filters, and for phosphorus there were not differences between affluent and effluent. There were not helminth eggs on the effluent of the filters, the concentrations of Total Coliforms and *E. Coli* obtained were about  $10^3$  NPM.100 mL<sup>-1</sup> order. Concluding that slow filter with needled nonwoven material as a filter media presents equivalency with sand slow filter that is a known system. However, FNT has operation and cleaning facilitations, besides a shorter maturing time comparing to FLA.

**Key-words:** Domestic sewage; slow filtration; Water reuse.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Modalidades das águas de reúso direto não potável. ....	16
<b>Tabela 2.</b> Classificação de parâmetros para reúso de água segundo NBR- 13.969/97.....	16
<b>Tabela 3.</b> Descrição dos parâmetros utilizados em cada ensaio realizado na pesquisa. ....	29
<b>Tabela 4.</b> Dados de dimensionamento do Filtro lento de areia.....	30
<b>Tabela 5.</b> Metodologia das análises realizadas. ....	34
<b>Tabela 6.</b> Duração dos ensaios realizados. ....	36
<b>Tabela 7.</b> Estudo estatístico da turbidez nos ensaios. ....	41
<b>Tabela 8.</b> Estudo estatístico da Demanda Química de Oxigênio nos ensaios. ....	44
<b>Tabela 9.</b> Estudo estatístico das Frações de Sólidos dos ensaios. ....	48
<b>Tabela 10.</b> Dados do pH obtidos nos ensaios realizados. ....	49
<b>Tabela 11.</b> Dados do AGV obtidos nos ensaios realizados. ....	50
<b>Tabela 12.</b> Dados da Alcalinidade obtidos nos ensaios realizados.....	51



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Classificação dos sistemas de Filtração. ....	18
<b>Figura 2.</b> Mecanismos de transporte.....	18
<b>Figura 3.</b> Estrutura do Material não-tecido e Tecido. ....	24
<b>Figura 4.</b> Fluxograma das etapas realizadas na pesquisa. ....	28
<b>Figura 5.</b> Configuração do Filtro lento de areia. ....	30
<b>Figura 6.</b> Configuração Filtro não-tecido 1. ....	31
<b>Figura 7.</b> Configuração dos Filtros preenchidos com não-tecido agulhado. ....	33
<b>Figura 8.</b> Biofilme aderido ao material não tecido. ....	34
<b>Figura 9.</b> Micrografia MEV do material não-tecido utilizado como meio filtrante nos ensaios 1 e 2. ....	37
<b>Figura 10.</b> Micrografia MEV do material não-tecido utilizados como meios filtrantes nos ensaios 3 ao 7.....	38
<b>Figura 11.</b> Dados da Turbidez obtidos nos ensaios 1 e 2. ....	39
<b>Figura 12.</b> Dados da Turbidez obtidos nos ensaios 3 a 7. ....	40
<b>Figura 13.</b> Dados da Demanda química de oxigênio obtidos nos ensaios 1 e 2.....	42
<b>Figura 14.</b> Dados da Demanda química de oxigênio obtidos nos ensaios 3 a 7.....	43
<b>Figura 15.</b> Dados dos Sólidos Suspensos Totais e Voláteis obtidos nos ensaios 1.....	45
<b>Figura 16.</b> Dados dos Sólidos Totais e Voláteis obtidos nos ensaios 2.....	45
<b>Figura 17.</b> Dados dos Sólidos Suspensos Totais obtidos nos ensaios 3 a 7. ....	47
<b>Figura 18.</b> Dados dos Sólidos Suspensos voláteis obtidos nos ensaios 3 a 7.....	47
<b>Figura 19.</b> Valores médios da Amônia obtidos nos ensaios. ....	52
<b>Figura 20.</b> Valores médios do Fósforo obtidos nos ensaios. ....	53
<b>Figura 21.</b> Dados de Coliformes Totais obtidos para as amostras. ....	55
<b>Figura 22.</b> Dados de Escherichia coli obtidos para as amostras.....	56

## BREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

<b>%</b>	Percentual
<b>µm</b>	Micrômetro
<b>ABINT</b>	Associação Brasileira de não tecido
<b>AGV</b>	Ácidos Graxos Voláteis
<b>ANOVA</b>	Análise de Variância
<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>CAGEPA</b>	Companhia de Água e Esgoto
<b>cm</b>	Centímetro
<b>d</b>	Dia
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica De Oxigênio
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxigênio
<b><i>E. Coli</i></b>	<i>Escherichia Coli</i>
<b>ETE</b>	Estação de tratamento de esgoto
<b>EXTRABES</b>	Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgoto Sanitário
<b>g</b>	Gramma
<b>h</b>	Hora
<b>kPa</b>	Quilo pascal
<b>kWh</b>	Quilowatt-hora
<b>L</b>	Litro
<b>log</b>	Logaritmo
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro quadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>MBR</b>	Biorreator de membrana
<b>MEV</b>	Microscópio Eletrônico de Varredura
<b>mg</b>	Miligramma
<b>Min</b>	Minuto
<b>mL</b>	Mililitro

<b>Mm</b>	Milímetro
<b>N</b>	Nitrogênio
<b>NH<sub>4</sub></b>	Amônia
<b>NTU</b>	Unidade Nefelométrica de Turbidez
<b>OMS</b>	Organização Mundial da Saúde
<b>P</b>	Fósforo
<b>pH</b>	Potencial hidrogeniônico
<b>PTM</b>	Pressão Transmembrana
<b>PVC</b>	Poli cloreto de vinila
<b>SNIS</b>	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
<b>SST</b>	Sólidos suspensos totais
<b>SSV</b>	Sólidos suspensos voláteis
<b>ST</b>	Sólidos totais
<b>STV</b>	Sólidos totais voláteis
<b>UASB</b>	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
<b>UEPB</b>	Universidade Estadual da Paraíba

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>14</b>
2.1. Objetivo Geral .....	14
2.2. Objetivos Específicos .....	14
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>15</b>
3.1. Reúso de Água residuária doméstica.....	15
3.2. Filtração Lenta.....	17
3.2.1. Mecanismos de transporte .....	18
3.2.2. Mecanismos de aderência.....	20
3.2.3. Atividade biológica.....	21
3.3. Material não tecido .....	23
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>27</b>
4.1. Localização do sistema experimental .....	27
4.2. Água de estudo .....	27
4.3. Sequência de etapas realizadas na pesquisa .....	27
4.4. Construção dos sistemas de filtração.....	29
4.4.1. Filtro lento de areia (FLA).....	29
4.4.2. Filtro Não Tecido 1 (FNT 1) .....	31
4.4.3. Filtro Não Tecido 2 e 3 (FNT 2 e FNT 3) .....	32
4.5. Retrolavagem.....	33
4.6. Monitoramento da qualidade do afluente e efluentes .....	34
4.7. Análise estatística .....	35
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>35</b>
5.1. Duração dos ensaios .....	35
5.2. Caracterização dos Meios Filtrantes.....	37
5.3. Parâmetro Turbidez .....	38
5.4. Parâmetro Demanda Química de Oxigênio .....	42
5.5. Parâmetro Frações de Sólidos .....	45
5.6. Parâmetro pH, AGV e Alcalinidade .....	49
5.7. Parâmetro Amônia e Fósforo.....	51
5.8. Parâmetros Microbiológicos.....	54
<b>6. CONCLUSÃO</b> .....	<b>58</b>
<b>7. REFERÊNCIAS</b> .....	<b>59</b>
<b>APÊNDICE A - MICROGRAFIAS MEV</b> .....	<b>66</b>

<b>APÊNDICE B – QUADROS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA .....</b>	<b>68</b>
<b>APÊNDICE C – FIGURAS DO EXPERIMENTO .....</b>	<b>73</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil, elaborado pela Agência Nacional de Águas, em média dos 496,2 m<sup>3</sup>/s de água tratada consumida para o abastecimento, 397,0 m<sup>3</sup>/s retorna ao meio ambiente em forma de esgoto. O gerenciamento desse esgoto apresenta os seguintes percentuais, 45% dos esgotos gerados não recebem tratamentos, 43% são coletados e tratados em Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) e outros 12% são encaminhados para tanques sépticos (BRASIL, 2017).

No cenário mundial, grande parcela das águas residuárias geradas (mais de 95% em alguns países em desenvolvimento) é despejada no meio ambiente com tratamento inadequado ou sem tratamento algum (WWAP, 2017). Esses lançamentos apresentam efeitos nocivos para a saúde humana, impactos negativos ao meio ambiente e repercussões adversas para as atividades humanas. Diante disto, torna-se necessário melhorar a gestão de águas residuárias por meio de tratamento, regeneração e reutilização (BIXIO et al., 2006).

A água residuária, portanto, torna-se foco, impulsionado a partir da meta apresentada para Agenda 2030 em melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos, reduzindo à metade a proporção de águas residuárias não tratadas e aumentando substancialmente a reciclagem e reutilização em escala global (WWAP, 2017).

Segundo Marecos do Monte e Albuquerque (2010), a reutilização de águas residuárias para fins múltiplos é uma prática antiga, porém em constante desenvolvimento. O aumento drástico da procura de água, acompanhada do avanço tecnológico, do crescimento populacional e da urbanização, gera como consequência o aumento da pressão sobre o ciclo natural da água, sendo esse o eixo central da gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos.

A reutilização de águas residuárias, submetidas aos processos de tratamento diferenciados para remoção de poluentes nelas contidas, é uma forma alternativa de obtenção de água para suprir as necessidades do consumo. Dessa maneira, é considerada uma importante estratégia, na medida em que se obtém vantagem do binômio: redução do consumo/desperdício de água doce e descarga de efluentes brutos no meio receptor. Do ponto de vista econômico, torna-se uma vantagem, uma vez que permite reduzir, de certa forma, os custos associados ao abastecimento de água doce (CORDEIRO, 2012).

O recurso ao reaproveitamento de águas residuárias tratadas é feito preferencialmente para satisfazer as necessidades de usos correspondentes à maior parcela de procura de água em termos quantitativos e que apresentem um certo nível de exigência no que respeita à qualidade das mesmas (GOMES, 2014). Atualmente, as principais aplicações das águas residuárias tratadas são em áreas agrícolas, espaços verdes, industrial, recarga de aquíferos, utilizações recreativas e ambientais e utilizações urbanas não potáveis.

Faz-se necessário além do desenvolvimento de projetos, regulamentações muito rígidas, proteger a qualidade do recurso, desenvolver sistemas de baixo custo e também definir novos e relevantes processos de tratamento para águas residuárias urbanas, permitindo a reutilização direta de efluentes e a melhoria da proteção dos recursos hídricos (MENDRERT et al., 2019).

Dentre os processos de tratamento de águas, uma tecnologia bastante difundida que permite o melhoramento da qualidade dos efluentes é a filtração lenta. Tem sido considerada uma tecnologia convencional eficaz no tratamento de água, para o tratamento de uma ampla gama de poluição física, química e biológica (LI et al., 2018). Além disso, os processos de filtração lenta em areia são de simples operação e manutenção, apresentam baixo custo operacional e podem ser usados como tratamento terciário em estações de tratamento de águas residuárias.

A filtração lenta quando unida a outras tecnologias pode promover maior eficiência nos tratamentos, a exemplo do emprego do não tecido. Não tecido é definido como uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de fibras ou filamentos orientados aleatoriamente, consolidados por processo mecânico, por adesão, processo térmico ou combinações destes. Diferem das estruturas tecidas, pois estas são confeccionadas pelo entrelaçamento ordenado das fibras, formando, geralmente, um ângulo de 90° (ABNT, 2002).

Diante do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo comparar diferentes meios filtrantes no emprego da filtração lenta e avaliar a capacidade dos sistemas em tratar água residuária doméstica, pré-tratada em sistema de lodo ativado, para produção de água de reuso urbano de classe II.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar a eficiência entre os meios filtrantes areia e material não-tecido, como pós-tratamento de água residuária doméstica tratada, visando produzir efluente para reúso urbano de Classe II.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Verificar o desempenho do meio filtrante não-tecido em comparação a areia em termos de parâmetros operacionais e eficiência.

Avaliar a formação de biofilme nos filtros biológicos, bem como o amadurecimento desses.

Comparar a eficiência dos filtros quando submetidos a diferentes taxas de filtração.



### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Reúso de Água residuária doméstica**

O reúso de água consiste na utilização de água residuária, seja o esgoto sanitário e/ou demais efluentes gerados em edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuárias, tratados ou não, com o objetivo de utilizar água de qualidade inferior para outros usos menos nobres, permitindo assim a utilização dos mananciais para o abastecimento público e usos prioritários e ainda minimizando a emissão de efluentes em corpos d'água, contribuindo para a preservação e conservação dos recursos hídricos (CETESB, 2018).

A reciclagem desses efluentes já é realidade em alguns países, como Estados Unidos, Japão e alguns países da Europa, os quais possuem legislação específica para o desenvolvimento da atividade e obrigações de implantação de sistemas de tratamento e recirculação da água utilizada (MORELLI, 2005).

Alguns fatores contribuem para o não tratamento das águas residuárias, esses, referem-se a falta de infraestrutura, de capacidade técnica e institucional e financiamento, para obtenção de água com qualidades mínimas que assegure a saúde pública e que atendam aos parâmetros exigidos em legislação.

No Brasil são definidos por legislação as modalidades e parâmetros que devem ser atendidos obrigatoriamente, a exemplo da Resolução Federal nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos de 2005 (CNRH, 2005), exposto na Tabela 1, que define o reúso da água como a utilização da água residuária, ou seja, todo esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não, que atendam aos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades desejadas.

A NBR – 13.969/97 que classifica o reúso local de água como a utilização local do esgoto tratado para diversas finalidades, exceto para o consumo humano. E dispõe as classificações e seus respectivos valores de parâmetros, conforme o tipo de água, apresentadas na Tabela 2.

Esta classificação baseia-se no nível de contato que a água de reúso apresentará em relação ao ser humano que irá manipulá-la. De modo que, quanto maior o contato, maior será o nível de qualidade exigido por norma.

**Tabela 1.** Modalidades das águas de reúso direto não potável.

<b>MODALIDADE</b>	<b>DESCRIÇÃO</b>
<b>Reúso para fins urbanos</b>	Utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área Urbana.
<b>Reúso para fins agrícolas e florestais</b>	Aplicação de água de reúso para produção agrícola e cultivo de florestas plantadas.
<b>Reúso para fins ambientais</b>	Utilização de água de reúso para implantação de projetos de recuperação do meio ambiente.
<b>Reúso para fins industriais</b>	Utilização de água de reúso em processos, atividades e operações industriais.
<b>Reúso na aquicultura</b>	Utilização de água de reúso para a criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos

Fonte: CNRH 2005.

**Tabela 2.** Classificação de parâmetros para reúso de água segundo NBR- 13.969/97.

<b>TIPO DE USO</b>		<b>PARÂMETROS</b>
<b>Classe I</b>	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água	Turbidez $\leq 5$ SST $\leq 200$ mg. L <sup>-1</sup> pH 6 a 8 Coliforme fecal $\leq 200$ NMP/100 mL
<b>Classe II</b>	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos Jardins; Manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	Turbidez $\leq 5$ Coliforme fecal $\leq 500$ NMP/100 mL Cloro residual 0,5

Continuação Tabela 2.

<b>Classe III</b>	Uso nas descargas dos vasos sanitários	Turbidez $\leq 10$ Coliforme fecal $\leq 500$ NMP/100 mL
<b>Classe IV</b>	Uso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. <sup>(1)</sup>	Coliforme fecal $\leq 5000$ NMP/100 mL OD $\geq 2,0$ mg. L <sup>-1</sup>

Fonte: NBR-13.969/97. <sup>(1)</sup> As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita.

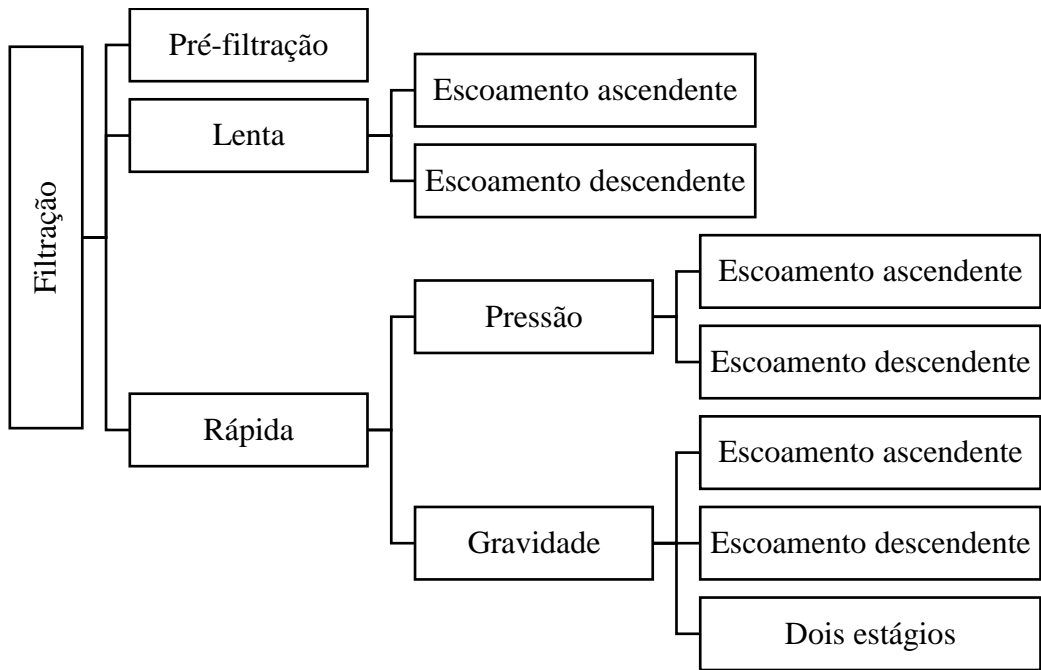
### 3.2. Filtração Lenta

As civilizações de alguns séculos atrás já sabiam diferenciar a qualidade da água apenas por suas características organolépticas e por isso atribui-se que os filtros lentos foram criados a partir a observação da limpidez das águas subterrâneas pelo ser humano, a qual era entendida como um resultado da passagem da água pelo solo. A primeira unidade conhecida para abastecimento de toda uma população com o emprego da filtração lenta foi construída em 1804 na cidade de Paisley-Escócia, sendo que a unidade de Londres iniciou sua operação 25 anos depois (GALVIS et al., 1992).

Filtros lentos são dispositivos que permitem a filtração em meio granular que operam com taxa de filtração entre 2,4 a 9,6 m.d<sup>-1</sup>. Esses filtros são basicamente compostos por: sistema de drenagem, camada suporte, camada filtrante, tubulação de descarga do sobrenadante, tubulações, válvulas e acessórios de saída (HUISMAN; WOOD, 1974).

Cada tipo de filtração (Figura 1) possui a capacidade de remoção de determinados componentes, essa eficiência está diretamente ligada as características de cada processo. Segundo NG (2017), existem mecanismos intervenientes por tipo de filtração, ou seja, a prevalência de determinados mecanismos dependendo do tipo de filtração. Na filtração rápida prevalecem os mecanismos de transporte físico e hidráulicos e de aderência, enquanto na Filtração lenta predominam os mecanismos de transporte e filtração biológica.

**Figura 1.** Classificação dos sistemas de Filtração.

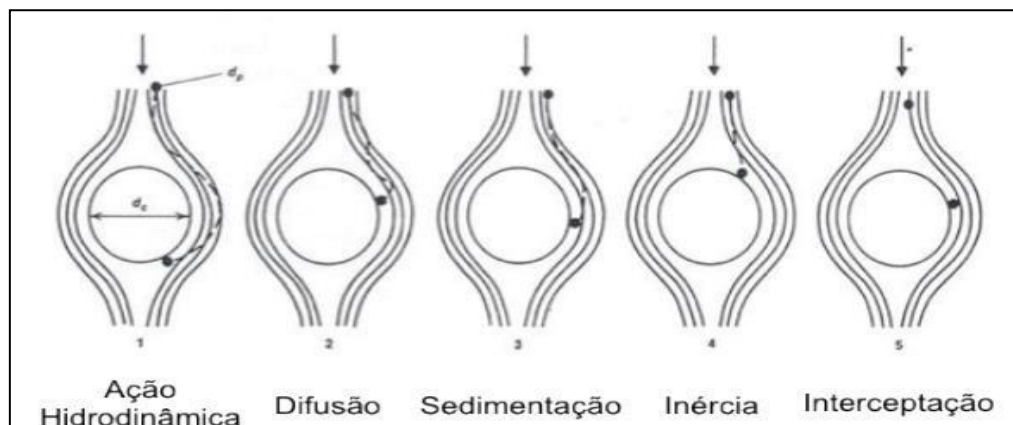


Fonte: Libânio (2010).

### 3.2.1. Mecanismos de transporte

Os mecanismos de transporte (Figura 2) são influenciados pela temperatura da água, uma vez que este parâmetro intervém na viscosidade e no escoamento, pelas características do meio filtrante, como o diâmetro e forma dos grãos, espessura e porosidade, e, por fim, pela taxa de filtração aplicada no sistema.

**Figura 2.** Mecanismos de transporte.



Fonte: Amirtharajah (1988)

Os mecanismos de transporte baseiam-se em promover o contato entre o material em suspensão presente no fluido que se deseja tratar e o meio filtrante presente no filtro.

Dentre estes mecanismos tem-se a ação física de coar, o mecanismo de transporte mais evidente, sendo responsável pela retenção das partículas e pela evolução da perda de carga no topo do meio filtrante. Uma vez que esta ação provoca a remoção das partículas em suspensão que não conseguem passar pelos poros do meio filtrante devido ao seu tamanho, sendo retidas principalmente na superfície dos filtros.

A Força Hidrodinâmica é a ação que ocorre em partículas de maiores dimensões decorrentes da diferença de velocidades tangenciais a superfície assegurada pela característica do escoamento laminar.

A difusão, na filtração, decorre dos movimentos aleatórios das moléculas de água que confere às partículas coloidais de pequenas dimensões um movimento difuso denominado Movimento Browniano. Esse movimento por sua vez depende do aumento da energia termodinâmica das moléculas que pode ser provocado pelo aumento da temperatura e da redução da viscosidade, da densidade das partículas dispersas e à velocidade de aproximação. Por conseguinte, provoca o desvio das partículas da linha de corrente e deposição no meio filtrante nas regiões onde a velocidade intersticial é mais baixa (AMIRTHARAJAH, 1988).

A sedimentação predomina entre as partículas que apresentam densidade maior que a densidade da água. Esse processo ocorre através dos canais formados pelos interstícios do meio filtrante, formando microunidades de sedimentação. As partículas desviam da trajetória das linhas de correntes proveniente do escoamento caracterizado pelo regime laminar e depositam-se na superfície dos grãos. Essa deposição ocorre devido aos choques na seção circular transversal ao escoamento (denominado coletor) e as colisões entre as partículas e os grãos do meio filtrante.

O impacto inercial é um mecanismo que ocorre em partículas de maiores dimensões e densidades, por essas poderem adquirir uma quantidade de movimento suficiente para manter sua trajetória original, divergindo das linhas de corrente (movimento em torno dos grãos), promovendo a colisão aos grãos e conseqüentemente a retenção. Por fim, a Intercepção é um dos mecanismos que ocorrem ao longo de uma linha de corrente tangencial à superfície dos grãos. O choque das partículas com os grãos do meio filtrante e posterior deposição ocorre, quando a distância da linha de corrente à superfície do grão for inferior a metade do diâmetro da partícula (DASSALO, 2005).

### 3.2.2. Mecanismos de aderência

A aderência entre as partículas transportadas e os grãos ocorre devido as características das superfícies das partículas e dos grãos, ou seja, da afinidade entre as partículas e o meio filtrante. Do mesmo modo que as partículas aderem diretamente a superfície dos grãos, elas também podem, aderir-se aos depósitos existentes.

Essa aderência é explicada por fenômenos de interação entre as forças elétricas, forças de van der Waals e pontes químicas (quando utilizados auxiliadores de filtração) das partículas às superfícies dos grãos por um material intermediário.

É verificado que quase todas as partículas apresentam uma carga elétrica em suas superfícies quando estão imersas em água. Podendo ser resultantes da dissociação de íons na superfície das partículas, de cargas não balanceadas devido suas estruturas, das reações químicas com íons, formando ligações químicas, da adsorção física de íons da suspensão, ou ainda, da substituição isomórfica na estrutura dos cristais.

Essas cargas apresentadas pelas partículas favorecem o mecanismo de aderência denominado Forças de van der Waals, de maneira que é verificada principalmente quando a distância entre as partículas e/ou entre as partículas e os grãos são inferiores a  $0,05 \mu$  (HESPANHOL, 1987).

Outro fator que favorece a aderência é caracterizado pelos materiais utilizados como meios filtrantes que apresentam predominantemente cargas negativas. Essa característica apresentada por esses meios favorece a ocorrência da atração com cargas carregadas positivamente como metais e cristais de carbonato. As forças eletrostáticas de atração e repulsão promovem a sobreposição de diferentes partículas que se aderem umas às outras através da interação de suas cargas (HUISMAN; WOOD, 1974).

As partículas em suspensão geralmente são carregadas negativamente, apresentando desta maneira repulsão aos meios filtrantes, porém ao longo do tempo, os processos de sobreposições de diferentes partículas favorecerá a atração desse material em suspensão ao meio coletor, sendo explicada a necessidade do período de amadurecimento dos filtros que conseqüentemente será verificado com a maior eficiência de remoção de material em suspensão.

### 3.2.3. Atividade biológica

Segundo Baruth (2005), na filtração em areia a atividade biológica que ocorre na superfície do leito é a reação mais responsável pelo tratamento. Sendo necessário o cuidado durante todas as fases do projeto, a fim de manter a população biológica ativa. Essa população biológica é caracterizada pela presença de bactérias, algas, protozoários, fungos, rotíferos e vermes que formam a “camada de sujeita” conhecida como *schmutzdecke*.

Este *schmutzdecke* contribui para interação desses organismos com as partículas presentes na água e sua formação dependerá exclusivamente do “tempo de maturação” (ou amadurecimento do filtro lento). Apenas após esse amadurecimento, o filtro encontra-se em condições adequadas para produzir o *schmutzdecke* e, conseqüentemente, água tratada de boa qualidade. Assim, o *schmutzdecke* decompõe parte da matéria orgânica da água residuária que se deseja tratar, sendo responsável principalmente pela remoção do material particulado (ELLIS, 1985).

A ação das bactérias promove a transformação dos constituintes biodegradáveis dissolvidos e particulados em produtos finais simples como água, dióxido de carbono e sais inorgânicos, por meio da oxidação, onde parte desses constituintes é utilizado para as bactérias adquirir energia que necessitam para seu metabolismo e parte é convertida em material celular para seu crescimento (ELLIS, 1985).

Ao longo da profundidade do filtro os constituintes se tornam mais escassos portanto, como são necessários para o desenvolvimento das bactérias, há limitação da população. As bactérias também são responsáveis pela produção de polímeros extracelulares que permitem a aderência das partículas no meio filtrante.

Segundo Huisman (2004), a ação biológica em filtros lentos promove a remoção de bactérias, como *E. coli* e patógenos. Através dos mecanismos de transporte e também por seu próprio movimento, as bactérias aderem à superfície dos grãos do filtro onde o alimento está concentrado. Para bactérias intestinais, o ambiente aquático é insalubre, pois a temperatura é baixa e a matéria orgânica de origem animal é escassa para atender suas necessidades metabólicas, ocorrendo dessa forma a inativação desses microrganismos nos filtros lentos.

Paterniani et al. (2011) visou avaliar a aplicabilidade da filtração lenta, comparando diferentes meios filtrantes, ambos associados a pré-filtros, no tratamento de efluentes domésticos objetivando posterior fertirrigação. Trabalhou-se comparando dois meios filtrantes

distintos, sendo o primeiro composto de areia e manta não tecida no topo e o segundo com areia, carvão ativado e também manta não tecida no topo. Foram avaliados parâmetros como sólidos suspensos, turbidez, cor aparente, coliformes totais e *E. Coli*. Ambas as unidades apresentaram resultados satisfatórios, porém a utilização do carvão ativado resultou em maiores remoções dos parâmetros citados. As remoções mais relevantes foram, para o filtro de manta e areia e manta, carvão e areia, respectivamente: 26,01 e 39,3% para turbidez, 33,7 e 44,01% para cor aparente, 57,5 e 74,6% para coliformes totais e 70,7 e 72,6% para *E. Coli*, possibilitando a utilização do efluente para fertirrigação, mas necessitando de desinfecção a depender da cultura.

Nascimento, Pelegrini e Brito (2012) avaliaram o potencial da filtração lenta em abastecer comunidades rurais e desfavorecidas no atendimento de água potável. Para isto montaram filtros lentos e aplicaram água de um manancial localizado no campus da Universidade Federal de São Carlos. Analisando pH, turbidez, cor e matéria orgânica durante um período de quatro meses constatou-se remoções satisfatórias, com 90% de redução para turbidez, 50% para cor e matéria orgânica.

Bagundol et al. (2013) estudaram a eficiência de filtros lentos na purificação de águas subterrâneas, analisando parâmetros bacteriológicos e turbidez em diferentes profundidades dos filtros e operando com taxas variadas. Os índices de remoção para *E. Coli* apresentados foram altos, independente das taxas e profundidades analisadas, variando de 69,18 a 100% de remoção. Já para turbidez constatou-se uma mudança de acordo com a profundidade, mas não com a variação das taxas de filtração. Para profundidades mais superficiais obteve-se remoção de 98,96% enquanto para maiores profundidades, 99,66%.

Schijven et al. (2013) elaboraram uma modelagem matemática para determinação da remoção de vírus e bactérias na filtração lenta, sob condições de operação variada pelos parâmetros de temperatura, vazão, tamanho dos grãos e tempo de maturação da *schmutzdecke*. Trabalhando com o vírus bacteriófago MS2 e a bactéria *E. Coli*, o modelo elaborado conseguiu prever remoções dos dois patógenos com a aproximação de  $\pm 0,6$  log.

Corral et al. (2014) realizou a comparação entre a filtração lenta e microfiltração como pré-tratamento para posterior dessalinização por osmose reversa. A avaliação do pré-tratamento dos dois métodos foi comparada por meio da remoção de turbidez e pelo parâmetro *Silt Density Index* (SDI). Esse parâmetro mede o grau de sujeira da água. Quanto maior o SDI mais rápido as membranas da osmose reversa entopem. Os resultados de anos de experimento mostraram



que a filtração lenta promoveu água de boa qualidade para ser utilizada em posterior osmose reversa, com SDI < 5. Mas nesse caso a microfiltração se mostrou mais eficiente, com SDI < 3, o que prolonga ainda mais a utilização das membranas da osmose reversa.

Pompei et al. (2016) avaliaram a influência de PPCPs (produtos farmacêuticos e produtos de cuidados pessoais) no desenvolvimento de filtros lentos de areia operados intermitentemente para purificação de água residuária doméstica. Os autores investigaram o desenvolvimento de *schmutzdecke* e remoção de compostos anti-inflamatórios em dois filtros sendo um operado com e outro sem contaminação por seis PPCPs. Onze parâmetros foram monitorados na água afluenta e efluente incluindo espécies bacterianas presentes e desenvolvimento da biomassa. Verificaram que a filtração lenta é capaz de remover os compostos, porém não houve diferença significativa entre os filtros para remoção de coliformes totais e *E. coli*. No entanto, verificou-se que mais espécies bacterianas estavam presentes no período sem contaminação do que durante o período de contaminação, sugerindo que há efeito de PPCPs em espécies bacterianas dentro do filtro.

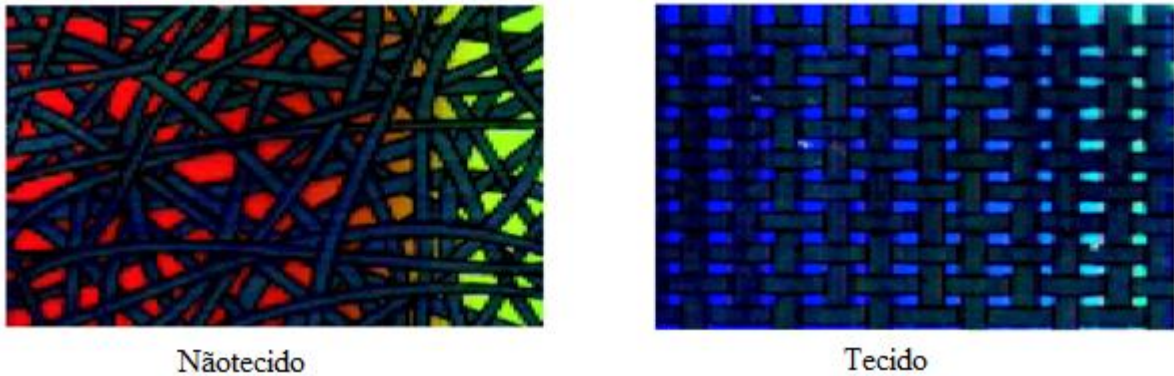
### **3.3. Material não tecido**

De acordo com a norma NBR-13370 da ABNT (2002), não tecido é uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de fibras ou filamentos orientados aleatoriamente, consolidados por processo mecânico, por adesão, processo térmico ou combinações destes. Diferem das estruturas tecidas, pois estas são confeccionadas pelo entrelaçamento ordenado das fibras, formando, geralmente, um ângulo de 90° (Figura 3).

O emprego de uma camada de material não tecido na filtração lenta permite maior domínio do processo que se desenvolve de forma natural e sem demanda de produtos químicos, mas requer um adequado projeto, apropriada operação e cuidadosa manutenção para obter bons resultados.

Segundo Airoidi et al. (2003), as mantas sintéticas de material não tecido apresentam grande potencial de filtração e podem ser utilizadas em filtros rápidos, devido a uma série de características como a alta porosidade e condutividade hidráulica, além de apresentarem um histórico de pesquisas bem-sucedidas na filtração lenta de água.

**Figura 3.** Estrutura do Material não-tecido e Tecido.



Fonte: Adaptado de ABINT (2015).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de não-tecido (ABINT), os materiais não-tecidos podem ser classificados pelo processo de fabricação, matérias primas, características das fibras/filamentos, processo de consolidação, gramatura, processo de transformação e/ou conversão, ou associação desses elementos. A partir desta classificação, são apresentadas todas as características que os materiais não-tecido podem apresentar.

A gramatura se refere ao peso do material por unidade de área, podendo este apresentar-se como leve, médio, pesado e muito pesado, variando de 25 g/m<sup>2</sup> a 150 g/m<sup>2</sup>. Para a formação da manta, são apresentados os processos utilizados para transformar a manta no material não-tecido, por via seca e úmida são utilizadas as fibras e nos processos por via fundida são usados polímeros.

A consolidação da manta promoverá a união das fibras ou filamentos e o acabamento final. A consolidação mecânica pode ser realizada por Agulhagem ou hidroentrelaçamento sendo necessário nesse, o emprego de altas pressões aliadas a jatos d'água ou por costura. A consolidação química ocorre a partir do emprego de resinas para promover a impregnação das fibras. E por fim a consolidação térmica, através da aplicação de calor, promove a fusão das fibras.

Dentre os materiais utilizados para confeccionar os não-tecidos, tem-se os artificiais, caracterizados pela utilização de viscose, vidro, silicone e acetato; os naturais, pelo uso de lã, algodão, sisal; e sintéticos, com o uso de poliéster, polipropileno, poliamida. Na maioria dos casos, as fibras representam a principal matéria-prima na fabricação dos não-tecidos, o produto final também pode ser constituído de compostos químicos, denominados ligantes, utilizados na

consolidação das fibras. A utilização de selantes depende do processo de fabricação empregado (ABINT, 2015).

Além das características mencionadas, os materiais não tecidos apresentam propriedades importantes que se relacionam ao material e ao processo de confecção utilizado na fabricação do produto. As propriedades que caracterizam o não tecido são gramatura (peso por unidade de área), espessura, composição, massa específica, superfície específica, porosidade e condutividade hidráulica. Essas propriedades influem na capacidade de filtração, retenção de partículas, e permeabilidade da água no não tecido.

No tratamento de água, o uso de não tecido sintético é mais notável na tecnologia de filtração lenta, trazendo resultados satisfatórios em termos de qualidade da água filtrada, facilidade de operação e custos envolvidos.

Paterniani (1991) desenvolveu estudos com a utilização de não tecidos no topo da camada de areia em filtros lentos. Os resultados demonstraram que o uso de não tecidos permite que sejam adotadas taxas de filtração mais elevadas que as convencionalmente utilizadas na filtração lenta, sem prejuízo para qualidade da água tratada, além de trazer como benefícios a redução da espessura da camada de areia, facilidade de limpeza e manutenção do filtro e aumento da duração das carreiras de filtração. Carreiras mais longas disponibilizam maior tempo para o amadurecimento do meio filtrante favorecendo a ação dos mecanismos físicos, químicos e biológicos do tratamento e diminuindo a frequência de lavagem do filtro, com consequente aumento da eficiência de tratamento.

A utilização de não tecidos sintéticos no topo do leito filtrante simplifica o processo de limpeza dos filtros e reduz os custos relacionados a este procedimento, o qual responde pelo principal gasto com manutenção na filtração com areia. Os não tecidos são facilmente retirados, lavados e recolocados no filtro após a secagem (DI BERNARDO et al., 1999).

Roy, Auger e Chénier (1998) substituíram a areia e pedregulhos por não tecidos sintéticos no processo de tratamento *in situ* de esgoto doméstico por filtros intermitentes. Foram utilizados não tecidos com porosidade de 80%, formando uma camada filtrante de 90 cm de espessura. Observou-se a possibilidade de operação com taxa de filtração de até  $1,8 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ , maiores do que as empregadas em sistemas padrões de tratamento de esgoto ( $0,2$  a  $0,6 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ ), com produção de efluente com excelente qualidade em termos de sólidos suspensos, nitrogênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). Além disso, os não tecidos

atenuaram dois fatores limitantes do sistema de tratamento por filtros intermitentes, a disponibilidade e o transporte do meio filtrante.

Chang et al. (2007) utilizaram o não tecido como meio de separação sólido-líquido também em sistema de tratamento de esgoto por MBR (Biorreator de membrana), eles notaram que o não tecido, embora apresentasse menor resistência à filtração do que as membranas microporosas, permitiu a formação de uma camada de lodo em sua superfície, a qual foi crucial para a eficiência do tratamento.

Silva (2008) realizou estudos que mostraram ser viável o uso de mantas sintéticas não tecidas no topo e como suporte do meio filtrante e também o uso de areia comum de construção peneirada em malha com abertura de 1 mm. Além da redução da espessura do meio filtrante, a manta sintética faz com que o “schmutzdecke” se forme na superfície desta, eliminando a necessidade de raspagem da areia para limpeza do filtro. Carreiras mais longas disponibilizam maior tempo para o amadurecimento do meio filtrante favorecendo a ação dos mecanismos físicos, químicos e biológicos do tratamento e diminuindo a frequência de lavagem do filtro, com consequente aumento da eficiência de tratamento.

Mulligan et al. (2009) avaliaram o uso de não tecidos em processos de filtração de águas superficiais por flutuação com aplicação *in situ* (conduzidos em escala laboratorial) para a remoção de sólidos suspensos contaminados com metais pesados visando a reabilitação de mananciais superficiais. Em coluna de filtração foi utilizada uma fina camada de geotêxtil não tecido variando de 0,5 a 1,4 mm de espessura, pela qual a água passava com fluxo ascendente por bombeamento de 10 L.min<sup>-1</sup>. Observou-se remoção superior a 98,9% de sólidos suspensos, eficiência de remoção de turbidez entre 93 e 98%, sendo a turbidez da água bruta de 20 a 120 NTU. O nível de remoção de metais pesados também foi superior a 98,9%, devido a aderência dos metais aos sólidos suspensos contidos na água.

Ren et al. (2010) utilizaram não tecido de poliéster em substituição às membranas microporosas de elevado custo, convencionalmente utilizadas em sistemas MBR (Biorreator de membrana). O não tecido apresentou boa filtrabilidade, elevado potencial de tratamento de esgoto, operação simplificada além de custo reduzido, sendo uma solução atrativa para difundir o uso desta tecnologia em áreas rurais e de pequenas populações.

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1. Localização do sistema experimental**

A presente pesquisa foi desenvolvida na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários - EXTRABES, localizada em área pertencente à Companhia de Águas e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA) e a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), localizadas no município de Campina Grande – PB, com coordenadas geográficas de 07° 13' S e 35° 52' W e altitude de 550 metros. Local onde foi instalado o sistema de filtração, assim como também foram realizadas as análises de controle de qualidade do afluente utilizado e o efluente tratado obtido.

### **4.2. Água de estudo**

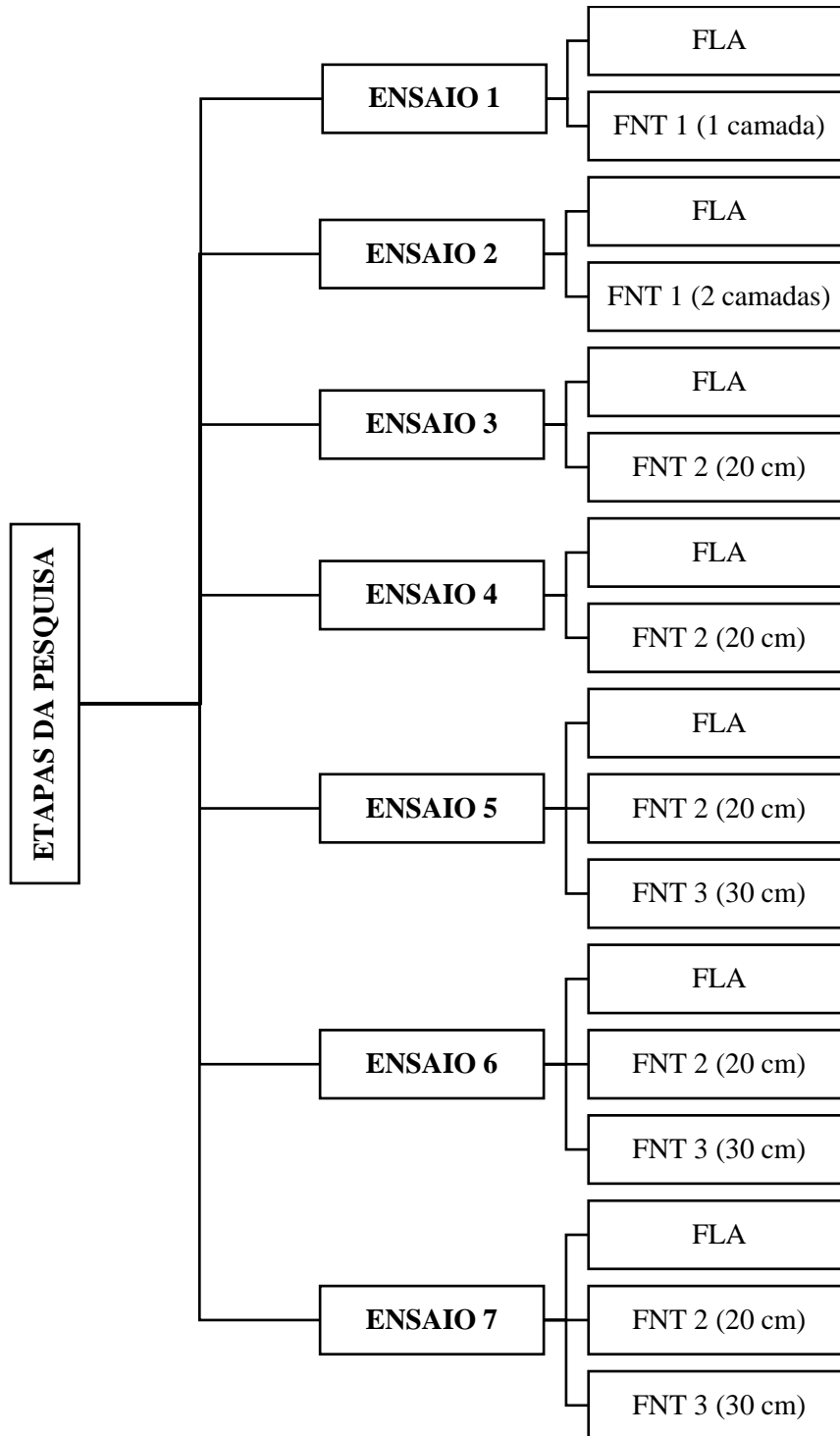
A água residuária utilizada para a presente pesquisa foi oriunda de Empreendimento Habitacional de 72 apartamentos localizados a 200 metros da área da EXTRABES, garantindo assim uma vazão média diária de 30 m<sup>3</sup> de esgotos domésticos. Esse esgoto era bombeado através de conjunto moto-bomba de fabricante KSB, 220 V, modelo 50-160K, para um tanque de equalização de onde alimentava os sistemas.

Para a obtenção do esgoto doméstico decantado, um volume de 20 L de esgoto oriundo do empreendimento habitacional foi armazenado em recipiente, sendo o sobrenadante utilizado para alimentar os sistemas de filtração. Para a obtenção do afluente aeróbio, o esgoto doméstico foi tratado em um reator de lodo ativados. Após tratado, o efluente oriundo do reator alimentava os sistemas de filtração.

### **4.3. Sequência de etapas realizadas na pesquisa**

O experimento foi dividido em sete ensaios, sendo representados por carreiras de filtração. Esses ensaios diferem entre si com relação ao tipo de afluente, ao material filtrante e a taxa de filtração utilizada, na Figura 4 tem-se o fluxograma do estudo.

**Figura 4.** Fluxograma das etapas realizadas na pesquisa.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

Na Tabela 3, estão descritos os parâmetros utilizados para cada ensaio. No ensaio 1 e 2, foi utilizado como afluente aos filtros o esgoto doméstico decantado, nos demais ensaios o efluente tratado em sistema de lodo ativado.

Quanto às taxas de filtração, as variações entre os filtros nos dois ensaios iniciais foram definidas devido as dimensões dos sistemas, o FLA apresentava um diâmetro de 100 mm enquanto que o FNT 1 de 50 mm. No ensaio 5, a maior taxa de filtração aplicada teve por objetivo verificar o comportamento dos filtros em tratar uma maior quantidade de afluente.

**Tabela 3.** Descrição dos parâmetros utilizados em cada ensaio realizado na pesquisa.

ENSAIO	AFLUENTE	TAXA DE FILTRAÇÃO (m <sup>3</sup> .m <sup>2</sup> . d)			
		FLA	FNT1	FNT2	FNT 3
1	Água residuária decantada	2	4		
2	Água residuária decantada	2	4		
3	AF Aeróbio	3		3	
4	AF Aeróbio	3		3	
5	AF Aeróbio	4		4	4
6	AF Aeróbio	3		3	3
7	AF Aeróbio	3		3	3

AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

#### 4.4. Construção dos sistemas de filtração.

##### 4.4.1. Filtro lento de areia (FLA)

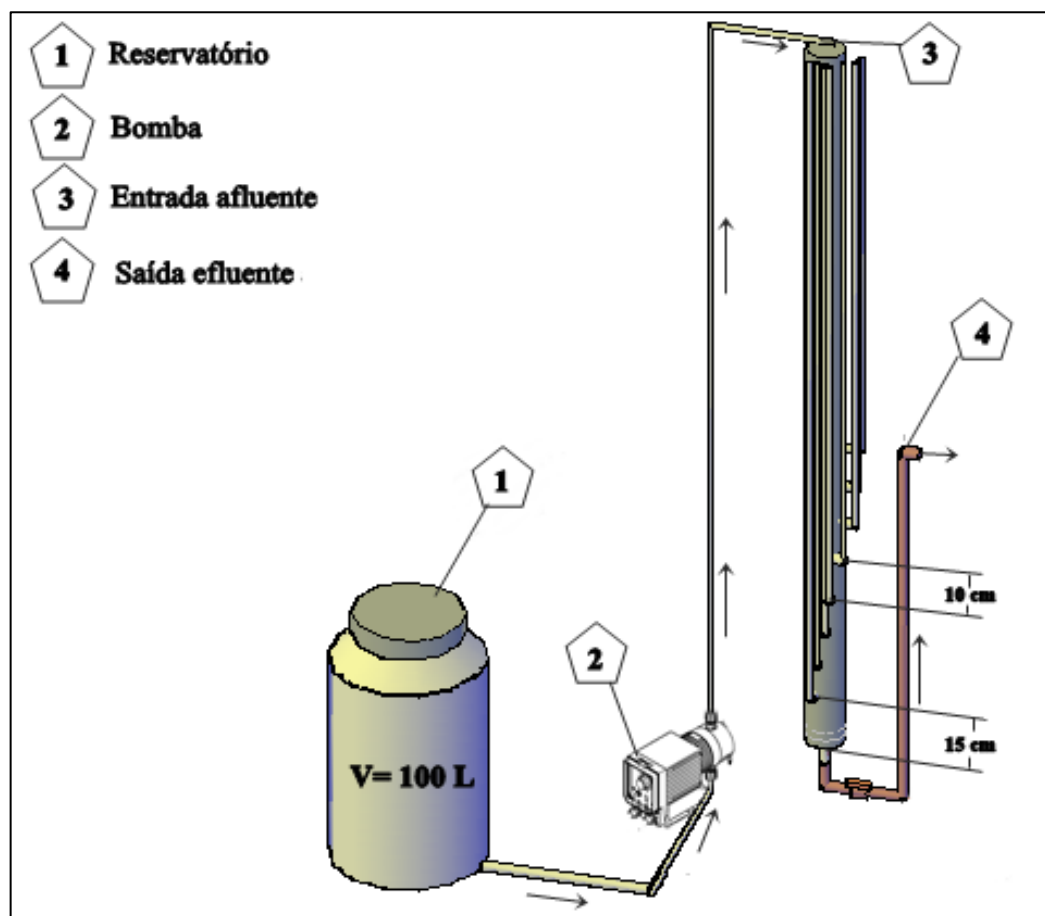
O filtro lento de areia (Figura 5) foi construído com tubo de PVC de 100 mm de diâmetro. As dimensões do filtro estão apresentadas na Tabela 4. A areia utilizada para preenchimento do meio filtrante foi caracterizada e submetida a ensaios granulométricos, conforme os procedimentos da Norma NBR-7217 da ABNT (1987).

Foram utilizadas as peneiras disponíveis em laboratório, com diâmetro de abertura variando de 0,6 a 2,0 mm. Para controle da perda de carga no decorrer da carreira de filtração foram fixados piezômetros, constituídos de oito mangueiras transparentes do tipo cristal de distância de 10 cm entre elas.

**Tabela 4.** Dados de dimensionamento do Filtro lento de areia.

<b>Parâmetro</b>	<b>Filtro de Areia</b>
<b>Altura total (m)</b>	2,0
<b>Camada de Brita nº 1 (m)</b>	0,14
<b>Camada de Brita nº 0 (m)</b>	0,06
<b>Camada de Areia (m)</b>	1,0

**Figura 5.** Configuração do Filtro lento de areia.



Fonte: autor.

O cálculo da perda de carga foi realizado a partir de medições da carga hidráulica através dos piezômetros, conforme equação 1.

$$Perda\ de\ Carga = P2 - P1$$

Equação 1



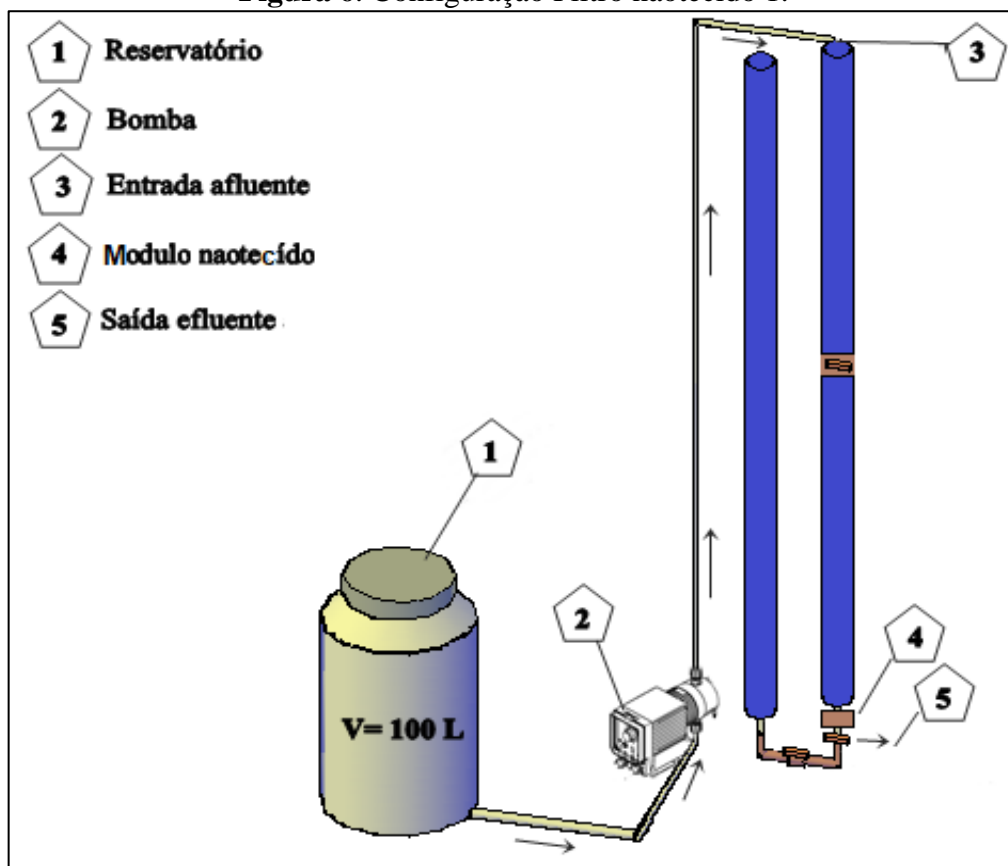
Onde, P1 = carga hidráulica apresentada pelo primeiro piezômetro; P2= carga hidráulica apresentada pelo último piezômetro.

Para o controle da vazão afluyente ao filtro foi utilizada uma bomba dosadora magnética da marca ProMinent. Nos dois ensaios iniciais o sistema foi alimentado com 15,7 L.dia<sup>-1</sup> de esgoto pré-tratado, essa vazão de alimentação foi calculada para que a taxa de filtração fosse constante de 2 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. No terceiro ensaio foi realizado um aumento na taxa de filtração para 3 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>, dessa maneira sendo alimentado com uma vazão de 23,55 L.dia<sup>-1</sup>. No quinto ensaio foi realizado um aumento na taxa de filtração para 4 m<sup>3</sup>.m<sup>-2</sup>. dia<sup>-1</sup>, dessa maneira sendo alimentado com uma vazão de 31,4 L.dia<sup>-1</sup>.

#### 4.4.2. Filtro Não Tecido 1 (FNT 1)

O filtro com material não-tecido 1 ilustrado na Figura 6 foi construído de tubo de PVC de 50 mm de diâmetro, com altura total de 2,5 m, preenchidos com material não-tecido sintético.

Figura 6. Configuração Filtro não-tecido 1.



Fonte: autor.

Os dois primeiros ensaios diferiram na quantidade de camadas utilizadas desse material, o primeiro possuiu uma camada de meio filtrante, sendo apoiado por uma tela de aço e o segundo duas camadas de meio filtrante sobrepostas.

Para o controle da vazão afluyente ao filtro foi utilizada bomba dosadora magnética da marca ProMinent. Nos dois ensaios iniciais o sistema foi alimentado com 8,0 L de esgoto pré-tratado, a taxa de filtração usada foi de  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ , visto que se aplicada a mesma taxa do filtro lento de areia o volume de efluente tratado seria muito baixo.

O material não-tecido foi caracterizado segundo manual da ABINT, assim como também foram realizadas micrografias MEV, para caracterizar o material quanto a morfologia, assim como obter a espessura das fibras que originam o material.

No sistema de Filtro não-tecido 1, foram instalados módulos transdutores de pressão. Quando alimentado, apresentavam uma tensão elétrica variável e através deste sinal de tensão elétrica ocorria a leitura da pressão a cada cinco minutos através de uma placa de Arduino conectada ao software SisMonBio, desenvolvido por Albuquerque (2017).

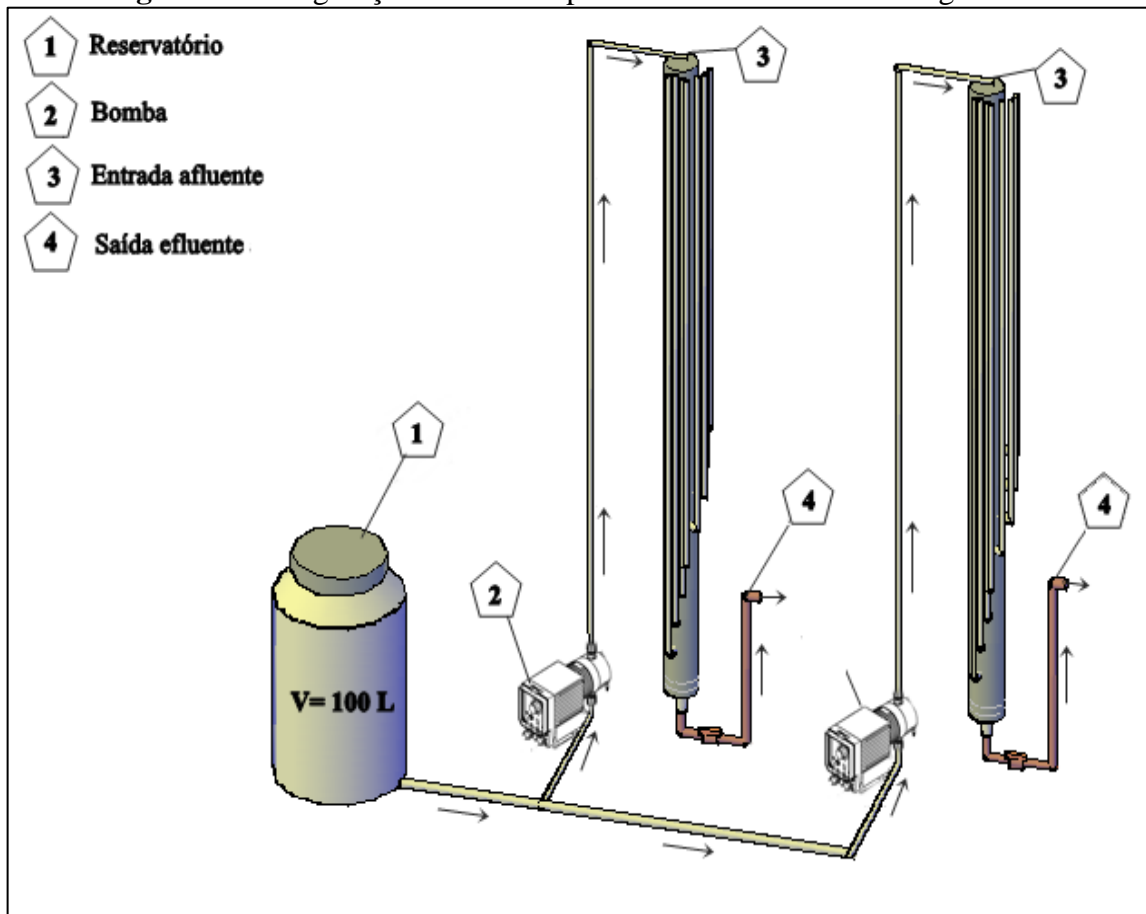
#### **4.4.3. Filtro Não Tecido 2 e 3 (FNT 2 e FNT 3)**

Para o terceiro ensaio realizou-se a montagem de um novo filtro construído com tubo de PVC de 100 mm de diâmetro, ilustrado na Figura 7.

O Preenchimento do filtro foi realizado com discos de material não-tecido agulhado, compreendendo uma espessura de 20 cm para o filtro não-tecido 2 e uma espessura de 30 cm para o filtro não-tecido 3. Para o controle da vazão afluyente ao filtro também foram utilizadas bomba dosadora magnética, ocorrendo uma alimentação de  $23,55 \text{ L} \cdot \text{dia}^{-1}$  e  $31,4 \text{ L} \cdot \text{dia}^{-1}$ , obtendo uma taxa de filtração de 3 e  $4 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{dia}^{-1}$ , respectivamente. O controle da perda de carga foi realizado através das leituras dos piezômetros.

O material não-tecido foi caracterizado segundo manual da ABINT, assim como também foram realizadas micrografias MEV, para caracterizar o material quanto a morfologia, assim como obter a espessura das fibras que originam o material.

**Figura 7.** Configuração dos Filtros preenchidos com não tecido agulhado.



Fonte: autor.

#### 4.5. Retrolavagem

Quanto a limpeza dos filtros, a primeira foi baseada na carga hidráulica apresentada no filtro e verificada por meios dos piezômetros, as seguintes limpezas foram baseadas no tempo de operação dos filtros. Essa limpeza foi realizada através de uma retrolavagem, por meio de impulsão de água no sentido inverso ao fluxo de filtração com a finalidade de remover o material (biofilme) que se adere a camada superior de areia.

Para a realização da retrolavagem do Filtro Não tecido 1, foi utilizado o reservatório de mesmas dimensões do filtro. Ao exercer a abertura da válvula (ilustrada na imagem 6) a água foi impulsionada no sentido inverso ao fluxo de filtração com a finalidade de também remover o material torta aderido ao não tecido, como exposto na Figura 8.

**Figura 8.** Biofilme aderido ao material não tecido.



Fonte: autor.

No filtro lento de areia, além da remoção do material aderido na camada superior do meio filtrante, também ocorreu remoção de areia que foi recolhida e submetida a lavagens e secagem ao sol, para em seguida ser devolvida ao filtro e dar início as carreiras de filtrações seguintes.

#### **4.6. Monitoramento da qualidade do afluente e efluentes**

Para caracterização do afluente aos sistemas e do efluente tratado, foram realizadas análises físico-químicas, sendo os parâmetros turbidez, frações de sólidos, pH, alcalinidade, AGV (Ácidos graxos voláteis), amônia, fósforo e DQO (demanda química de oxigênio). Em relação as análises microbiológicas, foram realizadas as determinações de Ovos de helmintos, Coliformes Totais e *Escherichia Coli*. As metodologias utilizadas estão ilustradas no Tabela 5.

**Tabela 5.** Metodologia das análises realizadas.

<b>Parâmetro</b>	<b>Metodologia/Referência</b>	<b>Frequência</b>
AGV	Kapp (1984)	
Alcalinidade	Titulação potenciométrica, 2320 B/APHA (2012)	Semanal
pH	Eletrométrico APHA (2012)	
DQO	Refluxação fechada, 5520 C/APHA (2012)	
Frações de sólidos	Gravimétrico, 2540 G/ APHA (2012)	

Continuação Tabela 5.

Ovos de Helminthos	Bailenger modificado por Ayres e Mara		
	(1996)		
<i>Escherichia coli</i>	Colilert		Semanal
Coliformes totais	Colilert		
Turbidez	Nefolométrico		
Fósforo	Ácido ascórbico, 4500-P E/ APHA (2012)		Mensal
Amônia	Macro Kjeldahl		Mensal
MEV	-		Unitária

Para a determinação dos parâmetros Coliformes totais e *Escherichia coli* pelo método Colilert foram realizadas diluições das amostras para obter faixas de contaminantes dentro do limite permitido pelo teste por 100 mL de amostra. O reagente, quando metabolizado pelos coliformes totais, produz coloração amarela e, quando metabolizado pela *E. coli*, floresce ao ser irradiado por ultravioleta.

#### 4.7. Análise estatística

Para verificar se existiu diferenças significativas entre os ensaios realizados, assim como também entre os filtros, foi realizado o tratamento estatístico dados. Para isso, foi realizada a análise de variância (ANOVA) e o cálculo de comparação entre as médias pelo teste de Tukey por meio do software Assistat versão 7.7.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Duração dos ensaios

Na Tabela 6, estão apresentadas as durações dos ensaios realizados. Cada ensaio, refere-se a cada carreira de filtração que os filtros foram submetidos.

O primeiro ensaio realizado foi iniciado apenas com o filtro lento de areia tratando esgoto doméstico com a finalidade de verificar o desempenho do sistema quando alimentado com afluente sem tratamento prévio. Foi verificado bom desempenho do sistema e a partir daí foi dado início ao funcionamento do filtro lento preenchido com material não-tecido sintético para realização da comparação dos sistemas.

**Tabela 6.** Duração dos ensaios realizados.

<b>Ensaio</b>	<b>Filtro Lento de Areia (FLA)</b>	<b>Filtro Lento de não tecido (FNT)</b>
	<b>Duração em dias</b>	
<b>1º</b>	70	67
<b>2º</b>	52	17
<b>3º</b>	9	25
<b>4º</b>	23	23
<b>5º</b>	27	27
<b>6º</b>	40	40
<b>7º</b>	25	25

A finalização da primeira carreira de filtração e conseqüentemente do primeiro ensaio do FLA ocorreu quando a carga hidráulica verificada, a partir piezômetro, apresentava-se elevada podendo ocorrer o transbordo da água afluyente ao sistema. Para o FNT 1 a finalização ocorreu devido a verificação da desintegração do meio filtrante, pois a tela de sustentação do material foi rompida devido a força sofrida pela carga hidráulica exercida pela água. A finalização do ensaio foi caracterizada pela realização da retrolavagem dos filtros.

Para o segundo ensaio, devido à baixa eficiência verificada para o FNT 1 na remoção de todos os parâmetros avaliados, foi adicionada uma camada a mais do meio filtrante. Não sendo verificado melhor desempenho, foi proposto a utilização de outro material não tecido nos ensaios seguintes. A finalização do segundo ensaio, ocorreu da mesma maneira que ensaio anterior para ambos os filtros.

O ensaio 3, foi finalizado para que ambos filtros operassem em mesmo período, dando início a próxima carreira de filtração igualmente. Os ensaios 4, 5 e 7 foram finalizados de acordo com a determinação de duração superior a 20 e inferior a 30 dias.

No ensaio 5 foi dado início ao funcionamento do FNT 3 que possuía 30 cm de meio filtrante. Esse filtro foi proposto para verificar se uma maior espessura da camada do meio filtrante proporcionaria melhor desempenho e, conseqüentemente, maior eficiência quando

comparado com o FLA, uma vez que foi verificada eficiência semelhante no tratamento entre o FLA e FNT 2.

O ensaio 6 foi finalizado quando o FLA atingiu 1,7 metros de coluna de água.

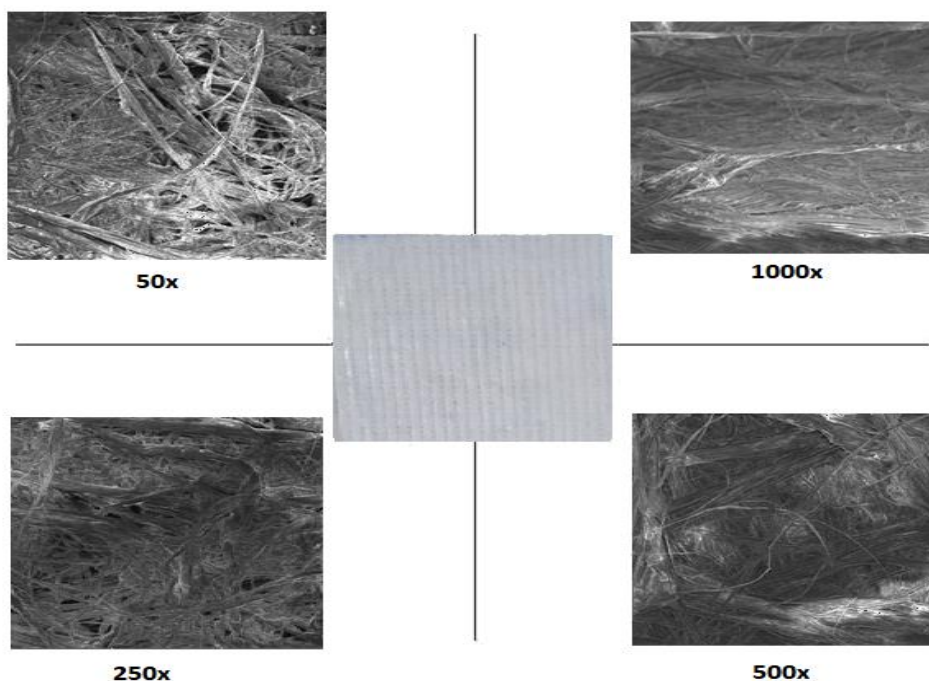
## 5.2. Caracterização dos Meios Filtrantes

A partir da caracterização da areia, foi obtida para os grãos o tamanho efetivo 0,6 mm, coeficiente de uniformidade de 2, diâmetro mínimo de 0,6 mm e diâmetro máximo de 1,2 mm.

O material não-tecido utilizado nos dois primeiros ensaios está apresentado na Figura 9. Caracteriza-se como material de polipropileno e as fibras que compõem esse material apresentam espessura média de 6  $\mu\text{m}$ . Não foi possível verificar a porosidade do material por micrografia, sendo necessária a realização de análise mais específica.

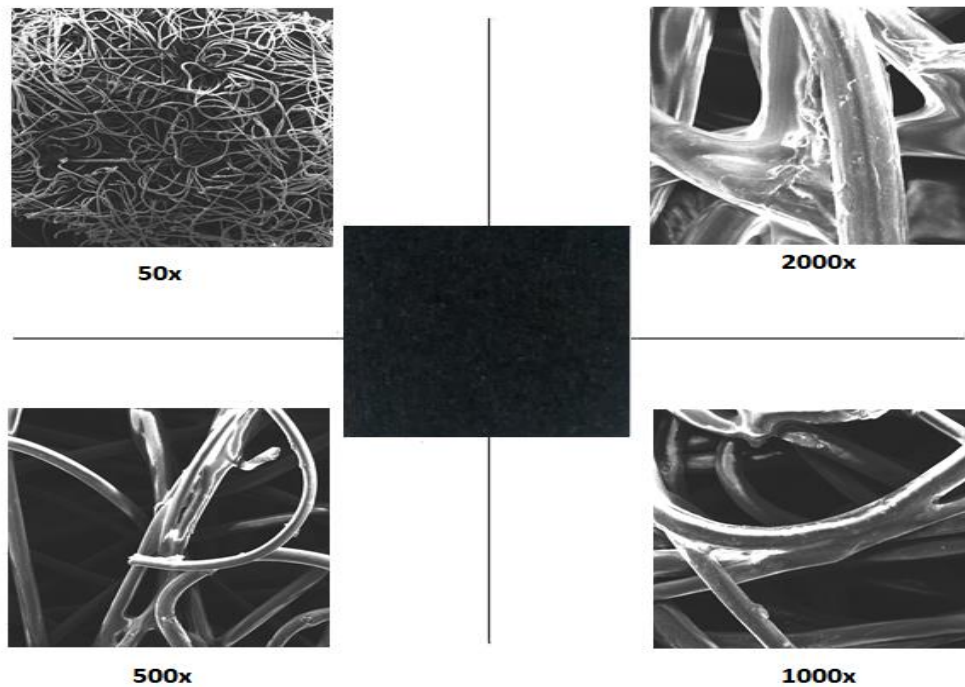
O material não-tecido utilizado como meio filtrante a partir do Ensaio 3 ao 7, está apresentado na figura 10. Caracteriza-se como algodão e as fibras que compõem esse material apresentam espessura média de 20  $\mu\text{m}$ . Não foi possível verificar a porosidade do material por micrografia, sendo necessária a realização de análise mais específica.

**Figura 9.** Micrografia MEV do material não-tecido utilizado como meio filtrante nos ensaios 1 e 2.



Fonte: autor

**Figura 10.** Micrografia MEV do material não-tecido utilizados como meios filtrantes nos ensaios 3 ao 7.



Fonte: autor.

### 5.3. Parâmetro Turbidez

Os dados obtidos para o parâmetro turbidez nos ensaios 1 e 2 estão apresentados na Figura 11. As partes superiores e inferiores do gráfico representam os valores máximos e mínimos, as extremidades inferior e superior da caixa são os percentis 25% e 75%, e a linha no interior da caixa representa a mediana (percentil 50%).

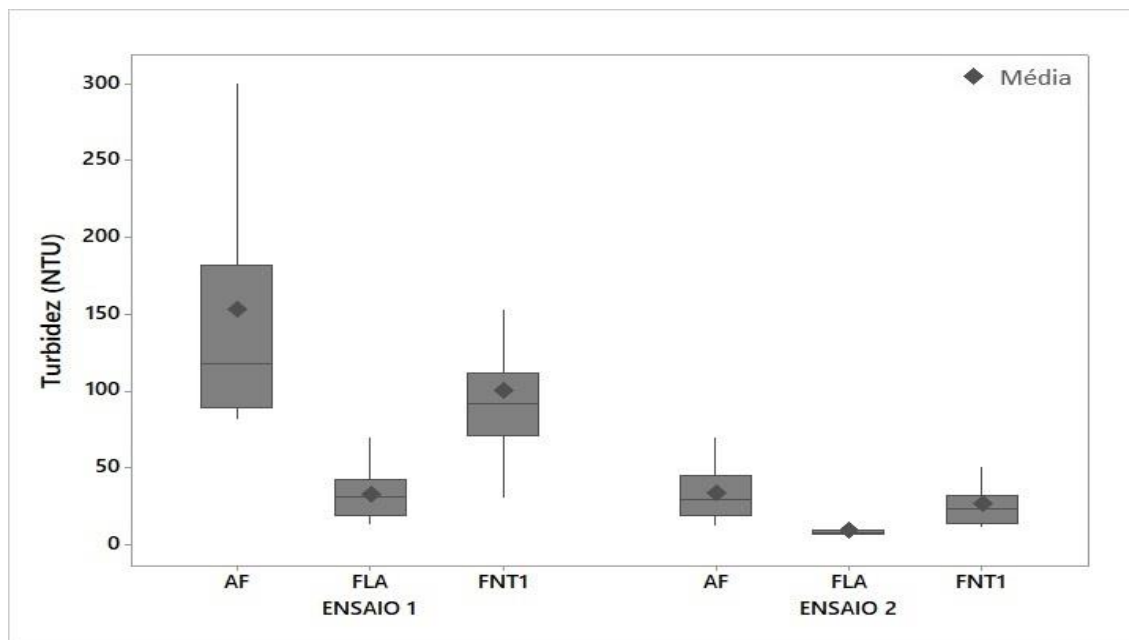
Os dois primeiros ensaios, utilizando esgoto doméstico decantado, apresentaram as maiores médias de turbidez, tanto para o afluente como para o efluente, com eficiências superiores a 70% para o filtro lento de areia (FLA) e 20% para o filtro lento não-tecido (FNT1). Os filtros preenchidos com material não-tecido sintético (ensaio 1 e 2), não apresentaram boa eficiência na remoção desse parâmetro. Foi verificado que a camada de sujeira acumulada na superfície do material, não apresentou compactação, ocorrendo o desprendimento deste e o recolhimento junto ao efluente, conferindo desta maneira maior turbidez.

A literatura define que a turbidez da água de alimentação de filtros é um fator chave para sua operação. Se essa for maior que 50 NTU, a água bruta deve passar por processos



antes de passar pelo filtro biológico (ABUDI, 2011). Esse fator explica os altos valores de turbidez apresentados nos sistemas, nos dois primeiros ensaios.

**Figura 11.** Dados da Turbidez obtidos nos ensaios 1 e 2.



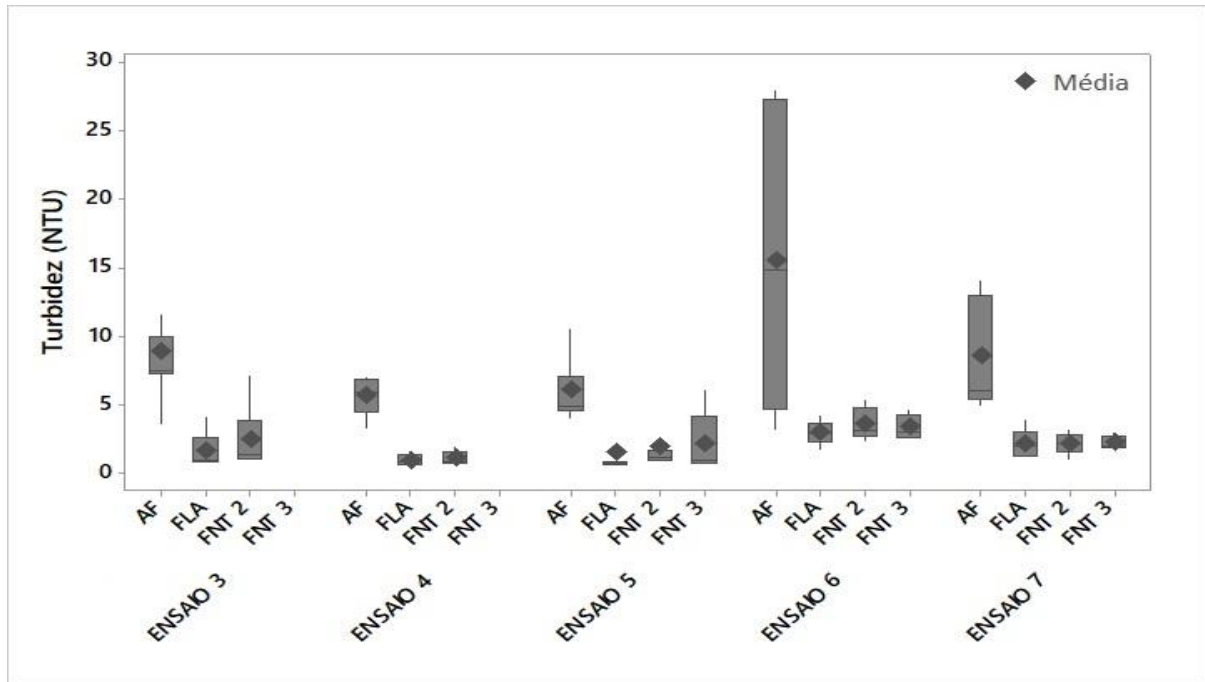
AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

Paralelamente, a partir do 3º ensaio (Figura 12), o parâmetro turbidez manteve-se em conformidade com a legislação. A NBR- 13.969/97, determina que a água para reúso de classe II deve apresentar turbidez inferior a 5 NTU.

As eficiências médias apresentadas pelos sistemas para remoção do parâmetro foram 80%, 32%, 83% e 74% para FLA, FNT 1, FNT 2 e FNT 3, respectivamente. No entanto, analisando-se a eficiência dos filtros individualmente, observa-se que o filtro lento de areia foi capaz de remover a turbidez de águas residuárias. Quando alimentado com afluente sem tratamento prévio, conseguiu realizar uma redução de 150 NTU para 30 NTU do parâmetro.

Quando os sistemas foram alimentados com afluente tratado previamente em sistema de lodo ativado, o valor da turbidez afluente de 20 NTU foi capaz de produzir efluente com turbidez inferior ou igual a 4 NTU, apresentando capacidade de realizar uma redução do material em suspensão, caracterizado por partículas de pequenas dimensões. Os filtros preenchidos com material nãotecido agulhado apresentaram capacidade de remoção do parâmetro analisado semelhante ao FLA.

**Figura 12.** Dados da Turbidez obtidos nos ensaios 3 a 7.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

A maior parte da remoção de partículas suspensas, diminuindo conseqüentemente a turbidez é atribuída a schmutzdecke, a formação de biofilme desempenha um papel fundamental no transporte de partículas suspensas e sua presença aumenta significativamente a deposição de partículas a um determinado fluxo, reduzindo assim as concentrações de partículas na água (ARNON et al., 2010). A partir do comportamento do efluente nos ensaios, foi possível detectar a formação da schmutzdecke e conseqüentemente melhor qualidade de efluente produzido nos sistemas.

Arantes et al. (2014) em estudo realizado com o emprego de filtro lento com meio filtrante geotêxtil sintético nãotecido empregado após processo de coagulação para o tratamento de água bruta apresentando turbidez de 101 a 110 NTU conseguiu produzir efluente com turbidez abaixo de 5 NTU, assim como o presente trabalho. Porém, o uso de coagulantes gera um resíduo a mais no processo, além de diminuir o tempo das carreiras de filtrações.

Os mesmos autores avaliaram a eficiência do filtro lento com meio filtrante geotêxtil sintético nãotecido no tratamento da água bruta sem o processo de coagulação. Apresentando turbidez afluente de 105 e 107 NTU, o filtro produziu efluente com turbidez de 103 e 101

NTU, corroborando com os dados encontrados na presente pesquisa de baixa eficiência na remoção da turbidez quando utilizado o material não-tecido de polipropileno, sendo esse sintético.

Paterniani et al. (2011) avaliando a eficiência de filtros lentos para tratar afluentes domésticos utilizando manta não-tecida no topo dos meios filtrantes, conseguiram produzir efluentes com turbidez média de 14,5 e 17,1 NTU utilizando como meio filtrante carvão e areia e apenas areia, respectivamente. Os autores utilizaram como pré-tratamento para o afluente aos filtros uma filtração em pedregulho, apresentando eficiências inferiores para a remoção de turbidez quando comparada com as obtidas na presente pesquisa.

Na tabela 7 abaixo estão apresentadas as interações entre os Filtros/Ensaio realizados para a turbidez.

**Tabela 7.** Estudo estatístico da turbidez nos ensaios.

AMOSTRA	TURBIDEZ (NTU)						
	ENSAIO						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>AF</b>	152,71 aA	33,53 aB	31,05 aA	5,65 aC	6,10 aC	15,51 aB	8,56 aC
<b>FLA</b>	32,51 cA	8,62 aA	1,66 bA	0,94 bA	1,54 bA	2,95 bA	2,13 bA
<b>FNT 1</b>	99,93 bA	25,92 aB	-	-	-	-	-
<b>FNT 2</b>	-	-	2,45 bA	1,11 bA	2,0 bA	3,56 bA	2,20 bA
<b>FNT 3</b>	-	-	-	-	2,12 bA	3,36 bA	2,24 bB

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si minúsculas (coluna)/maiúsculas (linhas). Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

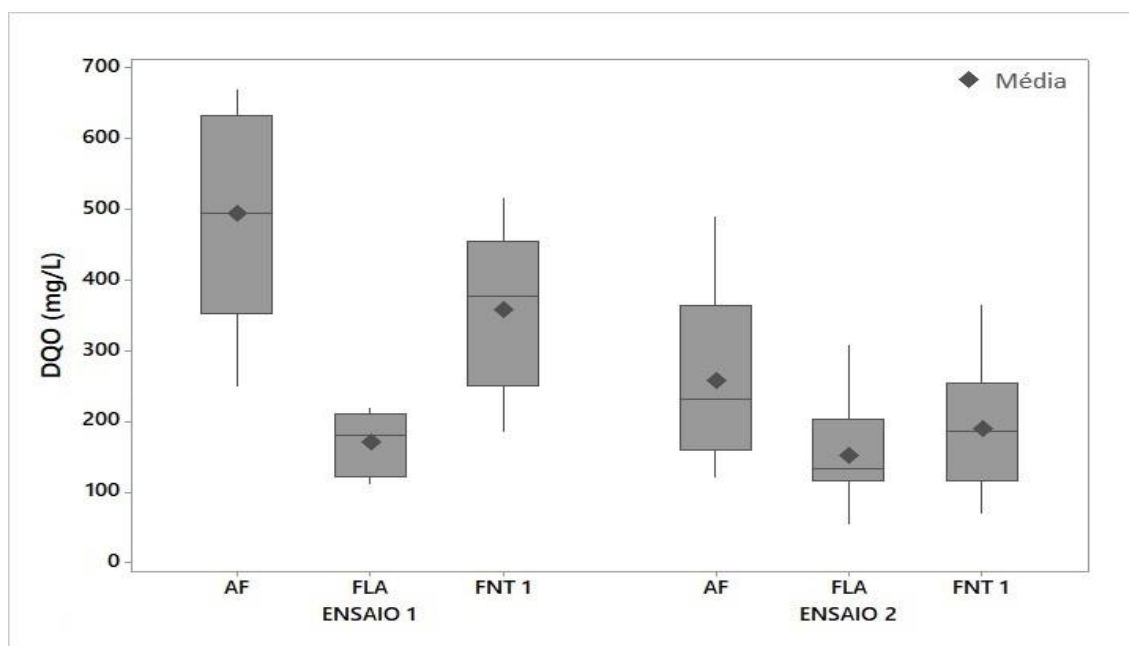
Foi verificada tanto diferença entre os ensaios 1 e 2 quanto, entre os tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade, apresentando um coeficiente de variação de 67%. Para a turbidez nos demais ensaios, não foi verificada diferença entre os tratamentos, ou seja, os

filtros conseguiram promover eficiências de remoções do parâmetro estatisticamente iguais, nos ensaios avaliados.

#### 5.4. Parâmetro Demanda Química de Oxigênio

Na Figura 13, estão apresentados os dados do parâmetro DQO, obtidos nos ensaios 1 e 2. Nos dois ensaios inicialmente realizados, o parâmetro DQO para o afluente manteve-se elevado uma vez que não foi realizado nenhum tratamento prévio aos filtros. Ainda assim, o FLA apresentou capacidade de remoção do parâmetro, sendo verificada médias afluente de 500 mg. L<sup>-1</sup> e 200 mg. L<sup>-1</sup> para o Ensaio 1 e 2 respectivamente e efluente inferior a 200 mg. L<sup>-1</sup>.

**Figura 13.** Dados da Demanda química de oxigênio obtidos nos ensaios 1 e 2.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

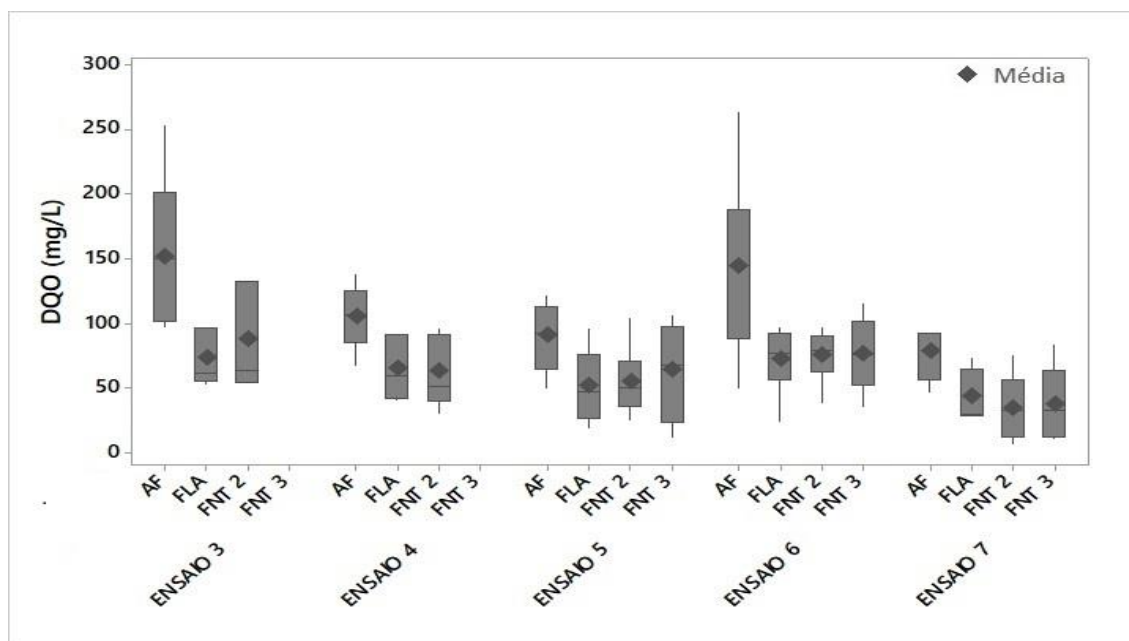
Foi verificada menor eficiência para remoção desse parâmetro no segundo ensaio, podendo essa queda de eficiência ser explicada pela alta carga afluente sofrida pelo filtro, caracterizada como fator limitante para o desempenho dos sistemas. O FNT 1 apresentou eficiência inferior a 30% de remoção deste parâmetro.

Os dados do parâmetro DQO, obtidos para o Ensaio 3 ao 7, estão apresentados na Figura 13. A partir dos dados obtidos nos ensaios apresentados, foi verificada eficiência semelhante para todos os filtros, para remoção da DQO. Os efluentes produzidos mantiveram-

se na média inferior a 100 mg. L<sup>-1</sup> de DQO. Nesses ensaios, o afluente utilizado para alimentar os sistemas, recebeu tratamento prévio em sistema de lodos ativados, o que garantiu uma melhor qualidade do afluente aos filtros e consequentemente a redução do parâmetro.

Uma das variações empregadas nos ensaios, refere-se a taxa de filtração aos filtros, neste quesito, o ensaio 5, caracteriza-se com maior taxa aplicada, de 4m<sup>3</sup>.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup>. Apesar dessa maior taxa aplicada, os sistemas apresentaram eficiência constante, caracterizando a capacidade dos filtros em realizarem o tratamento de uma maior quantidade de afluente, sem perder sua eficiência.

**Figura 14.** Dados da Demanda química de oxigênio obtidos nos ensaios 3 a 7.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

As eficiências médias apresentadas pelos sistemas foram 50%, 27%, 46% e 43% para FLA, FNT 1, FNT 2 e FNT 3, respectivamente.

Paterniani et al. (2011) conseguiram eficiências superiores a 33% para redução do parâmetro DQO utilizando filtro lento de areia, com topo de manta nãotecida produziram efluentes com 31,4 mg. L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>, a partir de afluentes com 53,9 mg. L<sup>-1</sup> de O<sub>2</sub>.

Segundo Cruz et al. (2013), filtros anaeróbios permitem uma remoção média de 15 a 65%, tanto de DBO quanto de DQO, corroborando com as eficiências produzidas na presente pesquisa. Tonon et al. (2015) em estudo realizando tratamento de águas residuária por filtro

anaeróbio e filtro de areia obtiveram resultados que mostram que os filtros de areia são muito eficazes na remoção de matéria orgânica, independentemente das taxas de aplicação utilizadas.

Na Tabela 8 está apresentado o estudo estatístico para DQO avaliada nos ensaios, verifica-se que nos dois ensaios iniciais ocorreu diferença entre os ensaios e tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade, apresentando um coeficiente de variação de 29,87%.

**Tabela 8.** Estudo estatístico da Demanda Química de Oxigênio nos ensaios.

AMOSTRA	DQO (mg. O <sub>2</sub> . L <sup>-1</sup> )						
	ENSAIO						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>AF</b>	493 aA	256 aB	151 aA	106 aB	91 aBC	145 aA	79 aC
<b>FLA</b>	168 cA	151 bA	73 bA	65 bA	52 bAB	72 bA	44 bB
<b>FNT 1</b>	357 bA	188 abB	-	-	-	-	-
<b>FNT 2</b>	-	-	88 bA	63 bB	55 bAB	76 bAB	34 bC
<b>FNT 3</b>	-	-	-	-	64 bA	77 bA	37 bB

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si minúsculas (coluna)/maiúsculas (linhas). Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

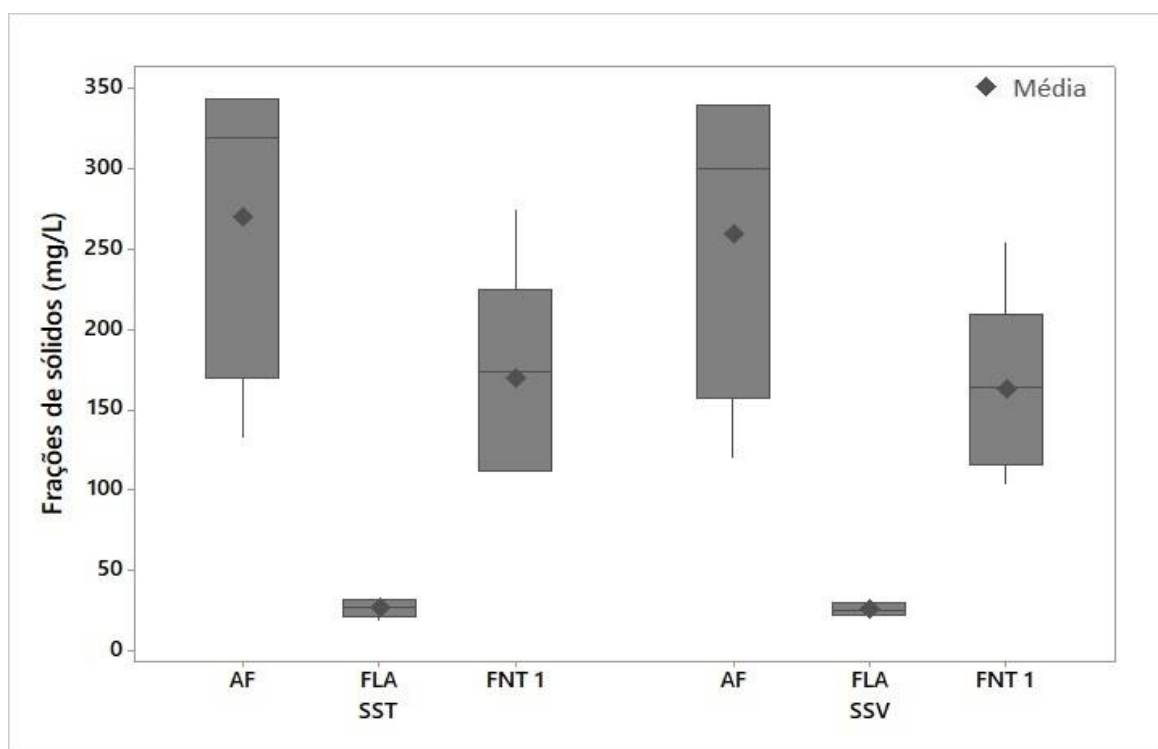
Para os ensaios 3 ao 7 a DQO, não apresentou diferença estatística entre os filtros durante um mesmo ensaio. Porém os ensaios 5 e 7 diferem estatisticamente entre os demais para o filtro lento de areia. E os ensaios 3 e 6 diferem estatisticamente para o FNT 2, essa diferença pode ser explicada pela maior DQO afluente aos filtros.

## 5.5. Parâmetro Frações de Sólidos

Na Figura 15, estão apresentados os dados dos Sólidos Suspensos Totais e Voláteis para o ensaio 1. Assim como para os parâmetros comentados anteriormente, as frações de sólidos apresentaram diferença entre afluentes pré-tratado ou não.

As frações de sólidos obtidas no ensaio 1, caracterizam o afluente de alimentação dos filtros como forte, baseado na classificação proposta por Pessoa e Jordão (2011). Apesar da alta carga afluente, o FLA manteve alta eficiência, conseguindo reduzir esse parâmetro e produzir um efluente com média inferior a 50 mg. L<sup>-1</sup> de SST e SSV. O mesmo não foi verificado para o material não-tecido utilizado como meio filtrante no FNT 1.

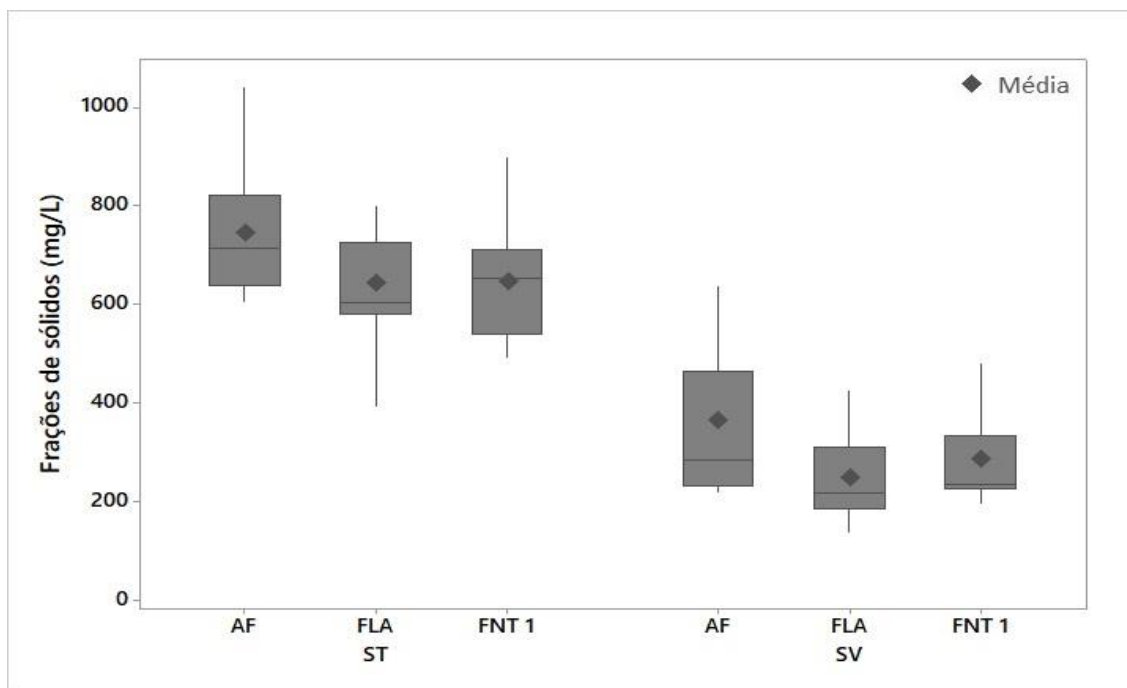
**Figura 15.** Dados dos Sólidos Suspensos Totais e Voláteis obtidos nos ensaios 1.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: não-tecido sintético; FNT 2: não-tecido agulhado (20cm); FNT 3: não-tecido agulhado (30cm).

Para o segundo ensaio, foram determinadas as frações de sólidos totais e voláteis, ilustrados na Figura 16. A alta carga afluente comprometeu a eficiência dos filtros, no segundo ensaio. Nesse, até mesmo o FLA, não conseguiu remover o parâmetro de forma eficiente.

**Figura 16.** Dados dos Sólidos Totais e Voláteis obtidos nos ensaios 2.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: não-tecido sintético; FNT 2: não-tecido agulhado (20cm); FNT 3: não-tecido agulhado (30cm).

Para os demais ensaios, foram determinadas as frações de SST e SSV, ilustrados nas Figuras 17 e 18, respectivamente.

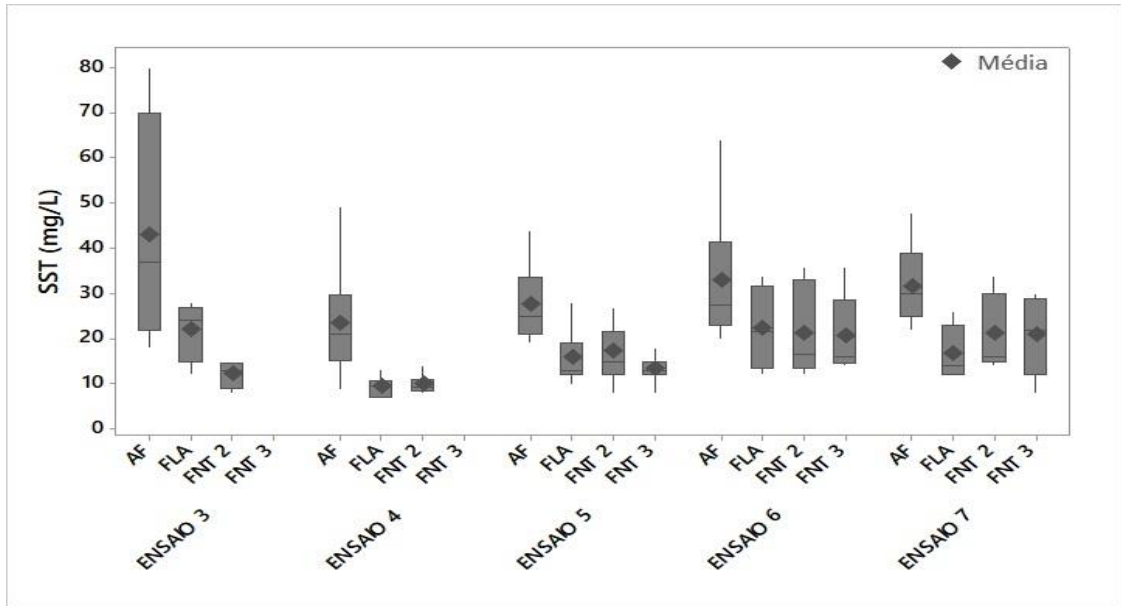
As maiores variações verificadas, referem-se ao afluente, uma vez que esse, foi pré-tratado em sistemas de lodo ativado, com aeração prolongada e apresentam sensibilidade a variações da aeração.

Analisando-se individualmente a eficiência dos sistemas, o FLA produziu efluente com média inferior a 30 mg. L<sup>-1</sup> a partir do ensaio 3, mantendo uma constância para este parâmetro até mesmo quando submetido a maior taxa de filtração.

O FNT 2 preenchido com 20cm de material não-tecido, manteve-se na média efluente variando de 30 a 10 mg SST. L<sup>-1</sup>, assim como o FNT 3, preenchido com 30 cm de mesmo material não-tecido. Com base nos dados, pode ser verificado que o FNT 2 se apresenta como uma alternativa aos demais filtros, uma vez que possui a menor camada de material filtrante e eficiência semelhante a areia, sistema já difundido, mas que requer maior controle de limpeza por exemplo.



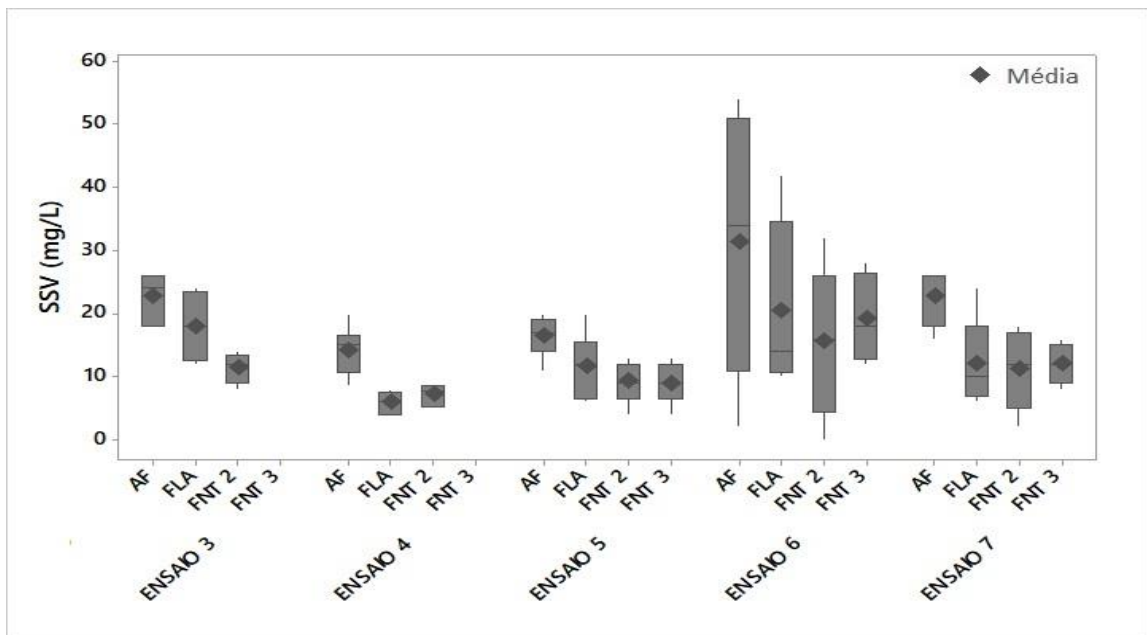
**Figura 17.** Dados dos Sólidos Suspensos Totais obtidos nos ensaios 3 a 7.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: não-tecido sintético; FNT 2: não-tecido agulhado (20cm); FNT 3: não-tecido agulhado (30cm).

As eficiências médias apresentadas pelos sistemas foram 44%, 46% e 41% para FLA, FNT 2 e FNT 3, respectivamente.

**Figura 18.** Dados dos Sólidos Suspensos voláteis obtidos nos ensaios 3 a 7.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: não-tecido sintético; FNT 2: não-tecido agulhado (20cm); FNT 3: não-tecido agulhado (30cm).

Airoldi et al. (2003), em investigação experimental realizada para a avaliar o desempenho dos meios filtrantes disco (130 mm) e manta sintética não-tecida na filtração da

água de açude, obtiveram como valor médio da concentração de sólidos suspensos na parcela com filtro de manta de 10,96 mg. L<sup>-1</sup>, e para a parcela com filtro de disco, para o mesmo parâmetro de 11,04 mg. L<sup>-1</sup>.

Paterniani et al. (2011) realizaram o tratamento de esgoto doméstico com baixa carga de sólidos em suspensão em relação a carga de sólidos apresentada pelo afluente da presente pesquisa, apresentando média de 13,4 mg. L<sup>-1</sup>. Os autores obtiveram concentração de sólidos suspensos inferiores para efluentes de filtro lento preenchido com areia e topo de manta não-tecida, apresentando média de 9,2 mg. L<sup>-1</sup>.

Na Tabela 9 está apresentado o estudo estatístico das frações de sólidos. Para ambas as frações de sólidos não ocorreu diferença significativa em remoções entre os filtros nos ensaios 4, 6 e 7, porém nos ensaios 3 e 5, foram verificadas diferenças.

**Tabela 9.** Estudo estatístico das Frações de Sólidos dos ensaios.

<b>SST (mg. L<sup>-1</sup>)</b>					
<b>AMOSTRA</b>	<b>ENSAIO</b>				
	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>AF</b>	43,00 aA	23,44 aC	27,55 aBC	32,83 aB	31,60 aBC
<b>FLA</b>	24,61 bA	9,42 bC	15,77 aBC	22,33 bAB	16,80 bABC
<b>FNT 2</b>	12,25 cA	9,88 bB	17,22 bAB	21,16 bA	21,20 bA
<b>FNT 3</b>			13,33	20,50	20,80

<b>SSV (mg. L<sup>-1</sup>)</b>					
<b>AMOSTRA</b>	<b>ENSAIO</b>				
	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>
<b>AF</b>	24,50 aB	14,36 aC	16,55 aC	33,24 aA	22,80 aB
<b>FLA</b>	19,30 bA	5,88 bC	11,55 abBC	20,50 bA	12,00 bB
<b>FNT 2</b>	11,50 cAB	7,21 bB	9,33 bB	17,33 bA	11,20 bB
<b>FNT 3</b>			9,0	19,16	12,00

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si minúsculas (coluna)/maiúsculas (linhas). Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

No ensaio 3 o filtro lento de areia apresentou menor eficiência de remoção do parâmetro quando comparado ao FNT 2, essa menor eficiência pode ser explicada pelo fato do sistema já ter realizado duas carreiras de filtrações anteriormente. Já o FNT 2 realizava sua

primeira carreira de filtração, sendo alimentado com afluente pré tratado em sistema de lodos ativados.

Para os ensaios 5 ao 7 não ocorreu interação para os sólidos suspensos totais e voláteis.

## 5.6. Parâmetro pH, AGV e Alcalinidade

Nos processos de tratamento biológico, as bactérias são os grupos predominantes da biomassa e, portanto, os de maior importância. Assim, faz-se necessário gerar condições adequadas para o desenvolvimento desses microrganismos, que serão parte fundamental do processo.

Na Tabela 10, estão expostos os dados de pH, obtidos durante os ensaios realizados no decorrer do estudo.

**Tabela 10.** Dados do pH obtidos nos ensaios realizados.

Amostra	pH						
	Ensaio						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>AF</b>	7,5	7,56	6,38	6,10	5,67	6,8	6,43
<b>FLA</b>	7,4	7,44	7,41	6,82	6,36	6,9	6,54
<b>FNT 1</b>	7,48	7,48	7,14	-	-	-	-
<b>FNT 2</b>	-	-	-	6,67	6,41	7	6,54
<b>FNT 3</b>	-	-	-	-	6,46	6,86	6,55

AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

A temperatura, o pH, a acidez e alcalinidade são parâmetros que podem ser controlados e/ou medidos por apresentarem-se como fatores que interferem diretamente na velocidade de crescimento dos microrganismos, ou seja, nos processos de tratamento.

A temperatura medida foi a do ambiente em que os sistemas estavam presentes, sendo verificada variação de 20 °C a 35 °C. De maneira geral, o pH das águas residuárias está próximo da neutralidade, porém é possível verificar um decréscimo deste parâmetro a partir do 4º ensaio.

Como já mencionado anteriormente, a partir do Ensaio 3, o afluente utilizado para alimentação dos sistemas, recebeu um pré-tratamento em sistema de lodos ativados com aeração prolongada, ocorrendo no mesmo, a nitrificação. Nesse processo, é comum ocorrer a queda do pH da água tratada uma vez que ocorrerá a liberação de prótons hidrogênio.

Na Tabela 11, estão apresentados os dados de ácido graxos voláteis, presentes no sistema, para os ensaios. Foi verificada uma queda na concentração de AGV, ao longo do decorrer dos ensaios.

Maiores concentrações de AGV encontrados nos sistemas biológicos, são referentes ao processo de digestão anaeróbia ineficiente ou inadequado, proveniente da decomposição biológica anaeróbia incompleta da matéria orgânica.

Os principais componentes da alcalinidade são os sais do ácido carbônico, ou seja, bicarbonatos e carbonatos, e os hidróxidos. Outros sais de ácidos fracos inorgânicos, como boratos, silicatos, fosfatos, ou de ácidos orgânicos, como sais de ácido húmico, ácido acético etc., também conferem alcalinidade às águas, mas seus efeitos normalmente são desconsiderados por serem pouco representativos (CETESB, 2018).

**Tabela 11.** Dados do AGV obtidos nos ensaios realizados.

Amostra	AGV (mg. HAc.L <sup>-1</sup> )						
	Ensaio						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>AF</b>	89	69,82±	84±	21,71±	11,55±	60,8±	2,7±0,9
		11,86	12,03	1,58	5,64	30,40	
<b>FLA</b>	59,92	69,97±	84,60±	24,44±	9,14±	38,2±	1,81±
		9,93	13,62	3,58	5,84	32,58	1,40
<b>FNT 1</b>	58,41	70,92±	84,60±	-	-	-	-
		6,11	12,27				
<b>FNT 2</b>	-	-	-	21,59±	11,06±	43,2±32,1	1,61±0,5
				17,85	5,04	4	
<b>FNT 3</b>	-	-	-	-	11,35±	33,1±	0,7±0,3
					3,1	30,67	

AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

Na Tabela 12, estão apresentados os dados do parâmetro alcalinidade, obtido nos ensaios. Assim como os parâmetros anteriores, a alcalinidade apresentou uma queda no decorrer dos ensaios realizados.

**Tabela 12.** Dados da Alcalinidade obtidos nos ensaios realizados.

Amostra	Alcalinidade (mg. CaCO <sub>3</sub> . L <sup>-1</sup> )						
	Ensaio						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>AF</b>	463,5	419,1±2 5,27	52,50 ±20,96	41,13±60, 69	7,95±1,9 8	74,9±34, 67	10,1±4,0 8
<b>FLA</b>	470,7 5	449,56± 50,91	65,67±23, 04	46,13±53, 21	18,5±4,5 3	46,4±31, 47	13,62±3, 26
<b>FNT 1</b>	452,5	407,66± 21,27	68,50±7,7 6	-	-	-	-
<b>FNT 2</b>	-	-	-	44,54±52, 88	21,71±3, 96	58,5±38, 94	11,88±4, 4
<b>FNT 3</b>	-	-	-	-	25,83±7, 01	47,1±34, 56	15,44±3, 9

AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

A diminuição da alcalinidade é explicada pelo processo de nitrificação ocorrido no reator de lodo ativado, aplicado como pré-tratamento do afluente aos filtros, pois no processo de nitrificação ocorre consumo de alcalinidade, ou seja, no decorrer dos ensaios o reator apresentou maior eficiência de nitrificação e consequente maior consumo de alcalinidade.

### 5.7. Parâmetro Amônia e Fósforo

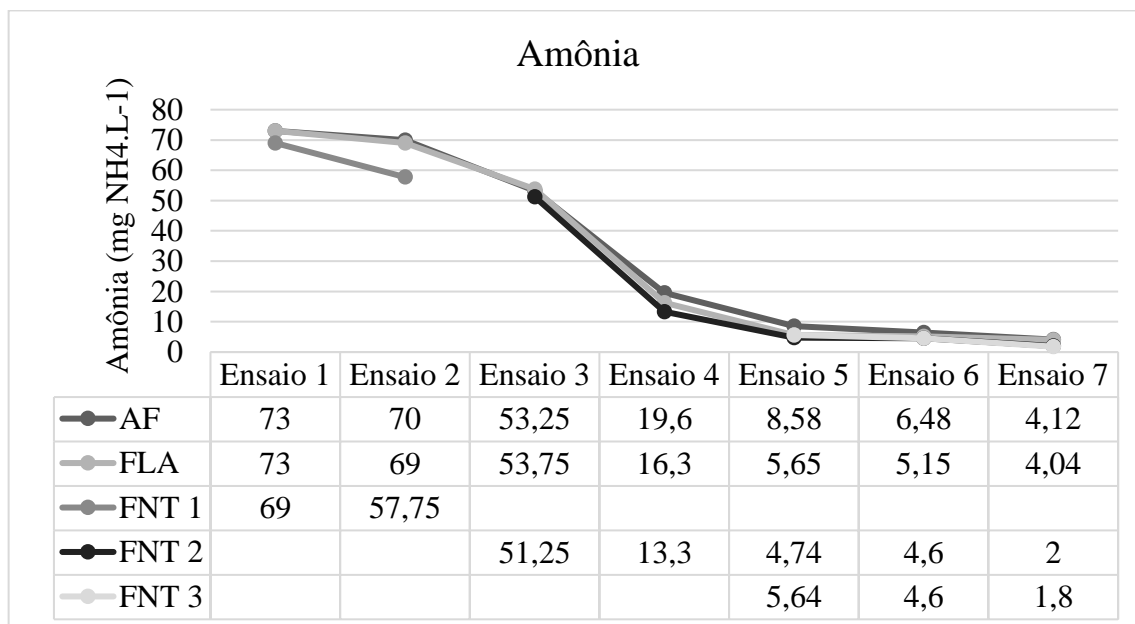
A remoção biológica dos compostos nitrogenados presentes nas águas residuárias são realizados baseando na promoção de um ambiente aeróbio, além de condições adequadas para o desenvolvimento das bactérias que realizam os processos de nitrificação e desnitrificação. Na Figura 19, estão os valores médios obtidos na determinação da concentração de amônia tanto no afluente quanto nos efluentes obtidos nos ensaios.

No primeiro e segundo ensaios, altas concentrações de amônia foram detectadas tanto no afluente, apresentando concentração média superior a 50 mg. N-NH<sub>4</sub>. L<sup>-1</sup>, como nos efluentes pós sistemas de filtração, não sendo verificada a oxidação desse composto.

A partir do ensaio 4, foi verificada a oxidação da amônia, chegando a concentrações médias inferiores a 10 mg. L<sup>-1</sup>. Essa diminuição da concentração de amônia no sistema é explicada pelo processo de nitrificação eficiente ocorrido no pré-tratamento de sistema de lodo ativado (van HAANDEL, A.C.; van DER LUBBE, 2012).

Tonon et al. (2015) realizou o tratamento de água residuária em filtro anaeróbio preenchido com casca de coco, seguido de filtro de areia com aeração. Os autores verificaram que os compostos nitrogenados encontrados no efluente dos filtros anaeróbios incluíam as frações de amônia e nitrogênio orgânico, porém os efluentes produzidos nos filtros de areia apresentavam a fração oxidada nitrato em maior parcela. No presente estudo utilizando filtro de areia anaeróbio também foi verificada a oxidação da amônia, em menor proporção, sendo necessário maior investigação do processo.

**Figura 19.** Valores médios da Amônia obtidos nos ensaios.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

Kang (2004) que explica que a presença de nitrato no efluente produzido pelo filtro lento de areia, pode ser atribuída à grande área média das partículas da areia, o que disponibiliza uma maior superfície de adesão para os microrganismos nitrificantes.

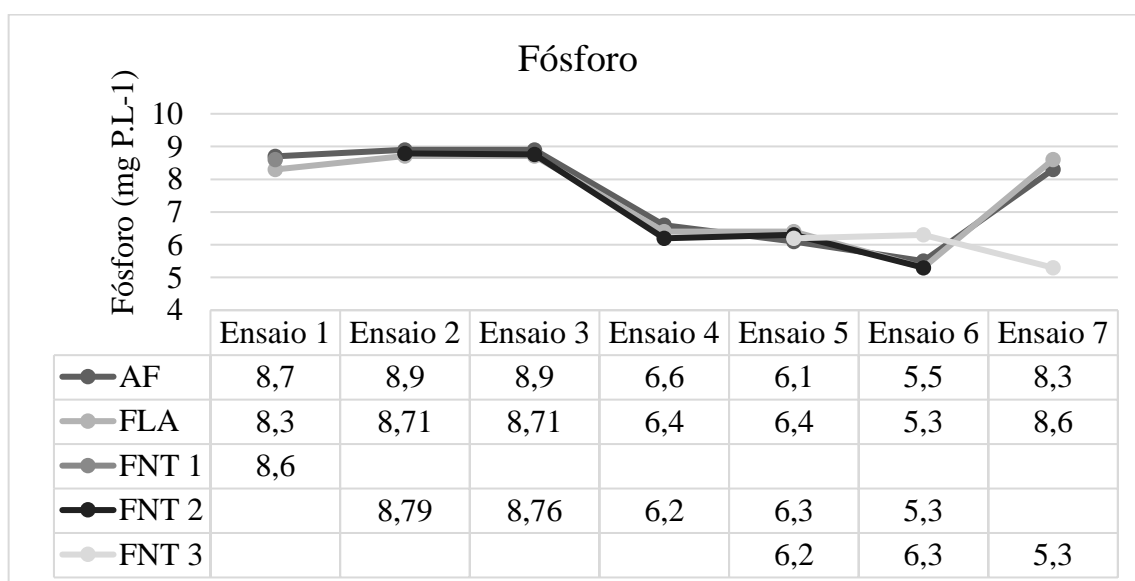
Assim como os compostos nitrogenados, as concentrações do fósforo também devem ser controladas nos sistemas de tratamento de águas residuárias. Formas usuais de fósforo são encontrados em soluções aquosas, incluindo o ortofosfato, polifosfatos e fosfato orgânico, os quais estão disponíveis para o metabolismo biológico sem degradação em forma mais simples (METCALF e EDDY, 2003).

Segundo Von Sperling (2005), o fósforo é o constituinte principal dos sólidos em suspensão e dissolvidos, tendo origem natural no solo, matéria orgânica e seres vivos e origem antropogênica em detergentes, fertilizantes e excrementos animais.

Quando excessivo em ambientes aquáticos, o fósforo tem sido considerado responsável por problemas causados pela eutrofização (NOVAIS; SMYTH, 1999).

Para que ocorra a remoção biológica de fósforo, seria necessário promover um ambiente adequado, baseada em promoção alternada de ambiente anaeróbio e aeróbio (van HAANDEL; van DER LUBBE, 2012).

**Figura 20.** Valores médios do Fósforo obtidos nos ensaios.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 1: nãotecido sintético; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

Por este motivo, não foram verificadas diferenças entre as concentrações desse parâmetro nos afluentes e efluentes. Além disso, vale ressaltar que o esgoto utilizado nos experimentos se caracteriza como doméstico, ou seja, o consumo e despejo dos constituintes que conferem maiores ou menores porções como por exemplo, matéria orgânica fecal e

detergentes em pó empregados no uso doméstico interferem diretamente na concentração desse composto na água residuária tratada.

Nos ensaios 4, 5 e 6 foram obtidas concentrações médias de fósforo variando entre 6 e 7 mg P. L<sup>-1</sup>, no ensaio 7 as concentrações médias do parâmetro para as amostras variaram entre 5 e 6 mg P. L<sup>-1</sup>. Segundo Pessoa e Jordão (2011) os esgotos sanitários no Brasil apresentam, tipicamente, concentração de fósforo total na faixa de 3 a 13 mg P. L<sup>-1</sup>.

Tonon et al. (2015) também não verificaram remoção de fósforo, no tratamento de águas residuárias em filtros lentos de areia assim como a presente pesquisa, uma vez que esse sistema não proporciona condições para isto.

## **5.8. Parâmetros Microbiológicos**

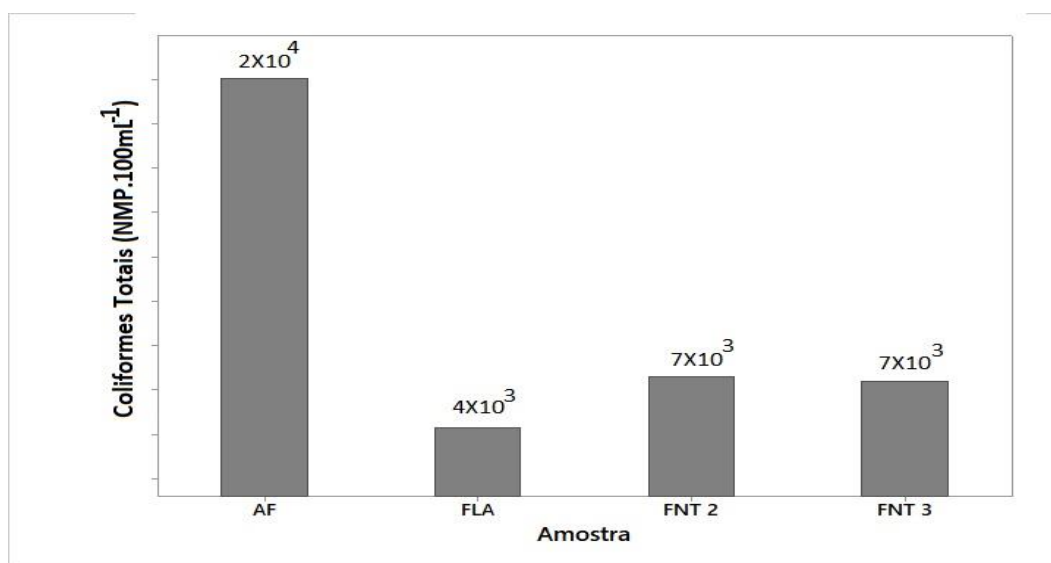
Segundo Metcalf e Eddy, (2015), os principais microrganismos encontrados em esgoto bruto incluem bactérias, fungos, protozoários, helmintos, algas, entre outros. Para indicar poluição fecal em um corpo d'água, e para medir a extensão dessa contaminação, analisa-se a presença de bactérias de origem fecal no mesmo, dentre eles, os organismos mais utilizados como indicadores são as bactérias do grupo coliforme, que se dividem em totais e termotolerantes (SOUZA et al., 2017)

O número de Coliformes Totais detectado pelo método para as amostras está apresentado na Figura 21. Foi possível verificar um decréscimo do número de coliformes nos efluentes após tratamento nos filtros, apresentando médias de  $4 \times 10^3$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> para FLA e  $7 \times 10^3$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> para os filtros FNT 2 e FNT 3.

Martins (2014) realizou estudo avaliando o potencial de reúso da água residuária da Estação de Tratamento de Esgotos do Campus do Pici da Universidade Federal do Ceará que tratava por processo aerado, seguido de sedimentação, pré-cloração e cloração quanto à evolução e caracterização de indicadores microbiológicos. Obteve como resultados  $2,48 \times 10^6$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> de coliformes totais no esgoto bruto e após a cloração foram registrados valores inferiores a 3 NMP.100 mL<sup>-1</sup>.



**Figura 21.** Dados de Coliformes Totais obtidos para as amostras.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

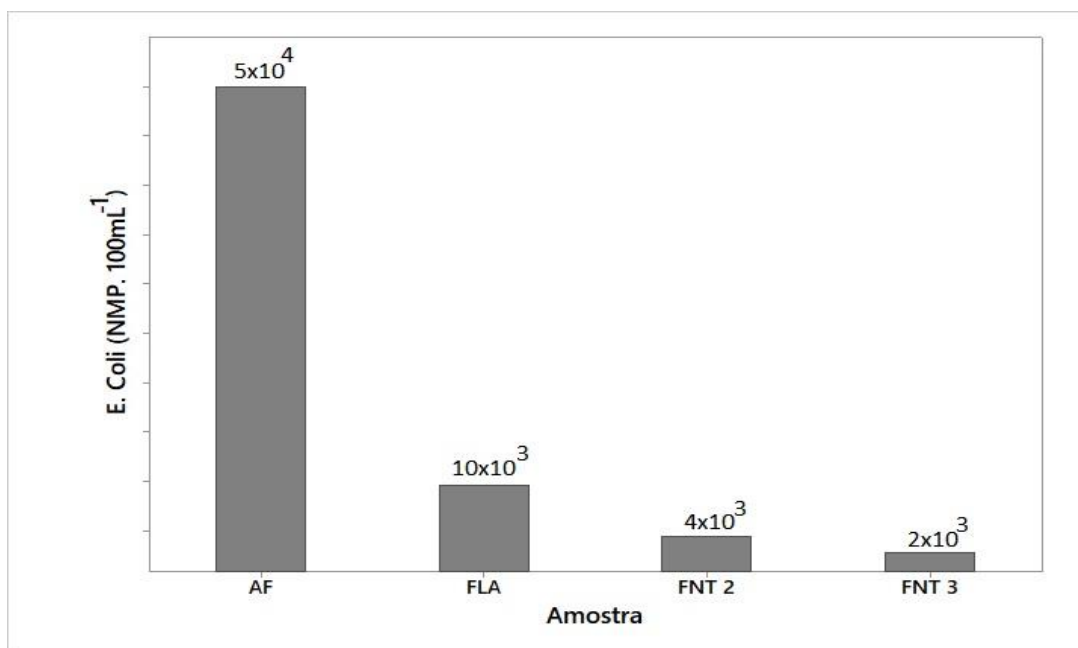
Melo (2014) em estudo realizando pós-tratamento de efluente de reator UASB por filtração em areia e carvão ativado, obtiveram coliformes totais oscilando entre  $10^5$  e  $10^4$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> nos efluentes filtrados, corroborando com os dados obtidos no presente estudo.

Quanto a remoção em unidades logarítmicas, foram obtidas remoções de 1,22 para o FLA, 0,7 para o FNT 2 e 0,74 para o FNT 3, desta maneira sendo verificadas remoções de até 90% do parâmetro Coliformes Totais nos efluentes pós filtração.

Quanto a *Escherichia coli* (Figura 22) a concentração manteve-se entre  $10^4$ - $10^3$  NMP.100 mL<sup>-1</sup> de amostra, também sendo verificada menor número nos efluentes após filtração. Foram verificadas remoção em unidades logarítmicas de 1,40 para o FLA, 1,11 para o FNT 2 e 1,28 para o FNT 3, desta maneira foram obtidas remoções de até 90% do parâmetro nos efluentes pós filtração.

Os resultados corroboram com Santos et al. (2019), que define as remoções logarítmicas típicas de microrganismos patogênicos e microrganismos indicadores segundo o processo de tratamento empregado no esgoto. Os autores citam que os processos de filtração conseguem remover de 0 a 1 unidades logarítmicas do parâmetro *E. coli*, garantindo uma remoção de 90%.

**Figura 22.**Dados de *Escherichia coli* obtidos para as amostras.



AF: Afluente; FLA: areia; FNT 2: nãotecido agulhado (20cm); FNT 3: nãotecido agulhado (30cm).

Paterniani et al. (2011) utilizaram afluente em sistema de filtração com presença de coliformes totais e *E. coli* com valores médios na ordem de 10<sup>6</sup> e de 10<sup>5</sup> NMP.100 mL<sup>-1</sup>, respectivamente. Dessa forma, conseguiram produzir efluente com valor médio de *E.coli* em torno de 9,13 x 10<sup>4</sup> NMP.100 mL<sup>-1</sup> para filtro lento com carvão e areia, valores médios inferiores foram obtidos na presente pesquisa

A Organização Mundial de Saúde (1989) recomenda que águas residuárias com essas faixas de valores de coliformes são enquadradas na categoria B, sendo indicadas para a fertirrigação de cereais, plantas têxteis, forragens, pastagens e árvores.

Pessoa e Jordão (2011) caracterizam o esgoto doméstico a concentração de coliformes totais e *Escherichia Coli* de 10<sup>6</sup> a 10<sup>9</sup> mg. L<sup>-1</sup>, respectivamente, mostrando uma redução de 4 casas decimais para esses parâmetros na presente pesquisa.

Apesar do decaimento dos parâmetros microbiológicos avaliados, faz-se necessário o emprego de processo de desinfecção, para que os parâmetros microbiológicos requeridos pela legislação vigente para água de reúso, seja atendida.

Os principais nematóides de interesse sanitário compreendem os parasitos que não necessitam de hospedeiro intermediário (Feachem et al., 1983), tendo como representantes dessa categoria as espécies *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura* e ancilostomídeos

(*Necator americanus* e *Ancylostoma duodenale*). Além desses, são também considerados helmintos de interesse sanitário os parasitos que necessitam de hospedeiro intermediário (suínos e bovinos), sendo os representantes desta categoria as espécies *Taenia solium* e *Taenia saginata*, e os que necessitam de um hospedeiro intermediário aquático (moluscos), tendo como representante o gênero *Schistosoma*.

Para a determinação de Ovos de helmintos, não foi verificada a presença desse parâmetro nos efluentes dos filtros, corroborando com a literatura. Santos et al. (2019) comentam reduções de 0 a 4 unidades logarítmicas em efluentes pós filtração terciária, garantindo remoções superiores a 99,9% do parâmetro.

Melo (2014) obtiveram resultados bastante significativos para a remoção de ovos de helmintos para efluente de reator UASB pós-tratado por filtração em areia e carvão ativado. O autor comenta que a filtração se apresenta como uma vantagem como tratamento terciário, pois não verificou nenhuma ocorrência de ovos de helmintos após essa etapa de tratamento assim como a presente pesquisa.

O número médio de ovos de helmintos por litro presente no esgoto bruto, segundo Von Sperling (2005) varia entre  $10^{10}$  e  $10^3$  Ovos. L<sup>-1</sup>, sendo verificada a remoção total do parâmetro na presente pesquisa.

## 6. CONCLUSÃO

O filtro lento de areia quando alimentado com esgoto doméstico decantado foi capaz de produzir efluente com reduções superiores a 90% para turbidez, DQO e frações de sólidos. Quando alimentado com afluente pré-tratado em sistema de lodos ativados, conseguiu atingir turbidez inferior ao estabelecido pela legislação para água de reúso de classe II.

O material não-tecido sintético como meio filtrante, não apresentou eficiência para o tratamento de esgoto doméstico decantado em filtros lentos.

O material não-tecido agulhado além de apresentar eficiência para o tratamento de esgoto doméstico como meio filtrante em filtros lentos, conseguiu produzir efluentes de qualidade semelhante ao filtro lento de areia. Quando comparado em termos dos parâmetros operacionais, apresentou maior desempenho e facilidade de operação, uma vez que, quando realizada a retrolavagem o filtro já está pronto para iniciar carreiras de filtrações seguintes, enquanto o filtro lento de areia necessita da lavagem e secagem da areia.

Quanto ao amadurecimento, o filtro lento de areia apresenta necessidade de maior tempo para a ocorrência desse fenômeno em relação aos filtros não-tecido 2 e 3. Essa conclusão baseia-se nas eficiências verificadas nos ensaios, pois no primeiro ensaio realizado com o FLA, o mesmo necessitou de um período de 30 dias para produzir efluente de qualidade, enquanto os filtros FNT 2 e FNT 3 não necessitaram desse período, sendo verificado a produção de efluente equivalentes ao FLA no primeiro dia de operação.

Quanto a taxa de filtração, a partir da análise estatística foi verificado que os filtros podem ser submetidos a maiores taxas sem comprometer a eficiência. Quanto aos parâmetros microbiológicos Coliformes Totais e *E. coli*, faz-se necessário o emprego da desinfecção para que o efluente produzido no estudo atenda as normas da legislação de água para reúso de Classe II.

## 7. REFERÊNCIAS

- ABUDI, Z. N. The effect of sand filter characteristics on removal efficiency of organic matter from grey water. **Al-Qadisiya Journal for Engineering Sciences**, 4(2), 143-155, 2011.
- AIROLDI, R. P. S.; PATERNIANI, J. E. S.; RIBEIRO, T. A. P.; SILVA, M. J. M. Comparação entre elementos filtrantes de manta sintética não tecida e de discos no tratamento de água para irrigação. **Irriga**, v. 8, n. 3, set-dez, 2003.
- ALBUQUERQUE, T. L. Q. de. **Automação de biorreator de membrana utilizando a plataforma Arduino**. 2017. 57p. Dissertação. (programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental – PPGCTA) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2017.
- AMIRTHARAJAH, A. Some theoretical and conceptual views of filtration. **Journal of American Water Works Association**, v. 60, n. 12, 36 – 46, 1988.
- APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22nd ed. Washington: American Public Health Association; 2012.
- ARANTES, C.C.; RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J.E.S.; TATEOKA, M. S.S.; SILVA, G. K. E. Uso de coagulantes naturais à base de *Moringa oleifera* e tanino como auxiliares da filtração em geotêxtil sintético não tecido. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.34, n.4, p.780-788, jul./ago. 2014.
- ARNON, S., MARX, L. P., SEARCY, K. E., & PACKMAN, A. I. Effects of overlying velocity, particle size, and biofilm growth on stream–subsurface exchange of particles. **Hydrological processes**, 24(1), 108-114, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE NÃOTECIDOS E TECIDOS TÉCNICOS - **ABINT**. Disponível em: [www.abint.org.br](http://www.abint.org.br). Acessado em: janeiro/2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - **ABNT**. **NBR 13370**: nãotecidos – Terminologia. 2002.
- AYRES, R. M.; MARA, D. D. **Analysis of wastewater for use in agriculture. A laboratory manual of parasitological and bacteriological techniques**. WHO, Geneva, 1996.
- BAGUNDOL, T.B, AWA, A.L., ENGUITO, M.R.C. Efficiency of Slow Sand Filter in

Purifying Well Water. **J Multidisciplinary Studies**, v. 2, n.1, dez, 2013.

BAILINGER, J. Mechanisms of parasitological concentration in coprology and their practical consequences. **Journal of American Medical Technology**, 41; p. 65-7, 1979.

BARUTH, E. E. Water Treatment Plant Design (4th ed.), McGraw-Hill, New York (2005) In: **American Water Works Association and American Society of Civil Engineers**, 2005.

BASTOS, R. K. X.; MARA, D. D. **Avaliação dos critérios e padrões de qualidade microbiológica de esgotos sanitários tendo em vista sua utilização na agricultura**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 17, 1993, Natal. Anais... Natal: UFRN, 1993.

BIXIO, D., THOEYE, C., KONING, J., JOKSIMOVIC, S., SAVIC, D., WINTGENS, T., MELIN, T., Wastewater reuse in Europe. **Desalination** 187, 89–101, 2006.

BRASIL, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno / Agência Nacional de Águas**. Brasília: ANA, 2017.

\_\_\_\_\_. Resolução Conselho Nacional de Recursos Hídricos nº 54, de 28 de novembro de 2005 - Estabelece critérios gerais para reúso de água potável. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direito não potável de água, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília – DF, março de 2006.

\_\_\_\_\_. ABNT. **NBR 13.969** - Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro. 1997.

\_\_\_\_\_. ABNT. **NBR 7217**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. 1987.

CETESB, **Fundamentos do Controle de Poluição das Águas**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/posgraduacao/wp-content/uploads/sites/33/2018/11/Apostila-Fundamentos-do-Controle-de-Polui%C3%A7%C3%A3o-das-%C3%81guas-T3.pdf>>. Acesso em: 02 de dezembro de 2019.

CHANG W. K.; HU, A. Y. J.; HORNG, R. Y.; TZOU, W. Y. Membrane bioreactor with nonwoven fabrics as solid-liquid separation media for wastewater treatment. **Desalination** 202, 122-128, 2017.

CORDEIRO, D. C. O. G. **Estudo da Reutilização de uma água residual tratada na Rega Paisagística**. 2012. 108 f. Dissertação. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2012.

CORRAL, A. F; YENAL, U.; STRICKLE, R.; YAN, D.; HOLLER, E.; HIL, C.; ELA, W. P.; ARNOLD, R. G. Comparison of slow sand filtration and microfiltration as pretreatments for inland desalination via reverse osmosis. **Desalination**, v. 346, 79, 2014.

CRUZ, L.M.C., STEFANUTTI, R., CORAUCCI FILHO, B., TONETTI, A.L. Coconut shells as filling material for anaerobic filters. **SpringerPlus** 2, 655. 2013.

DALSASSO, R. L. **Estudo de diferentes materiais para floculação em meio granular, precedendo a filtração rápida descendente no tratamento de água para abastecimento**. [S.l.]: Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas**. Rio de Janeiro: ABES, p.114, 1999.

ELLIS, K. V. Slow sand filtration. In: **CRC Critical Reviews in Environmental Control**, 1985. Vol. 15.

FEACHEM, R. G., BRADLEY, D. J., GARELICK, H. & MARA, D. **Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and wastewater Management**. 1983.

GALVIS, G., FERNANDEZ M.J.E., VISSCHER, J.T. Comparative study of different pretreatment alternatives - **ROUGHING FILTERS WORKSHOP FOR WATER TREATMENT**, Zurich, Suíça, 1992.

GOMES, J. R. F. **Safe reuse of treated urban wastewater in Praia, Cape Verde: a case study**. 2014. 126f. Dissertação. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.

HESPANHOL, I. Filtração lenta. In: Azevedo Netto, J. M. (ed.) **Técnicas de abastecimento de água**, vol. 2. CETESB. São Paulo. 1987.

HUISMAN, L. **Slow sand filtration**. 2. ed. Delft: Delft University of technology, p. 105, 2004.

- HUISMAN, L.; WOOD, W. E. **Slow sand filtration**. Geneva: World Health Organization, p. 120, 1974.
- KANG, Y.W., 2004. **Biological treatment of turkey processing wastewater with sand filtration**. Ph.D. Thesis. The Ohio State University, USA.
- LI, J., ZHOU, Q., & CAMPOS, L. C. The application of GAC sandwich slow sand filtration to remove pharmaceutical and personal care products. **Science of The Total Environment**, 635, 1182–1190, 2018.
- LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ed. Campinas, SO: Editora Átomo, 2010. 489p.
- MARECOS DO MONTE, M. H., ALBUQUERQUE, A., (2010). **Reutilização de águas residuais** – Série GUIAS TÉCNICOS 14; 2006. 65–72.
- MARTINS, S. C.; MARTINS, C.M. Potencial de reúso da água residuária de uma estação de tratamento de esgoto: evolução e caracterização da população bacteriana. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.18; p. 3355, 2014.
- MELO, A. R. B. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB por filtração em areia e carvão ativado**. 2014. 70f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2014
- MENDRET, J.; AZAIS, A.; FAVIER, T.; BROSILLON, S. Urban wastewater reuse using a coupling between nanofiltration and ozonation: techno-economic assessment. **Chemical Engineering Research and Design**, 2019.
- METCALF, L.; EDDY, H. P. (2015). Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5ª ed., **McGraw Hill Brasil**, 2008 p.
- METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater engineering: Treatment and reuse**. 4 ed. New York:mc Graw Hill. 1819p. 2003.
- MORELLI, E. B. **Reúso de água na lavagem de veículos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-29072005-140604/>>. Acesso em: 18 de dezembro de 2019.
- MULLIGAN, C. N.; DAVARPANA, N.; FUKUE, M.; INOUE, T. Filtrant of



contaminated suspended solids for the treatment of surface water. **Chemosphere**, 74, 779-786, 2009.

NASCIMENTO, A.P., PELEGRINI, R. T., BRITO, N.N. Filtração lenta para o tratamento de águas para pequenas comunidades rurais. **Revista eletrônica de engenharia civil**, v.2, n.4, 54-58, 2012.

NG, M. C.; **Produção de água em ETA com alteração da carreira de filtração**. 2017. 64f. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal-RN, 2017.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV/DPS, 1999. 399p.

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M.; RIBEIRO, T. A. P.; BARBOSA, M. Pré-filtração em pedregulho e filtração lenta com areia, manta não tecida e carvão ativado para polimento de efluentes domésticos tratados em leitos cultivados. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.31, n.4, p.803-812, jul./ago. 2011.

PATERNIANI, J. E. S.; **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento**. 1991. 245p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos-SP, 1991.

PESSOA E JORDÃO. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6° ed. Associação Brasileira de Engenharia sanitária. ABES. Rio de Janeiro 2011.

POMPEI, C. M. E.; CIRIC, L.; CANALES, M.; KARU, K.; VIEIRA, E. M.; CAMPOS, L. C. Influence of PPCPs on the performance of intermittently operated slow sand filters for household water purification. **Science of the Total Environment**, 2016.

REN, X.; SHON, H. K.; JANG, N.; LEE, Y. G.; BAE, M.; LEE, J.; CHO, K.; KIM, I. S. Novel membrane bioreactor (MBR) coupled with a nonwoven fabric filter for household wastewater treatment. **Water Research**. n. 44, 751-760. 2010.

ROY, C.; AUGER, R.; CHÉNIER, R. Use of non-woven textile in intermittent filters. **Water Science and Technology**, v. 38, 159-166, 1998.

SANTOS, A. B.; CHERNICHARO, C. A. L.; LAPOLLI, F. R.; SPERLING, M. V.; KATO, M. T.; PIVELI, R. P.; RIBEIRO, T. B. **Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em**

**Empreendimentos Habitacionais.** Fortaleza: Imprece, 2019. 812p.

SCHIJVEN, J.F.; HAROLD, H. J. L. van den B.; COLIN, M.; DULLEMONT, Y.; WIM, A.M.H.; ALEXANDRA, M.K.; WIM, A.O.; WUBBELS, G. A mathematical model for removal of human pathogenic viruses and bacteria by slow sand filtration under variable operational conditions. **Water Research**, v.47, n.7, 2592-2602, mai. 2013.

SILVA, A. J. R.; BATISTA, B. D.; CAVALCANTI, C. G. B.; SILVA, I. M. F.; TAVARES, O. N.; MACHADO, P.B.; **Análise bacteriológica de águas residuais no Distrito Federal com a utilização do método do substrato enzimático.** In: ANAIS CONGRESSO ABES, FENASAN 2017.

SILVA, F. de A. S. e.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *Afr. J. Agric. Res*, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

SILVA, M.J.M.; PATERNIANI, J.E.S. Comparação entre cloração, radiação ultravioleta e radiação solar (Sodis), com fluxo contínuo na desinfecção de efluentes domésticos. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, Campinas, v.3, 117-126, 2008.

SOUZA, T. A.; PAIVA, M. V. C.; BARBOSA, S. M. S.; SOUZA, E. L.; RIBEIRO, B. **Avaliação da remoção de coliformes termotolerantes em 11(onze) estações de tratamento de esgoto, no município de Petrolina-PE, Brasil.** In: ANAIS CONGRESSO ABES, FENASAN 2017, 2017.

TONON, D., TONETTI, A. L., CORAUCCI FILHO, B., & BUENO, D. A. C. Wastewater treatment by anaerobic filter and sand filter: Hydraulic loading rates for removing organic matter, phosphorus, pathogens and nitrogen in tropical countries. **Ecological Engineering**, 82, 583–589. 2015.

VAN HAANDEL, A.C.; VAN DER LUBBE, J. (2012) **Handbook biological wastewater treatment: design and optimization of activate sludge systems.** London: IWA Publishing.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Vol 1. 3ª ed. Belo Horizonte - MG: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 452p. 2005.

WHO- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Health guidelines for use of wastewater in agriculture and aquaculture.** Geneva: WHO, 1989 (Technical Report Series, 778).

WWAP (World Water Assessment Programme), 2017. The United Nations World Water Development Report 2017. Wastewater: **The Untapped Resource**. UNESCO, Paris.

ZOPPAS, F. M., BERNARDES, A. M., & MENEGUZZI, Á. (2016). Parâmetros operacionais na remoção biológica de nitrogênio de águas por nitrificação e desnitrificação simultânea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 21(1), 29–42.

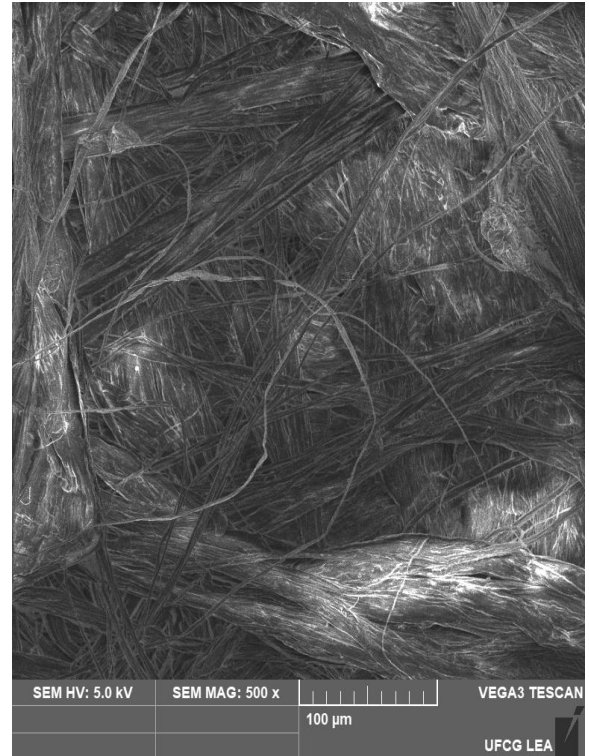
## APÊNDICE A - MICROGRAFIAS MEV

**Figura A1.** Micrografia MEV do material não-tecido agulhado usado nos filtros FNT 1.

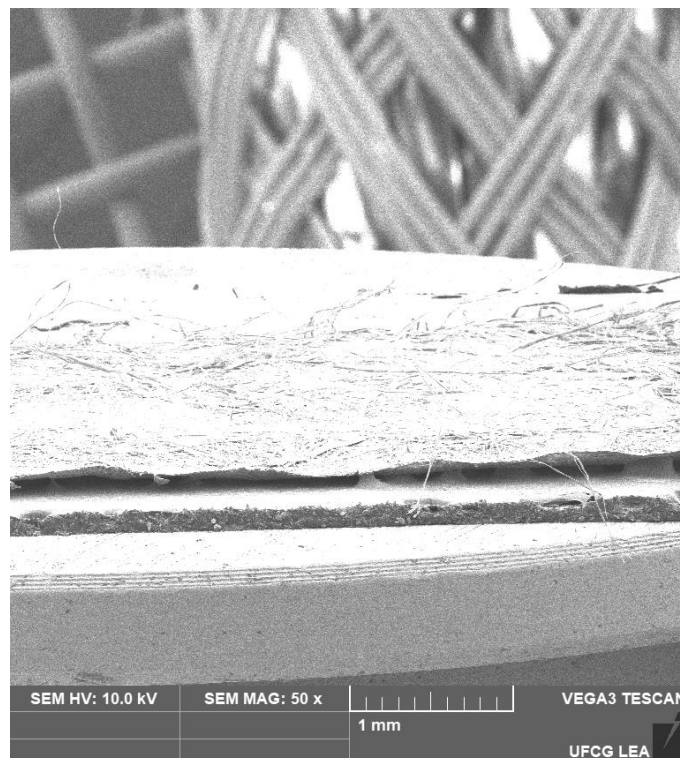
**250x**



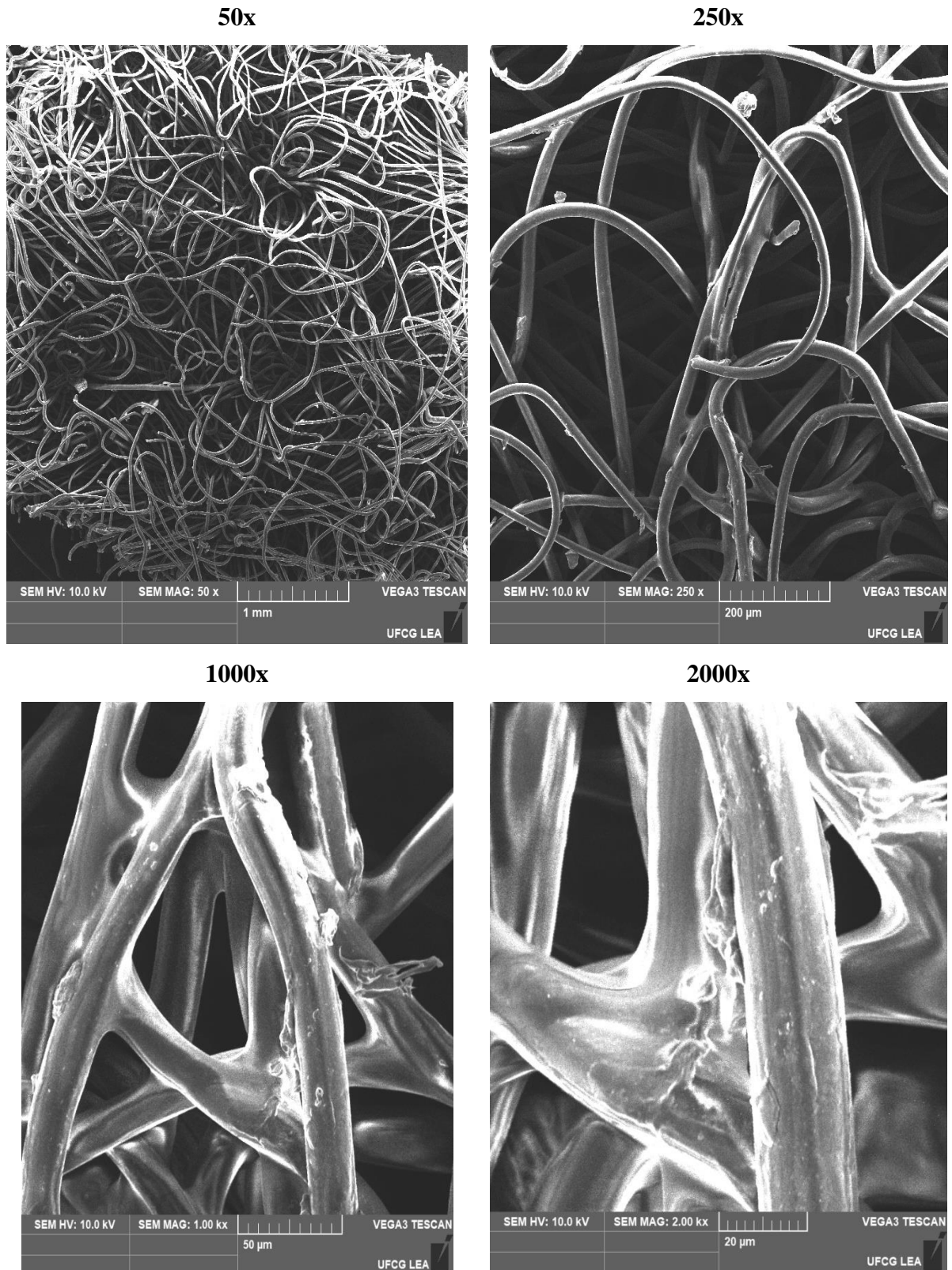
**500x**



**50x**



**Figura A2.** Micrografia MEV do material não-tecido agulhado usado nos filtros FNT 2 e FNT 3



## APÊNDICE B – QUADROS DE ANÁLISE ESTATÍSTICA

**Figura B1.** Análise de variância da turbidez ensaio 1 e 2.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	106261.99731	53130.99866	34.0610 **
Blocos	1	157058.99818	157058.99818	100.6867 **
Trat x Bloc	2	45439.79694	22719.89847	14.5652 **
Resíduo	114	177826.06579	1559.87777	
<b>Total</b>	<b>119</b>	<b>486586.85822</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
2	114	4.7965	34.061	<.0001
1	114	6.8628	100.6867	<.0001
2	114	4.7965	14.5652	<.0001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias tratamento

1	93.12378	a
2	20.57221	c
3	62.93296	b

dms = 20.99552

Médias de bloco

1	95.05400	a
2	22.69863	b

dms = 14.28475

MÉDIAS DE INTERAÇÃO

Tratamento: Filtro (1:AF; 2:FLA; 3: FNT 1); Bloco: Ensaio

**Figura B2.** Análise de variância da DQO ensaio 1 e 2.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	645319.25429	322659.62714	50.0595 **
Blocos	1	418601.52429	418601.52429	64.9446 **
Trat x Bloc	2	176763.65429	88381.82714	13.7121 **
Resíduo	78	502750.64286	6445.52106	
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>1743435.07571</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
2	78	4.8893	50.0595	<.0001
1	78	6.9727	64.9446	<.0001
2	78	4.8893	13.7121	<.0001

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias tratamento

1	374.18570	a
2	159.59280	c
3	272.64290	b

dms = 51.30555

Médias de bloco

1	339.40000	a
2	198.21430	b

dms = 34.88677

Tratamento: Filtro (1:AF; 2:FLA; 3: FNT 1); Bloco: Ensaio

**Figura B3.** Análise de variância da turbidez ensaio 3 a 7.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	8554.66238	4277.33119	191.2846 **
Blocos	4	3411.01145	852.75286	38.1356 **
Trat x Bloc	8	5752.11329	719.01416	32.1547 **
Resíduo	285	6372.90801	22.36108	
<b>Total</b>	<b>299</b>	<b>24090.69512</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

MÉDIAS E MEDIDAS	
Médias tratamento	
1	13.37953 a
2	1.84760 b
3	2.26745 b
dms =	1.57642
Médias de bloco	
1	11.72624 a
2	2.57208 c
3	3.21619 c
4	7.34445 b
5	4.29867 c
dms =	2.36898

Tratamento: Filtro (1:AF; 2:FLA; 3: FNT 2); Bloco: Ensaio

**Figura B4.** Análise de variância da DQO ensaio 3 a 7.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	125852.59218	62926.29609	146.1588 **
Blocos	4	77984.74375	19496.18594	45.2838 **
Trat x Bloc	8	13041.38807	1630.17351	3.7864 **
Resíduo	195	83954.09167	430.53380	
<b>Total</b>	<b>209</b>	<b>300832.81566</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

MÉDIAS E MEDIDAS	
Médias tratamento	
1	114.15500 a
2	61.32833 b
3	63.16833 b
dms =	8.28951
Médias de bloco	
1	104.06670 a
2	77.93333 b
3	66.04166 b
4	97.51111 a
5	52.20000 c
dms =	12.46667

Tratamento: Filtro (1:AF; 2:FLA; 3: FNT 2); Bloco: Ensaio

**Figura B5.** Análise de variância da SST ensaio 3 a 7.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	7890.95483	3945.47741	76.6015 **
Blocos	4	3231.11394	807.77848	15.6830 **
Trat x Bloc	8	1855.58300	231.94788	4.5033 **
Resíduo	150	7725.97479	51.50650	
Total	164	20703.62655		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )  
 ns não significativo ( $p \geq .05$ )

MÉDIAS E MEDIDAS	
Médias tratamento	
1	31.68589 a
2	17.79430 b
3	16.34511 b
dms =	3.24274
Médias de bloco	
1	26.62273 a
2	14.25648 c
3	20.18519 b
4	25.44444 a
5	23.20000 ab
dms =	4.88031

Tratamento: Filtro (1:AF; 2:FLA; 3: FNT 2); Bloco: Ensaio

**Figura B6.** Análise de variância da SSV ensaio 3 a 7.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	3632.91952	1816.45976	71.6656 **
Blocos	4	4111.67942	1027.91985	40.5550 **
Trat x Bloc	8	551.14207	68.89276	2.7181 **
Resíduo	150	3801.94698	25.34631	
Total	164	12097.68799		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ )  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ )  
 ns não significativo ( $p \geq .05$ )

MÉDIAS E MEDIDAS	
Médias tratamento	
1	22.29265 a
2	13.85026 b
3	11.31689 c
dms =	2.27478
Médias de bloco	
1	18.43636 b
2	9.15657 d
3	12.48148 cd
4	23.69192 a
5	15.33333 bc
dms =	3.42352

Tratamento: Filtro (1:AF; 2:FLA; 3: FNT 2); Bloco: Ensaio



**Figura B7.** Análise de variância da turbidez ensaio 5 a 7.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	2605.99387	868.66462	264.0587 **
Blocos	2	503.64395	251.82198	76.5494 **
Trat x Bloc	6	517.29564	86.21594	26.2081 **
Resíduo	228	750.04360	3.28966	
<b>Total</b>	<b>239</b>	<b>4376.97706</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

MÉDIAS E MEDIDAS		
Médias tratamento		
1	10.06079	a
2	2.20762	b
3	2.59089	b
4	2.57908	b
dms =	0.85646	
Médias de bloco		
1	2.94429	c
2	6.35000	a
3	3.78450	b
dms =	0.67698	

Tratamento: Filtro (1:AF; 2:FLA; 3: FNT 2; 4: FNT 3); Bloco: Ensaio

**Figura B8.** Análise de variância da DQO ensaio 5 a 7.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	72517.52674	24172.50891	54.6840 **
Blocos	2	54601.29269	27300.64635	61.7606 **
Trat x Bloc	6	9096.59053	1516.09842	3.4298 **
Resíduo	156	68958.22500	442.03990	
<b>Total</b>	<b>167</b>	<b>205173.63497</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

MÉDIAS E MEDIDAS		
Médias tratamento		
1	104.65830	a
2	55.94722	b
3	55.14722	b
4	59.35555	b
dms =	11.92002	
Médias de bloco		
1	65.53125	b
2	92.30000	a
3	48.50000	c
dms =	9.41062	

Tratamento: Filtro (1:AF; 2:FLA; 3: FNT 2; 4: FNT 3); Bloco: Ensaio

**Figura B9.** Análise de variância da SST ensaio 5 a 7.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	3544.26909	1181.42303	27.2038 **
Blocos	2	770.41433	385.20716	8.8699 **
Trat x Bloc	6	179.09194	29.84866	0.6873 ns
Resíduo	120	5211.43333	43.42861	
<b>Total</b>	<b>131</b>	<b>9705.20869</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	120	3.9491	27.2038	<.0001
2	120	4.7865	8.8699	0.0002
6	120	0.204	0.6873	0.6602

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias tratamento

1	30.66296	a
2	18.30370	b
3	19.86296	b
4	18.21111	b

dms = 4.23309

Médias de bloco

1	18.47222	b
2	24.20833	a
3	22.60000	a

dms = 3.33811

Tratamento: Filtro (1:AF; 2:FLA; 3: FNT 2; 4: FNT 3); Bloco: Ensaio

**Figura B10.** Análise de variância da SSV ensaio 5 a 7.

QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	3	2545.54158	848.51386	22.1880 **
Blocos	2	2574.29389	1287.14694	33.6579 **
Trat x Bloc	6	181.09074	30.18179	0.7892 ns
Resíduo	120	4589.04444	38.24204	
<b>Total</b>	<b>131</b>	<b>9889.97064</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01)  
 \* significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05)  
 ns não significativo (p >= .05)

GL	GLR	F-crit	F	p
3	120	3.9491	22.188	<.0001
2	120	4.7865	33.6579	<.0001
6	120	0.204	0.7892	0.5801

MÉDIAS E MEDIDAS

Médias tratamento

1	23.56296	a
2	14.68519	b
3	12.62222	b
4	13.38889	b

dms = 3.97228

Médias de bloco

1	11.61111	b
2	22.08333	a
3	14.50000	b

dms = 3.13245

Tratamento: Filtro (1:AF; 2:FLA; 3: FNT 2; 4: FNT 3); Bloco: Ensaio

## APÊNDICE C – FIGURAS DO EXPERIMENTO

**Figura C1.** Configuração do Filtro FNT 1 (material não-tecido sintético).

**Material não-tecido sintético**



**Biofilme**



**Desintegração do sistema.**



**Figura C2.** Configuração dos Filtros FLA, FNT 2 e FNT 3.

**Material não-tecido agulhado**



**Configuração filtro**



**Filtro FLA-FNT2-FNT3**



