



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO UNIVERSITÁRIO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Ana Silvia de Lima Vielmo

**DESENVOLVIMENTO DE NÃOTECIDO DE ACETATO DE CELULOSE
PROVENIENTE DE BITUCAS DE CIGARRO EMPREGADO PARA
O PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL**

Florianópolis

2022

Ana Silvia de Lima Vielmo

**DESENVOLVIMENTO DE NÃOTECIDO DE ACETATO DE CELULOSE
PROVENIENTE DE BITUCAS DE CIGARRO EMPREGADO PARA
O PRÉ-TRATAMENTO DE ÁGUA SUPERFICIAL**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa
Catarina para a obtenção do título de Doutor em
Engenharia Ambiental.
Orientadora: Prof^ª, Dr^ª. Maria Eliza Nagel Hassemer

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Vielmo, Ana Silvia de Lima

Desenvolvimento de nãotecido de acetato de celulose
proveniente de bitucas de cigarro empregado no pré
tratamento de água superficial / Ana Silvia de Lima
Vielmo ; orientador, Maria Eliza Nagel-Hassemer, 2022.
94 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Ambiental. 2. Engenharia Ambiental. 3.
Bituca de cigarro. 4. Filtração. 5. Acetato de celulose. I.
Nagel-Hassemer, Maria Eliza . II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Ambiental. III. Título.

Ana Silvia de Lima Vielmo

**Desenvolvimento de nãotecido de acetato de celulose proveniente de bitucas de cigarro
empregado no pré-tratamento de água superficial**

O presente trabalho em nível de doutorado foi avaliado e aprovado por banca
examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Sergio Luiz Belló, Dr.
Universidade Federal do Rio Grande

Marcello José Pio, Dr.
Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – SENAI-DN

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi
julgado adequado para obtenção do título de Doutor em Engenharia Ambiental.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof. Maria Eliza Nagel Hassemer, (Dra)
Orientadora

Florianópolis, 2022.

Este trabalho é dedicado aos meus pais, irmãos, sobrinhos,
cunhada e ao meu filho canino, Capuccino.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao universo, a Deus, e a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para que eu pudesse completar esse trabalho nos últimos quatro anos. Agradeço em especial:

Aos meus pais, Jorge e Florise, irmãos Rita e Júnior, sobrinhos Maria Duda e Gabriel e cunhada Val, por toda paciência que tiveram comigo durante essa caminhada.

Ao Instituto Federal Catarinense pela licença integral a fim de oportunizar meu crescimento acadêmico e pessoal.

À minha orientadora Dr^a. Maria Eliza Nagel Hassemer por toda ajuda, oportunidade, liberdade para realizar esse trabalho e o apoio que me deu nos quatro anos de trabalho juntas.

Ao professor Dr. Maurício Luiz Sens por acreditar no estudo e disponibilidade do LAPOA para toda a parte prática da pesquisa.

Ao Laboratório de Toxicologia Ambiental (LABTOX) especialmente ao Rodrigo e ao professor William pela ajuda e presteza.

Ao amigo Ailton Borges Rodrigues por toda ajuda, dedicação e paciência no laboratório.

Ao “Projeto Ilha sem Bitucas” em especial ao Sr. Arão Francisco Mafra Filho que sempre me recebeu com sorriso no rosto e incentivou a pesquisa.

À EcoFiber pelo acolhimento e ensinamentos.

Ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA), especialmente à Aline pela sua disponibilidade, calma e presteza em plena pandemia.

Ao Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) especialmente à Suzane pela presteza e dedicação, ao Laboratório Central de Análises do EQA, principalmente ao Leandro pelo atendimento e ao Laboratório de Reúso das Águas (LaRA).

Ao meu filho canino Capuccino, pelo carinho, ensinamento e amor incondicional.

Ao meu ex-professor, amigo e conselheiro, José Rodrigues Gerpe, pela amizade e conselhos nos momentos que mais precisei, agradeço também por não me deixar usar na prova, o resumo manuscrito da apostila de mais de 300 páginas.

Ao professor Renato Teixeira da Cunha pelos ensinamentos e pela orientação do TCC do curso de engenharia Industrial Têxtil.

Agradeço também a todos os professores do CETIQT. Vocês foram alavancadores da minha caminhada profissional. Meu eterno reconhecimento.

Aos amigos da “Suíça brasileira” Araceli Gonçalves, Rafael Andrade e Adriano Mafra pelo incentivo, amizade e apoio mesmo que a distância.

À minha “filha postiça” Bia, pela convivência do dia a dia, por escutar minhas lamentações, pelas companhias nos belos dias de praia iniciados sempre no final de setembro e ainda pela comida japonesa semanal.

Às amigas Hioná e Heloisa pela amizade e à Ana Karla pelo carinho, amizade e toda ajuda em momento delicado de minha saúde.

Aos amigos Heitor Bazani e Fabiana de Oliveira Palheta e Rodrigo Costa Puerari pela ajuda e carinho e pelas longas conversas de apoio com a amiga Cristina Moreira Lalau.

E por fim, agradeço pelas adversidades, superações, aprendizagens positivas ou não. Dessa forma, posso dizer que evoluí como pessoa e profissional.

Gratidão!!!!

Investir em conhecimento rende sempre os
melhores juros.

(BENJAMIN FRANKLIN)

RESUMO

A bituca de cigarro (BC) é um dos resíduos sólidos amplamente encontrados em áreas públicas no mundo. A BC apresenta potencial limitado de biodegradação, devido à alta concentração de acetato, o que a torna inerte ao processo de degradação microbiana, necessitando de muitos anos para a degradação. Ademais, durante o processo de fabricação do cigarro, são adicionados plastificantes e as fibras recebem alta compactação, dificultando o processo de desintegração. Esse rejeito é composto de fibra de acetato de celulose que é utilizado na produção de membranas, devido sua alta capacidade de filtração. Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar a produção, caracterização e desempenho de um não-tecido (NW) desenvolvido a partir da fibra de acetato de celulose oriunda de BC e aplicado a um sistema de filtração no pré-tratamento de água superficial. Para isso, foi realizada a higienização das BC coletadas no meio ambiente e posteriormente verificada a presença e quantificação de diferentes metais pesados (Cu, Mn, Zn, Fe, Co, Cd e Pb). A seguir foram produzidas três amostras de NW, as mesmas foram caracterizadas (espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), microscopia eletrônica de varredura, *Energy Dispersive System* gramatura, capacidade de absorção, análise estatística da capacidade de absorção, BET e permeabilidade do elemento filtrante). Posteriormente, o NW foi empregado como elemento filtrante para o pré-tratamento de água superficial de uma lagoa e foram avaliados na água bruta (AB) e na água filtrada (AF) os parâmetros clássicos de qualidade de água como turbidez, sólidos suspensos totais (SST), cor aparente, cor verdadeira e carbono orgânico total (COT) e metais pesados (Zn, Fe, Cu, Cd, Mn e Pb). Além disso, também foi avaliado a presença de nicotina e metais pesados na AF. Os resultados mostraram que o processo de higienização da BC promoveu uma remoção na ordem de 87,90%, 41,49% e 65,51% para Fe, Cu, e Zn respectivamente. Enquanto que Mn não foi detectado na amostra após a sanitização. A caracterização das diferentes amostras de NW mostraram uma gramatura com valores aproximados a 115g m⁻² e capacidade de absorção de 4,01 g g⁻¹ a 4,99 g g⁻¹. Identificou-se que a amostra de NW confeccionada com resina contendo 10% de sólidos foi mais apropriada para a confecção do elemento filtrante. O elemento filtrante apresentou as seguintes características: 1,2 cm de espessura, 7 cm de diâmetro, 24 cm de altura, área superficial de 528 cm², volume total de 692 cm³, gramatura de 350 g m⁻² e permeabilidade entre 3787 L m⁻² h⁻¹ e 3422 L m⁻² h⁻¹. Em relação ao desempenho do NW como elemento filtrante, identificou-se uma remoção na ordem de 62,01%, 54,42%, 50,36%, 6,73% e 5,20% para turbidez, SST, cor aparente, cor verdadeira e COT, respectivamente. A remoção de metais da AF variou na ordem de 72,26%, 9,61% e 2,12% para Fe, Cd e Cu, respectivamente. Não foi identificado a presença de nicotina em ambas as amostras. A tecnologia desenvolvida mostrou potencial para remoção de poluentes presentes em águas superficiais, além de reduzir os impactos ambientais negativos causados pelas BC presentes no ambiente.

Palavras-chave: bituca de cigarro; filtração; acetato de celulose.

ABSTRACT

Cigarette butt (CB) is one of the solid waste widely found in public areas of the world. CB has limited biodegradation potential, due to the high concentration of acetate, which makes it inert to the microbial degradation process, requiring many years for degradation. Moreover, during the cigarette manufacturing process, plasticizers are added and the fibers receive high compaction, making the disintegration process difficult. This waste is composed of cellulose acetate fiber that is used in the production of membranes, due to its high filtration capacity. In this sense, the aim of this study was to evaluate the production, characterization and performance of a nonwoven (NW) developed from cellulose acetate fiber from CB and applied to a filtration system in the pre-treatment of surface water. For this, the CB collected in the environment was cleaned and subsequently verified the presence and quantification of different heavy metals (Cu, Mn, Zn, Fe, Co, Cd and Pb). Next, three different of NW samples were produced and a characterization of them was performed (fourier transform infrared spectroscopy, scanning electron microscopy, energy dispersive system, grammage, absorption capacity, statistical analysis of absorption capacity, BET and permeability of the filter media). Subsequently, the NW was used as a filter media for the pre-treatment of surface water of a pond. The classic parameters of water quality such as turbidity, total suspended solids (SST), apparent color, true color and total organic carbon (TOC) and heavy metals (Zn, Fe, Cu, Cd, Mn and Pb) were evaluated in the raw water (RW) and in the filtered water (FW). In addition, the presence of nicotine and heavy metals in FW was also evaluated. The results showed that the CB sanitization process promoted a removal in the order of 87.90%, 41.49% and 65.51% for Fe, Cu, and Zn, respectively. While, Mn was not detected in the sample after sanitization. The characterization of the different samples of NW showed a weight with approximate values of 115g m⁻² and absorption capacity of 4.01 g g⁻¹ to 4.99 g g⁻¹. It was identified that the NW sample made with resin containing 10% solids was more appropriate for making the filter media. The filter media had the following characteristics: 1.2 cm thick, 7 cm in diameter, 24 cm in height, surface area of 528 cm², total volume of 692 cm³, grammage of 350 g m⁻² and permeability between 3787 L m⁻² h⁻¹ and 3422 L m⁻² h⁻¹. In relation to performance of the NW as a filtering media, a removal of 62.01%, 54.42%, 50.36%, 6.73% and 5.20% was identified for turbidity, SST, apparent color, true color and TOC, respectively. The removal of metals from FW varied in the order of 72.26%, 9.61% and 2.12% for Fe, Cd and Cu, respectively. The presence of nicotine was not identified in both samples. The technology developed showed potential for removing pollutants present in surface waters, in addition to reducing the negative environmental impacts caused by CB present in the environment.

Keywords: cigarette butt; filtration; cellulose acetate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Estrutura química do acetato de celulose.....	22
Figura 2- Impactos ao meio ambiente causados pelas bitucas de cigarro.	32
Figura 3 - Diferentes tipos de tecidos. A) tecido plano; B) tecido de malha;	33
Figura 4 - Classificação geral das fibras utilizadas para a produção do não tecido.	34
Figura 5 - Esquema de equipamentos utilizando não tecido para a filtração de água e o resultado de cada estudo.....	43
Figura 6 - Fluxograma dos procedimentos experimentais, conduzidos durante a pesquisa e sua finalidade.	45
Figura 7 - Etapas de produção do não tecido.....	46
Figura 8 - Representação do processo de higienização das bitucas.	47
Figura 9 - Material utilizado para a cardagem das fibras.	49
Figura 10 - Representação gráfica do processo de obtenção do não tecido.	50
Figura 11 - Esquema do Sistema de Filtração.	55
Figura 12 - Vistas longitudinal e transversal do elemento filtrante alocado no sistema de filtração.....	56
Figura 13 - Pré-higienização das bitucas de cigarro.....	60
Figura 14 - Etapas de cozimento, repouso em solução de hipoclorito de sódio e secagem do material celulósico das bitucas de cigarro.	60
Figura 15 - Espectros FTIR das bitucas de cigarro (A) e da resina (B).	62
Figura 16- Processo de cardagem das bitucas higienizadas e secas.	64
Figura 17 - Consolidação das fibras.	64
Figura 18 - Imagem da configuração dos não tecidos.	64
Figura 19 - Espectros FTIR dos não tecidos.	66
Figura 20 - Imagens microscópicas dos não tecidos consolidados.	68
Figura 21 - Espectroscopia de raios-x (EDS) dos não tecidos.	69
Figura 22 - Capacidade de absorção das diferentes amostras de não tecidos.....	71
Figura 23 – Características do elemento filtrante.....	72
Figura 24 - Permeabilidade do elemento filtrante.	73
Figura 25 - Isotherma de adsorção de N ₂ sobre o não tecido com resina contendo 10% de sólidos.	74

Figura 26 - Comportamento dos diferentes parâmetros identificados na água bruta e água filtrada.....	78
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicações de reutilização de bitucas de cigarro.....	23
Tabela 2 - Limites de detecção e limites de quantificação dos elementos.	48
Tabela 3 - Parâmetros, equipamentos e método utilizado.	57
Tabela 4 – Quantificação, desvio padrão e percentual de remoção dos metais pesados encontrados nas bitucas de cigarro não higienizadas e higienizadas.....	61
Tabela 5 - Número de onda, tipos de vibrações e intensidade de banda referente as bitucas de cigarro e resina, obtidos a partir do espectro FTIR.	63
Tabela 6 – Características dos nãotecidos produzidos.	65
Tabela 7 - Número de onda, tipos de vibrações e intensidade de banda, referentes aos nãotecidos obtidos a partir do espectro FTIR.	66
Tabela 8 - Percentual dos elementos detectados nos nãotecidos.....	70
Tabela 9 - Análise estatística referente aos parâmetros analisados na água bruta (AB) e água filtrada (AF).....	76
Tabela 10 - Percentual de remoção, média e desvio padrão, dos metais pesados na água filtrada (AF).	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB - Água Bruta

ABINT - Associação Brasileira das Indústrias de Não tecidos e Tecidos Técnicos

ABIT - Associação Brasileira da Indústria Têxtil

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

AF - Água Filtrada

BC - Bituca de Cigarro

BET - Brünauer-Emmett-Teller

BHJ - Barrett-Joyner-Halenda

CASAN - Companhia Catarinense de Águas e Saneamento

COT - Carbono Orgânico Total

CQD - Carbon Quantum Dots

EDS - Energy Dispersive System

EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

FTIR - Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry

LAPOA - Laboratório de Potabilização das Águas

LaRA - Laboratório de Reúso das Águas

LCME - Laboratório Central de Microscopia Eletrônica

LIMA - Laboratório Integrado de Meio Ambiente

MBR - Bio Reator a Membrana

MC - Material Celulósico

MEV - Microscopia Eletrônica de Varredura

NW - Não tecido

NW10 - Não tecido com 10% de teor de sólidos de resina

NW20 - Não tecido com 20% de teor de sólidos de resina

NW30 - Não tecido com 30% de teor de sólidos de resina

RPM - Rotações por Minuto

SDT - Sólidos Dissolvidos Totais

SST - Sólidos Suspensos Totais

ST - Sólidos Totais

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	OBJETIVOS.....	19
1.1.1	Objetivo geral	19
1.1.2	Objetivos específicos.....	19
1.2	HIPÓTESES DA PESQUISA	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	21
2.1	Produção e composição das bitucas de cigarro	21
2.2	IMPACTO DAS BITUCAS DE CIGARRO NO MEIO AMBIENTE.....	30
2.3	NÃOTECIDOS (NW)	32
2.3.1	Processo de fabricação de nãotecidos	36
2.4	UTILIZAÇÃO DE NÃOTECIDO EM PROCESSOS DE FILTRAÇÃO	38
2.5	NÃOTECIDO EMPREGADO PARA A FILTRAÇÃO DE ÁGUA	40
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	44
3.1	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL I.....	46
3.1.1	Produção do nãotecido oriundo de bituca de cigarro	46
3.1.2	Higienização das bitucas de cigarro.....	46
3.1.3	Quantificação de metais pesados nas bitucas de cigarro	47
3.1.4	Caracterização das bitucas de cigarro e da resina utilizada	48
3.1.4.1	<i>Composição química das bitucas de cigarro e da resina.....</i>	<i>48</i>
3.1.5	Cardagem e consolidação das fibras de acetado de celulose	49
3.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL II	50
3.2.1	Caracterização dos nãotecidos	51
3.2.1.1	<i>Composição química dos nãotecidos</i>	<i>51</i>
3.2.1.2	<i>Análise estrutural e morfológica dos nãotecidos</i>	<i>51</i>
3.2.1.3	<i>Determinação da gramatura dos nãotecidos</i>	<i>51</i>
3.2.1.4	<i>Capacidade de absorção dos nãotecidos</i>	<i>51</i>

3.2.1.5	<i>Análises Estatísticas da capacidade de absorção dos nãotecidos</i>	52
3.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL III	52
3.3.1	Confecção do elemento filtrante	52
3.3.2	Área superficial e tamanho de poros do elemento filtrante	53
3.3.3	Permeabilidade do elemento filtrante	53
3.4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL IV	54
3.4.1	Água de estudo	54
3.4.2	Descrição do sistema de filtração	54
3.4.3	Monitoramento do sistema de filtração	56
3.5	TOXICIDADE DA ÁGUA FILTRADA	57
3.5.1	Teste ecotoxicológico da água filtrada	57
3.5.2	Presença de nicotina na água filtrada	58
3.5.3	Análise e quantificação dos metais pesados na água filtrada	58
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL I.....	59
4.1.1	Higienização das bitucas de cigarro	59
4.1.2	Determinação e quantificação de metais pesados nas bitucas de cigarro	60
4.1.3	Caracterização das bitucas de cigarro e da resina	61
4.1.3.1	<i>Composição química</i>	61
4.1.4	Cardagem e consolidação das fibras	63
4.2	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL II	65
4.2.1	Caracterização dos nãotecidos	65
4.2.1.1	<i>Composição química</i>	65
4.2.1.2	<i>Análise estrutural e morfológica</i>	67
4.2.1.3	<i>Gramatura</i>	70
4.2.1.4	<i>Capacidade de absorção</i>	71
4.3	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL III	72

4.3.1	Confeção do elemento filtrante.....	72
4.3.2	Permeabilidade do elemento filtrante.....	72
4.3.3	Características físicas do elemento filtrante	73
4.4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL IV.....	75
4.4.1	Sistema de Filtração	75
<i>4.4.1.1</i>	<i>Qualidade da água filtrada</i>	<i>75</i>
4.4.2	Toxicidade na água filtrada.....	78
<i>4.4.2.1</i>	<i>Teste de toxicidade aguda com Daphnia magna.....</i>	<i>78</i>
<i>4.4.2.2</i>	<i>Análise da presença de nicotina na água filtrada.....</i>	<i>79</i>
<i>4.4.2.3</i>	<i>Análise da presença de metais pesados na água filtrada.....</i>	<i>79</i>
5	CONCLUSÕES	81
6	RECOMENDAÇÕES.....	82
	REFERÊNCIAS	83

1 INTRODUÇÃO

As bitucas de cigarro (BC) são consideradas mundialmente uma das principais fontes de geração de resíduos sólidos (KURMUS; MOHAJERANI, 2021). Em média, o consumo de 6 trilhões de cigarro produzem mundialmente em torno de 4,5 trilhões de BC (SHEN et al., 2021). Além disso, a previsão é de que até o ano de 2025 ocorra um aumento do consumo de cigarros em muitos países, sobretudo em países com baixo e médio índice de desenvolvimento humano (TABACCO ATLAS, 2021). No Brasil, tem-se em média um consumo de 333 cigarros por pessoa fumante por ano, e exclusivamente em 2020 esse número aumentou cerca de 34% devido a pandemia atrelado ao Coronavírus (TABACCO ATLAS, 2021; SILVA et al., 2020).

As BC possuem como característica principal, baixa biodegradabilidade podendo levar até 18 meses para se degradarem em condições ambientais (HON, 1977). No entanto, apesar das BC serem consideradas um resíduo precursor de impactos ambientais negativos, 97% dos cigarros produzidos no mundo possuem os seus filtros compostos por acetado de celulose, o qual é considerado um polímero natural modificado (PULS et al., 2011). O acetado de celulose presente nas BC é empregado para realizar a filtração parcial ou total dos componentes particulados da fumaça (HOFFMANN et al., 1995). Nesse sentido, diferentes formas de aproveitamento ou reciclagem do material de celulose presente nas BC vêm sendo propostas no mundo. Tijolos de argila (ABDUL KADIR; MOHAJERANI, 2012), concreto asfáltico (ABDUL KADIR; MOHAJERANI, 2015), produção de polpa de celulose (D'HENI TEIXEIRA et al., 2017), utilização como inibidor de corrosão (ZHANG et al., 2011), preparação de carvão ativado (HAMZAH; UMAR, 2017), utilização como material acústico (ESCOBAR; MADERUELO-SANZ, 2017) e uso como suporte para o desenvolvimento de biofilme (KURMUS; MOHAJERANI, 2020) são algumas das aplicações da celulose de acetato oriunda da BC disponíveis no mercado atualmente.

Além disso, já está bem elucidado que o acetato de celulose é um material com boas características para a produção de nanofibras (CHENG et al., 2017). A partir de diferentes tipos de fibras é possível realizar a produção de não tecido (NW). Um NW é conhecido por ser uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados direcionalmente ou ao acaso, consolidados por processo mecânico (fricção) e/ou químico (adesão) e/ou térmico (coesão) e combinações destes, conforme exposto na NBR 13370 (ABNT, 2002).

A prática de utilização de NW como um elemento filtrante empregado para diferentes finalidades vêm sendo utilizada desde os anos de 1950 (STRADER, 2015). No entanto, dependendo da aplicação dessa tecnologia, parâmetros de projetos devem ser estabelecidos para o bom desempenho do processo de filtração (ZOBEL; GRIES, 2010). Tamanho dos poros, área superficial, morfologia, condutividade, capacidade de filtração são alguns dos parâmetros que devem ser considerados para a utilização de NW como material filtrante (HUTTEN, 2007).

A utilização de NW de acetato de celulose empregado para a filtração de água já foi reportado por alguns estudos prévios (ELKONY et al., 2020; VEETIL, 2021; OU et al., 2016). Apesar da sua vasta aplicação, o reaproveitamento do acetato de celulose presente nas BC não foi evidenciado até os dias atuais.

Diante disso, considerando as características do acetato de celulose presente nas BC e da grande geração de resíduos sólidos no país oriundo das BC, esse estudo tem como objetivo desenvolver e avaliar o desempenho de um NW oriundo de BC empregado como elemento filtrante no pré-tratamento de água superficial.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um não-tecido de acetato de celulose oriundo de bitucas de cigarro para ser empregado como elemento filtrante aplicado no processo de pré-tratamento de água superficial.

1.1.2 Objetivos específicos

- Produzir o não-tecido de acetato de celulose oriundo de bitucas de cigarro;
- Caracterizar o não-tecido de acetato de celulose desenvolvido a partir de bitucas de cigarro;
- Otimizar o não-tecido desenvolvido para ser utilizado como elemento filtrante;
- Avaliar a eficiência de filtração do não-tecido produzido.

1.2 HIPÓTESES DA PESQUISA

Considerando os objetivos específicos, a presente pesquisa foi fundamentada nas seguintes hipóteses:

- Hipótese 1: As fibras de acetato de celulose presentes nas bitucas de cigarro apresentam potencialidade de serem utilizadas no desenvolvimento de um não tecido.

-Hipótese 2: O não tecido de acetato de celulose oriundo das bitucas de cigarro poderá ser empregado como elemento filtrante no pré-tratamento de água superficial.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesse item é abordado os pressupostos teóricos vinculados com a produção de BC, e suas características, bem como o processo de desenvolvimento e avaliação de um nãotecido.

2.1 PRODUÇÃO E COMPOSIÇÃO DAS BITUCAS DE CIGARRO

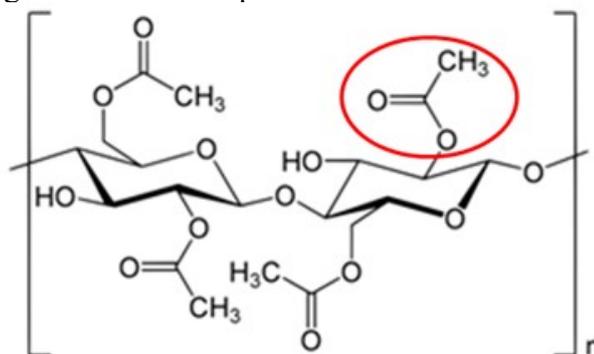
O Brasil produz cerca de 25 toneladas de lixo por ano relacionadas a indústria do cigarro, sendo que desta parcela, 9 toneladas estão atreladas a resíduos provenientes das bitucas de cigarro (BC) (TOBBACO, ATLAS, 2021). Nesse sentido, a seguir serão abordados os pressupostos teóricos vinculados à BC e seus impactos ao meio ambiente.

Após evidências científicas cada vez mais convincentes de que o cigarro é responsável por causar câncer de pulmão e outras doenças graves, na década de 1950 foi desenvolvido o cigarro com filtro. A partir disso, cerca de 99 % dos fumantes começaram a usar esse tipo de cigarro (NOVOTNY et al., 2009; CURTIS et al., 2014). Nesse sentido, as BC contêm quatro componentes principais associados ao filtro, tabaco queimado e não queimado, cinzas e papel (ARAUJO; COSTA, 2019).

O principal elemento que compõe o filtro da BC é o acetado de celulose, o qual é considerado um polímero sintético vegetal feito de celulose, por meio do processo de acetilação, que inclui a adição de ácido acético e anidrido acético. Após essa etapa, são adicionados plastificantes tais como o polietilenoglicol (PULS et al., 2011). Nesse sentido, a BC é caracterizada como uma haste constituída em média por 15000 filamentos microscópicos de acetato de celulose (MARINELLO et al., 2020) com titulação de 1,6 denier (ARAÚJO, 1986).

A principal função do acetato de celulose presente no filtro da BC é filtrar as substâncias tóxicas presentes na fumaça do cigarro, devido ao seu alto potencial de absorção (WANG et al., 2020). A estrutura química do acetato de celulose, juntamente com o grupo funcional éster são destacados na Figura 1.

Figura 1- Estrutura química do acetato de celulose.



Fonte: Cerqueira et al. (2010).

O acetato de celulose é uma fibra vegetal conhecida por possuir fácil biodegradação por microrganismos que degradam a celulose. No entanto, após a adição de plastificantes durante a produção do filtro da BC, o acetato de celulose torna-se fotodegradável, contudo, o seu potencial de biodegradação torna-se limitado devido ao seu alto grau de acetililação (PULS et al., 2011).

Além das BC possuírem acetado de celulose com baixo potencial de biodegradação, é nessa região do cigarro que se concentram os compostos com alto potencial de toxicidade ao meio ambiente (BARNES, 2011). Um estudo realizado por Torkashvand et al. (2021) mostrou que ao adicionar cerca de 1% de BC recém fumadas em relação ao peso dos resíduos sólidos depositados no aterro sanitário, houve um aumento na concentração de metais pesados (cromo, cádmio, cobre e chumbo) de 4,8% no ambiente avaliado.

Em ordem de tentar diminuir os impactos ambientais causados pela BC, muitas estratégias para reutilizar esse material são apresentadas em diferentes lugares do mundo. Na Tabela 1 são apresentados diferentes métodos de reutilização das bitucas de cigarro.

Tabela 1 - Aplicações de reutilização de bitucas de cigarro.

MÉTODO	RESULTADO	REFERÊNCIA
As BC foram transferidas para um forno tubular (Heraeus Thermicon P) equipado com um tubo de quartzo. O tubo foi inundado com nitrogênio antes do aquecimento lento de ($1^{\circ}\text{C min}^{-1}$) até uma temperatura final de 800°C .	Estruturas de carbono porosas, processadas para terem poros pequenos e de baixo volume que aumentam a área de superfície disponível para adsorção ou reações químicas.	Polarz; Smarsly; Schattka (2002).
As BC foram desinfetadas e misturadas em diferentes porcentagens com areia argilosa siltosa marrom, secas e queimadas.	Tijolos de barro queimados. Material utilizado para construção.	Kadir; Mohajerani (2008). Kadir et al (2009). Sarani; Abdul Kadir (2013). Abdul Kadir; Mohajerani (2015). Mohajerani; Kadir; Larobina (2016).
Extração em soluções de HCl a 90°C .	Os produtos químicos específicos, extraídos das BC, permite a produção de extratos brutos que têm apresentado excelente desempenho como inibidor de corrosão para o Aço N80.	Zhao et al (2010).
Separação do tabaco e papel, corte das BC e imersão em água.	Obtenção de reatores de biofilme com alta área superficial, alta porosidade e rugosidade. Eles demonstraram bom desempenho para remoção simultânea de matéria orgânica e nutrientes de águas residuais.	Sabzali; Nikaen; Bina (2011).
BC misturadas com 2 g de KOH em pó.	Carbono microporoso de baixo volume com grande área superficial, disponível para adsorção ou reações químicas.	Yazdi; Soltani; Hosseini (2012).
BC embebidas em água deionizada.	Pesticida usada no controle de mosquitos - vetor resistentes a inseticidas.	Dieng et al (2013).
Isolamento de extratos brutos de BC através de solventes polares.	Inibidor de corrosão para o aço tubular de poço de petróleo J55.	Vahidhabanu et al (2014).
Pirólise a 900°C sob um fluxo constante de gás nitrogênio em um forno de tubo de aço.	Carvão mesoporoso, com grande área superficial interna e capacidade de adsorção. Tipicamente, pode adsorver uma ampla gama de substâncias, incluindo corantes e metais pesados.	Soltani; Yazdi; Hosseini (2014).
BC suspensas em 50 ml de água destilada.	Pesticida altamente tóxico para as larvas do mosquito atacando-o direta e indiretamente.	Mondal et al (2015).

Tabela 1 - Aplicações de reutilização de bitucas de cigarro. (continuação)

MÉTODO	RESULTADO	REFERÊNCIA
Tratamento térmico sob uma atmosfera contendo nitrogênio.	Material promissor para uso em supercapacitores devido ao seu baixo custo, alta porosidade, condutividade eletrônica e estabilidade.	Lee et al (2014).
BC embebidos a 60 °C sob agitação magnética com NH_4VO_3 em água destilada.	Eletrodo híbrido. Material precursor para fabricar material ativo para eletrodo supercapacitor. As avaliações realizadas mostraram seu bom comportamento eletroquímico. Atende às necessidades do mercado de dispositivos de armazenamento de energia.	Wang et al (2016).
BC embebidas em água por 10-15 dias.	Pesticida usado para matar pragas de insetos graças às substâncias tóxicas contidas no tabaco (em particular a nicotina). O inseticida pode matar tanto pelo toque (pulverizando diretamente no corpo dos insetos) quanto pela deglutição (pulverizando diretamente nas folhas como alimentos dos insetos). O produto pode ser chamado de sistêmico porque pode ser absorvido, injetado ou alimentado na planta ou animal a ser protegido.	Nasution (2016).
Tratamento térmico dos filtros separados a 900 °C sob NH_3 e ar, respectivamente. Catalisadores de Pt suportados por NCF foram preparados pelo método de impregnação convencional.	Compósito de Pt suportado por carbono dopado com nitrogênio (N) poroso bimodal que, caracterizado do ponto de vista físico e eletroquímico, demonstrou maior atividade e durabilidade da reação de redução de oxigênio do que para o carbono comercial.	Kim et al (2016).
Separação do conteúdo de celulose das BC por meio de quatro processos diferentes: dissolução da cinza e todos os produtos químicos adsorvidos; hidrolisação do acetato de celulose em celulose; remoção da lignina e do tabaco remanescente e liberação da celulose; desagregação do papel restante.	Produção de celulose. Após a avaliação dos parâmetros físicos e ópticos da celulose para uso comercial, a polpa obtida pode ser utilizada na indústria de papel.	D'Henri Teixeira et al (2017).

Tabela 1 - Aplicações de reutilização de bitucas de cigarro. (continuação)

MÉTODO	RESULTADO	REFERÊNCIA
Extração etanólica, branqueamento com hipoclorito, desacetilação alcalina e conversão em NCC por hidrólise de ácido sulfúrico.	Celulose nanoestruturada. Os autores descrevem o isolamento da celulose nanocristalina do acetato de celulose com importantes propriedades, tais como: biocompatibilidade, biodegradação, alta resistência, superfície específica, alto índice de cristalinidade, baixa toxicidade e densidade. As propriedades mecânicas e químicas da nanocelulose a tornam extremamente adequada para diversos tipos de aplicações.	Ogundare; Moodley Van Zyl (2017).
BC encapsuladas com diferentes classes de betume e cera de parafina.	Produto de construção obtido pela mistura de cimento, agregado fino, agregado graúdo, água e aditivos. BC com betume e cera de parafina e incorporando-os ao concreto asfáltico para a construção de pavimentos, demonstrando boas propriedades mecânicas e volumétricas, incluindo estabilidade, fluxo, módulo de resiliência, densidade aparente, densidade máxima e vazios de ar.	Mohajerani et al (2017).
Ativação química de KOH usando uma entrada de micro-ondas.	Carvão ativado via ativação química do KOH em micro-ondas e identificaram sua boa capacidade de absorção de azul de metileno. Produto com poros pequenos e de baixo volume, aumentando a área disponível para adsorção ou reações químicas. É valioso para uma variedade de aplicações, especialmente para separação óleo-água, adsorção de azul de metileno ou como supercapacitores.	Hamzah; Umar (2017).
Agrupamento das BC.	Absorvente de som poroso, material como têxteis, lã, tapetes, espumas, lã mineral, lã de algodão capaz de absorver a energia do som ao amortecer a oscilação das partículas de ar por fricção.	Gómez Escobar; Maderuelo Sanz (2017).

Tabela 1 - Aplicações de reutilização de bitucas de cigarro. (continuação)

MÉTODO	RESULTADO	REFERÊNCIA
Remoção de filtros e processo de pirólise.	Dispositivo eletricamente condutor com capacidade de fornecer altos níveis de potência e energia. Produto pirolisado em pó branco acinzentado, condutor de alta potência com propriedades eco-sustentáveis e com aplicações como veículos elétricos, microssores e eletrônicos portáteis.	Ghosh et al (2017).
Carbonização e ativação hidrotérmica benigna sequencial.	O material obtido mostrou-se super-poroso, com área de superfície e volume de poros ultra-elevados e natureza rica em oxigênio, o que o torna particularmente eficaz na capacidade de armazenamento de hidrogênio. Este material, em comparação com os outros disponíveis, tem propriedades novas ou melhoradas, é mais fácil e barato de preparar além de ser sustentável.	Blankenship;Mokaya (2017).
Preparação da BC modificada via abordagem de SiO ₂ , octadeciltriclorosilano e metiltrimetoxissilano.	Absorvente superhidrofóbico com propriedades econômicas, altamente seletivas e ecologicamente corretas para tratar a poluição da água causada por derramamentos de óleo.	Xiong et al (2018a).
Imersão em solução de pirrol, polimerização oxidativa com FeCl ₃ e carbonização sob nitrogênio.	Carbono poroso caracterizado por uma área superficial muito elevada com estruturas micro, meso e macroporosas que, graças à sua grande capacitância específica e boa retenção, torna-o um candidato potencial de um precursor de carbono para supercapacitores de alto desempenho.	Xiong et al (2018b).
Incorporação de BC em blocos de concreto pré-moldado para pavimentação.	de acordo com os ensaios realizados, aumenta a absorção de água e a resistência à flexão, embora não haja variações significativas na resistência à compressão.	Wadalkar et al. (2018).

Tabela 1 - Aplicações de reutilização de bitucas de cigarro. (continuação)

MÉTODO	RESULTADO	REFERÊNCIA
Processo hidrotérmico.	Pesticida baseado na eficácia da nicotina e seus derivados. Nanoestruturas de Ag derivado de BC com alta toxicidade para vetores da malária e com pouco impacto sobre copépodes predadores.	Murugan et al. (2018).
As BC foram secas, separadas manualmente do papel externo e interno e trituradas em fibras curtas.	O material descrito pelos autores é um absorvedor de som poroso obtido de BC. É mais eficaz aumentando a densidade aparente, aumentando a porosidade e reduzindo a resistividade do fluxo.	Maderuelo-Sanz et al. (2018).
Carbonização hidrotérmica de baixa temperatura sem o uso de gás inerte.	<i>Hydrochar</i> , carbonáceo, podendo ser usado para: biocombustível, corretivo de solo, absorvente, usos industriais para a produção de biopolímeros, negro de fumo, produção de materiais de alto desempenho.	Lima et al. (2018).
Duas etapas simples: limpeza e hidrólise; funcionalizado por superfície.	Material absorvente de óleo em ambientes aquáticos. Este material garante baixo custo, facilidade de operação e alta eficiência, dependendo do tipo de material absorvente utilizado (produtos naturais, minerais inorgânicos ou sintéticos). Demonstrou alta capacidade de absorção e bom índice de economia de óleo, além de ser fabricado de forma ecológica e fácil.	Ifelebuegu et al. (2018).
Método hidrotérmico para a produção de pontos de carbono co-dopados com N, S.	Pontos de carbono (CDs) dopados com não metais, como N, S, B e P. Isso permite melhorar algumas de suas propriedades, como resistência à auto-extinção, fluorescência QY aprimorada e seletividade de detecção. Eles têm diferentes aplicações práticas: detecção, bioimagem, conversão optoeletrônica, bactericida ativado por luz visível, detecção de impressão digital, degradação de corantes, células solares, tintas de impressão e entrega de genes.	Bandi et al (2018).

Tabela 1 - Aplicações de reutilização de bitucas de cigarro. (continuação)

MÉTODO	RESULTADO	REFERÊNCIA
Imersão de carbono oriundos de BC em solução de N.	Carbonos porosos com grande área superficial, além de capacitância específica e boa retenção de capacitância.	Xiong et al. (2019).
BC foram adicionadas ao solo contendo minhocas <i>Eisenia fétida</i> .	A minhoca <i>E. fétida</i> aumentou significativamente a perda de massa de BC fumadas e não fumadas, além de não ter a sobrevivência afetada.	Korobushkin et al. (2021).
As BC foram secas em estufa a 110 °C e posteriormente limpas e embebidas em betume quente para completar o processo de encapsulamento.	O uso de 0,5% e 1% de betume no asfalto denso graduado atendeu aos requisitos da indústria e endossou o método de reciclagem de CB em concreto asfáltico. Também foi verificado que a condutividade no asfalto modificado com BC de cigarro encapsuladas com betume apresentou melhor resistência a danos devido às variações de temperatura.	Rahman; Mohajerani (2021).

Fonte: a autora (2021).

2.2 IMPACTO DAS BITUCAS DE CIGARRO NO MEIO AMBIENTE

As BC apresentam potencial limitado de degradação, pois além do acetato de celulose ser fotodegradável, durante a fabricação do cigarro são adicionados plastificantes e os filamentos recebem alta compactação, dificultando o processo de desagregação destes. Ademais, as BC podem levar de dez a quinze anos para fotodegradação, sem nunca passar pelo processo de biodegradação (NOVOTNY; SLAUGHTER, 2014).

Outros fatores que também contribuem para a baixa degradação das BC estão relacionados ao alto grau de substituição do acetato, o que torna a celulose inacessível aos microrganismos para o processo de decomposição biológica, além do baixo nível de nutrientes na celulose, em especial o nitrogênio, agente que mais afeta a perda de massa da BC aumentando o impacto negativo ao meio ambiente (PULS; WILSON; HÖLTER, 2011). Estudos recentes mostraram que a taxa de degradação de BC é baixa, resultando em uma redução de apenas 37,8% da sua massa inicial, após um período de dois anos de decomposição (BONANOMI et al., 2015).

Além disso, a baixa capacidade de degradação das BC contribui tanto para a contaminação física quanto química, pois é cientificamente comprovado que é responsável por 25% dos incêndios rurais e urbanos, os quais ocorrem em períodos de baixa precipitação pluviométrica, além da poluição de águas, solos, extinção de diversas faunas aquáticas e inundações devidas obstruções de vias pluviais (SOUZA; CONEGERO, 2009).

As BC são responsáveis por reter cerca de 5000 produtos químicos liberados durante a ação da queima do tabaco. Muitos desses produtos são provenientes do cultivo do fumo, pois são identificadas 16 substâncias químicas cancerígenas nas folhas da planta antes do processamento. Quando queimados, muitos dos produtos químicos presentes nos cigarros produzem novos compostos podendo chegar a mais de 210 compostos tóxicos diferentes, incluindo mercúrio, fluoretos, ácido sulfúrico, óxido nitroso, cloreto de hidrogênio e cádmio após o processo de combustão, mostrando que a queima aumenta a quantidade de substâncias tóxicas (BOLDEN; ABU-LEBDEH; FINI, 2013).

Adicionalmente, destacam-se também, as substâncias provenientes de herbicidas, inseticidas, fungicidas e veneno para roedores em geral e ainda o uso de umectantes na fabricação do cigarro e ainda vasta quantidade de aditivos para proporcionar sabor e ajuste da taxa de queima (NOVOTNY et al., 2011). Dentre as substâncias químicas, absorvidas parcialmente ou totalmente pela BC, pelo menos 150 (das quais 44 são encontradas em grandes

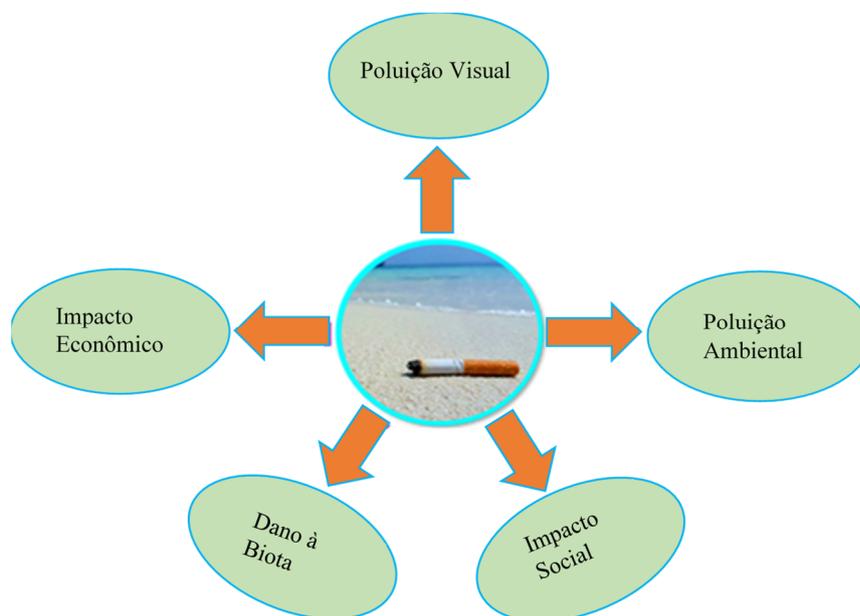
quantidades) são consideradas altamente tóxicas, principalmente devido ao seu potencial carcinogênico e mutagênico (D'HENI TEIXEIRA et al., 2017).

Apesar de não existirem muitos estudos quanto a toxicidade potencial das BC, já é cientificamente comprovada a gravidade que estas causam ao ecossistema, pois segundo estudos recentes, os metais pesados presentes nas BC, ao entrarem em contato com a água, podem alcançar os lençóis freáticos ou até mesmo ficarem armazenados nas superfícies (MOERMAN; POTTS, 2011). Destaca-se ainda que esses resíduos sejam letais para 50% dos organismos presentes em corpos hídricos superficiais, além de apenas uma BC contaminar aproximadamente 1000 L de água, pois a lixiviação desses compostos pode durar até 10 anos (LIU et al., 2020). Dentre os produtos lixiviados destacam-se os metais pesados, fenol etílico, resíduos de pesticida e nicotina (NOVOTNY et al., 2011). Considera-se que é uma ameaça relevante para a qualidade das águas urbanas, incluindo reservatórios de abastecimento (ARAÚJO; COSTA, 2019).

Tendo em vista que as fibras das BC demoram a se desagregar e o rejeito está disposto em áreas públicas conforme já apresentado, com a ação das chuvas, as BC são carregadas para bueiros e córregos, alcançando facilmente águas superficiais e subterrâneas, atingindo a vida marinha através da lixiviação de substâncias tóxicas. Outra forma de ataque à fauna se dá ao confundirem as BC com alimentos, ingerindo-as acidentalmente, podendo gerar cálculos gastrointestinais levando a uma falsa sensação de saciedade e a consequente subnutrição. Estudos mostram que já foram encontradas BC no estômago de peixes, aves e baleias (SANTOS et al., 2005).

As BC depositadas no meio ambiente, além de causar uma sensação de descaso do ser humano para com a natureza, impactam também na economia e saúde da população, pois devido sua toxicidade, demanda recursos diferenciados para coletá-las, representando altos custos para a sociedade (MARAHA; NOVOTNY, 2011). Resumidamente, alguns danos causados pelas BC de cigarro ao meio ambiente estão demonstrados na Figura 2.

Figura 2- Impactos ao meio ambiente causados pelas bitucas de cigarro.



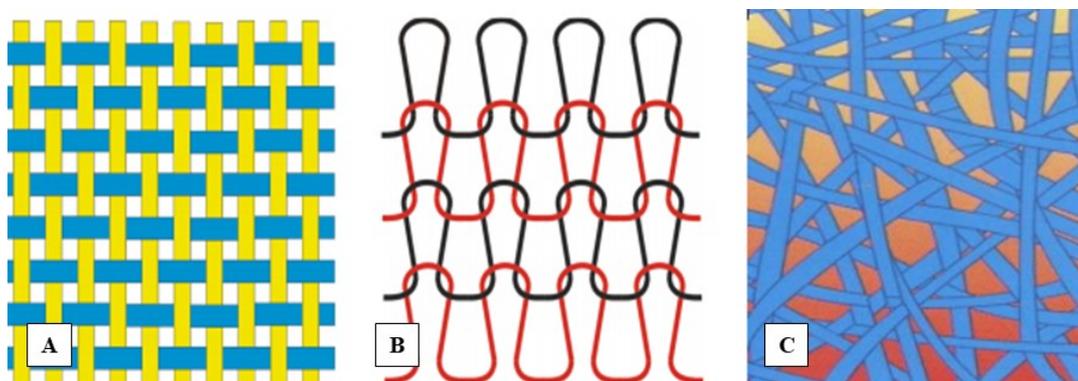
Fonte: Adaptado de Araújo e Costa (2019).

2.3 NÃOTECIDOS (NW)

No Brasil, nos últimos cinco anos, a fração têxtil referente a produção de NW, investiu mais de US\$ 70 milhões em equipamentos de última geração para produzi-los. O setor gera mais de 16,5 mil empregos diretos, consome aproximadamente 283.930 toneladas por ano de NW, exporta em torno de 31.990 toneladas ao ano e importa em média de 40.272 toneladas ao ano de NW (ABIT, 2017).

Segundo a NBR13370/2017 (ABNT, 2017) NW é considerado uma estrutura plana, flexível e porosa, constituída de véu ou manta de fibras ou filamentos, orientados em determinada direção ou ao acaso, podendo a estrutura ser consolidada por processo mecânico (fricção), químico (adesão) ou térmico (coesão), ou ainda pela combinação de dois ou dos três processos supracitados (ABNT, 2017). Nesse sentido, o termo NW advém da expressão internacional conhecida como *nonwoven*, e foi criado para designar um amplo grupo de têxteis produzidos por métodos não convencionais, mas não o excluí da categoria dos têxteis (COSTA, 2003). Na Figura 3 apresentam-se os diferentes tipos de tecidos.

Figura 3 - Diferentes tipos de tecidos. A) tecido plano; B) tecido de malha; C) não-tecido (NW).



Fonte: Araújo (1986).

O NW (Figura 3C) é produzido por um desenvolvimento distinto do processo convencional de entrelaçamento de fios realizados através de teares, diferentemente do tecido plano que conforme a NBR 12546/2017 (ABNT, 2017), se trata de uma estrutura produzida pelo entrelaçamento formado por dois elementos, sendo um conjunto de fios de urdume (conjunto de fios dispostos na longitudinal) e outro conjunto de fios de trama (conjunto de fios dispostos na transversal), formando ângulo de ou próximo de 90° (Figura 3A). Já, o tecido de malha de acordo com NBR 13462/1985 (ABNT, 1985) é formado a partir de um ou mais fios que fazem evolução em diversas agulhas, formando um curso de laçadas sucessivas que se entrelaçam com as laçadas dos cursos seguintes (Figura 3B).

Dentre à classificação dos NW destacam-se os geotêxteis, que podem ser construídos através da estrutura de tecido ou NW (RODRIGUES, 2014). No entanto, se tratando do uso para filtração é comumente mais utilizado os geotêxteis de NW, pois apresentam uma estrutura mais complexa que os tecidos, devido a não atuação como uma simples interface, mas sim como um meio tridimensional, possuindo a espessura como parâmetro complementar (FREITAS; MANEIRO; COURY, 2003).

Vertematti (2004), demonstra as principais vantagens proporcionadas pelos geotêxteis de NW como elemento filtrante, em relação a outros meios convencionais, como a areia:

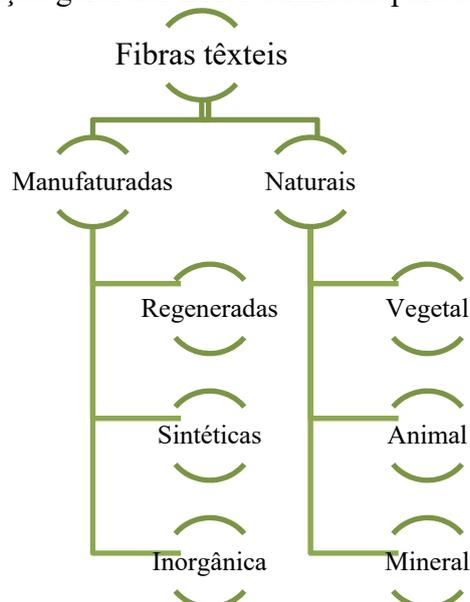
- A espessura do filtro é menor;
- Características controladas e regulares, por se tratar de um produto industrial;
- Facilidade de instalação, manutenção e baixo custo.

Dentre os materiais utilizados para a produção de NW destacam-se as fibras ou filamentos têxteis. O percentual de material fibroso varia entre 30% a 100% na composição

final de um NW sendo que as propriedades destes dependem das características das fibras somadas às propiciadas pelos processos de consolidação (ABINT, 2019).

A fibra têxtil é um termo genérico para vários tipos de material, naturais ou não, que formam os elementos básicos para fins têxteis. Caracteriza-se por apresentar um comprimento pelo menos 100 vezes superior ao diâmetro ou espessura (ASTM, 2013). As fibras têxteis são oriundas de várias fontes e esse critério é utilizado para sua classificação, sendo classificadas como natural quando extraídas da natureza, sob forma que tornem aptas para o processamento têxtil, ou manufaturadas quando produzidas por processos industriais (KUASNE, 2008). A Figura 4 apresenta a classificação das fibras empregadas para a produção de NW.

Figura 4 - Classificação geral das fibras utilizadas para a produção do nãotecido.



Fonte: Adaptado de Araújo (1986).

As fibras de origem natural podem ser de origem animal (lã e pelos finos e grossos, seda), mineral (crisotila e crocidolita) e vegetal (algodão, coco, caroá, sisal, tacum, cânhamo, juta, linho, malva, rami). Já as fibras manufaturadas usadas na produção de NW estão associadas com a classificação animal (caseína), vegetal (cupro, liocel, viscose, acetato e triacetato), polímeros (acrílico, elastano, elastodieno, modacrílica, poliamida, policarbamida, policloreto de venila, policloreto de vinilideno, policlorofluoretileno, poliéster, poliestireno, politetrafluoretileno, poliuretano, vinal e vinilal), entre outras (fibras de carbono, metálica, vidro, escória e rocha) (CUMBI, 2013).

A caracterização dos NW está relacionada ao tipo de material (fibra) e ao processo de confecção utilizado na fabricação do produto. De forma geral, as propriedades que caracterizam

os NW são: gramatura (peso por unidade de área), espessura, composição, massa específica, superfície específica, porosidade e condutividade hidráulica (RUSSELL, 2007).

A condutividade hidráulica, a superfície específica e a porosidade são propriedades que influem na capacidade de filtração, retenção de partículas, e permeabilidade da água no NW. Já a porosidade de um NW é a relação entre o volume de vazios, ou seja, os poros e volume total do mesmo. Esta propriedade está relacionada com a habilidade do líquido passar através do NW (VERTEMATTI, 2004).

A porosidade pode ser determinada através da relação entre a massa específica do NW e dos materiais que o compõem, conforme apresentando na Equação 1. A superfície específica representa a área das fibras por unidade de volume do NW e pode ser calculada pela Equação 2 (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). A condutividade hidráulica é mensurada pelo coeficiente de permeabilidade, K, e pode ser determinada experimentalmente utilizando-se a equação de Darcy (Equação 3).

$$\varepsilon_0 = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_f} \quad (1)$$

Onde:

ε_0 : Porosidade;

ρ_m : massa específica do NW (g cm^{-3});

ρ_f : massa específica do fio (g cm^{-3}).

$$S_o = \frac{4(1 - \varepsilon_0)}{d_f \cdot 10^{-6}} \quad (2)$$

Onde:

S_o : Superfície específica ($\text{m}^2 \text{m}^{-3}$);

ε_0 : Porosidade;

d_f : Diâmetro dos fios (μm).

$$Q = K.i.A \quad (3)$$

Onde:

Q: taxa de fluxo através do material (m/dia);

K: Condutividade hidráulica (m/s);

i = Gradiente hidráulico (s);

A= Área da seção transversal do material (m²).

2.3.1 Processo de fabricação de nãotecidos

Para fabricação de um NW pode se utilizar diferentes métodos. Esses métodos são baseados em processos originários das indústrias papelreira, de plástico e têxtil. Assim sendo, a obtenção de NW está atrelado a uma das quatro tecnologias básicas: têxtil (fibras, cardagem e acabamentos); papel (deposição e consolidação); plástico (extrusão de filamentos contínuos e sopro) ou ainda, híbrido (união de diversas tecnologias). Já a classificação dos NW baseia-se no processo de fabricação, insumo, características das fibras/filamentos, consolidação, transformação e/ou conversão, gramatura ou combinação desses processos (ABINT, 2013).

Independente da tecnologia usada para a produção de NW existem quatro estágios indispensáveis associados com a seleção e preparação da fibra, formação da manta/véu, consolidação da manta/véu e acabamento (REWALD, 2018).

O primeiro estágio se refere à seleção e preparação da fibra adequada para uma aplicação específica, dependendo do perfil requisitado do NW; da relação custo/uso e da exigência do processo posterior.

Posteriormente no segundo estágio, ocorre a formação da manta/véu, que se refere à disposição das fibras/filamentos para formar manta/véu com uma ou mais camadas. A formação da manta (estrutura ainda não consolidada) e o processo de fabricação pode ser via seca, via úmida ou via fundida, dependendo do comprimento da fibra (RUSSEL, 2007).

No processo de via seca os NW são produzidos via carda ou via aérea/fluxo de ar. A carda é responsável pela paralelização das fibras, através de hastes “penteadoras” (guarnições), formando mantas/véu anisotrópicos, os quais podem se cruzar em camadas. Já por via aérea/fluxo de ar, o material fibroso é suspenso e posteriormente são depositados numa tela formando a manta/véu. Enquanto que no processo via úmida, ocorre a suspensão das fibras em meio aquoso, as quais são recolhidas através de um processo de filtração. Segundo Costa

(2003), esse processo proporciona alta produtividade, além de produzir NW de baixa gramatura e alta uniformidade, porém necessita de alto investimento.

Já o terceiro estágio está vinculado com a consolidação da manta/véu que está relacionado a união das fibras/filamentos. Na maioria das vezes este estágio é responsável também pelo acabamento do produto final. Conforme Cumbi (2013), há três métodos básicos responsáveis pela consolidação e acabamento, os quais também podem ser associados entre si. Os métodos básicos são:

- Mecânico (fricção): refere-se ao entrelaçamento das fibras/filamentos, por meio de agulhas que possuem saliências (*needlepunched*) ou entrelaçamento do material fibroso através de jatos d'água a altas pressões (*spunlaced ou hidroentangled*) ou ainda costura (*stichbonded*) na qual a união das fibras acontece pela introdução de linhas de costura ou ainda a costura se dá com as próprias fibras do NW.

- Químico (adesão): a união das fibras ocorre pela aplicação de resinas (*Resin Bonded*);

- Térmico (coesão): a consolidação da manta se dá através da ação da temperatura, ocasionando a fusão das fibras/filamentos (*Thermobonded*).

Os NW consolidados já estão prontos para uso e são dispostos em grandes rolos, conhecidos como “*Roll good*”, mas a fim de melhorar a estética e desempenho, estes podem receber processos de acabamento sendo o quarto estágio. Dentre os processos de acabamento estão o corte em menores larguras e peças, a confecção (produção de peças de vestuário), a dublagem, a impregnação, a cobertura, a adesivagem, o tingimento (processo para conferir cor aos fios ou tecidos e, conseqüentemente aumentar o valor do produto), a estampagem (impressão sobre substratos têxteis, matérias, corantes ou produtos químicos capazes de colorir ou descolorir áreas pré-determinadas), a impressão, a chamuscagem (queima de pelos superficiais de fios e tecidos), a laminação, dentre outras. Segundo Cumbi (2013), muitas são as modificações para melhorar a performance, mas considera-se que ainda existem muitas possibilidades a serem exploradas em relação à estética, tais como: união de NW de superfície lisa com estruturas em forma de rede, ou que incluam alto relevo, por exemplo, ou ainda, inserindo cores e estampas diferenciadas, originando produtos distintos.

De acordo com ABINT (2013), independente da fibra/filamento ou processo de fabricação, quanto à gramatura, os NW classificam-se em: (i) leve (menor que 25 g m^{-2}); (ii) médio (entre 26 a 70 g m^{-2}); (iii) pesado (entre 71 a 150 g m^{-2}); (iv) muito pesado (acima de 150 g m^{-2}). Conforme Rewald (2018) a gramatura dos NW varia de 7 g m^{-2} até aproximadamente 4000 g m^{-2} .

2.4 UTILIZAÇÃO DE NÃOTECIDO EM PROCESSOS DE FILTRAÇÃO

Um filtro é formado por material poroso e permeável usado para separar partículas de um determinado fluxo que passa através dele. Os têxteis exercem um papel relevante como meio filtrante (ANAND; RUSSEL; 2007). Até a década de 1950, os têxteis usados no processo de filtração eram compostos basicamente de fibras de vidro, lã e algodão (KOTHARI; SINGH, 2007). Giroud (1981) apresenta algumas aplicações na área de engenharia usando têxteis como filtro.

- Filtração de fluido carregando partículas em suspensão: lagoas de decantação, preenchimento hidráulico, barreiras e dutos de armazenamento;
- Concreto fresco: encamisamento de estacas e proteção de taludes;
- Drenagem: filtro de base, filtro de trincheiras, filtro de chaminé e filtros associados a dutos;
- Poços: poços de bombeamento;
- Filtros em estruturas geotécnicas: muro de contenção, gabiões, dreno de pé, filtro em barragem zoneada e revestimento de canal;
- Adensamento: dreno vertical e dreno horizontal;
- Filtros associados à proteção: rochas e blocos de concreto.

A área de filtração sofre enorme modificação tendo em vista o uso das fibras sintéticas e a tecnologia de NW, gerando considerável economia, pois diminui os custos de fabricação dos equipamentos, além de proporcionar um ambiente mais limpo (CARSON, 2002).

A primeira obra de engenharia que utilizou um NW como elemento filtrante foi na década de 1950, em que filtros granulares foram substituídos por mantas de NW (BHATIA; SMITH, 1996). Daí em diante o uso de NW em sistemas de filtração tem sido cada vez mais frequente, considerando o bom desempenho, facilidade de aplicação e baixo custo quando comparado com os filtros granulares (CHRISTOPHER; FISCHER, 1992). Tais filtros ainda favorecem a etapa de caracterização e melhor controle de qualidade, em relação a filtros granulares (URASHIMA; VIDAL, 1999). Ao longo do tempo se nota o crescente aumento do uso dos NW como meio filtrante, tendo em vista a ampla aplicabilidade no controle da poluição do ar e no tratamento de água, uma vez que são estruturas versáteis e flexíveis facilitando a projeção em diferentes formas (HUTTEN, 2007).

Pesquisas utilizando NW vêm sendo desenvolvidas para uso em processos de filtração rápida e também em biorreatores a membrana (MBR) para o tratamento de esgoto doméstico. Chang et al (2001) confrontaram o uso de três NW de fibra de polissulfona com porosidade de 1,5, 3 e 5 μm com membrana de polissulfona convencional, constatando que em termos de eficácia no tratamento, a disparidade relacionada ao declínio do fluxo foi irrelevante, pois todos apresentaram uma quantidade bastante pequena de matéria orgânica no meio filtrado, confirmando que os NW podem substituir a membrana no tratamento de águas residuais.

Ainda, quanto aos sistemas de tratamento de esgoto por MBR, Chang et al (2007), destacam que os NW utilizados para separação de sólido-líquido apresentam resistência à filtração menor que as membranas microporosas, porém, favorecem a formação de uma camada de lodo na superfície, sendo esta, fundamental para a eficiência do tratamento. Ainda Ren et al. (2010) salientam que o NW apresentou boa capacidade de filtração, alta performance de tratamento de esgoto, fácil operacionalização e custo reduzido, se tratando de uma solução vantajosa para uso em áreas rurais e de pequenas populações.

Os MBR viabilizam efluentes de notável qualidade para a reciclagem de água doméstica ou industrial, apresentando alta performance de conservação de água, porém o custo dispendioso da membrana e o alto consumo de energia são as principais barreiras para sua aplicação em larga escala (MENG et al., 2009). Todavia, segundo Chuang (2011) o uso da tecnologia de não tecido já era apresentada como solução de custo bastante acessível além de comprovar grandes benefícios para o desenvolvimento de MBR.

Além de apresentar boa capacidade de filtração, permeabilidade e absorção, engloba as exigências voltadas para a redução da poluição do ar e da água, atendendo as legislações que visam a redução de descargas industriais e fluxos de resíduos, cuidando assim do meio ambiente e da saúde humana (KELLIE, 2016).

A qualidade e a segurança do ar também requerem atenção redobrada, tendo em vista que a poluição do ar é considerada uma das ameaças mais relevantes que os indivíduos enfrentam, sendo que necessitam de proteção individual eficaz em locais poluídos (YIFA et al., 2017). Alguns poluentes do ar são contaminantes resultantes da ação humana tais como: emissão de veículos, queima de combustíveis e poluentes de algumas áreas industriais serem mistos e bastante complexos (Zhang et al., 2016). Além disso, os poluentes existentes no ar se apresentam em forma de partículas, gotículas de líquidos, gases ou misturas destes (TIAN et al., 2018). Portanto, é necessária a criação de materiais polivalentes a fim de atender a filtração de poço e locais de adsorção de alta densidade, como também forte compatibilidade de ligação

para poluentes aromáticos gasosos. Para isso, Xiaolong et al. (2020) desenvolveram um NW de dupla funcionalidade atendendo as seguintes particularidades: elevada afinidade para poluentes aromáticos em estado gasoso, grupos funcionais apresentando alta carga positiva, favorecendo a adsorção eletrostática, porosidade adequada, estabilidade, além de alto desempenho de adsorção e filtração. Ainda, o NW serve para filtro de máscara, protegendo simultaneamente de compostos orgânicos voláteis e partículas.

A parcela do segmento de NW que mais se expande é a voltada para processos de filtração, especialmente em setores automotivos e industriais, entre outros (ABIT, 2017).

2.5 NÃO TECIDO EMPREGADO PARA A FILTRAÇÃO DE ÁGUA

Alguns estudos usando NW como elemento filtrante aplicado para o processo de filtração de água já foram testados, mostrando viabilidade e eficiência. Neste item são descritos alguns dos referidos estudos.

A estrutura de NW é composta por uma rede aleatória de fibras de sobreposição criando poros múltiplos conectados, portanto é amplamente utilizado como elemento filtrante para separar sólidos de líquidos, por ter particularidades definidas tais como: tamanho dos poros, porosidade, grau hidrofílico e outras (CHUANG et al., 2011). Ademais, materiais sintéticos tanto quanto os materiais granulares, apresentam poros e filamentos ou fibras, além de manter uma habilidade drenante eficiente, permitindo adequada capacidade de fluxo, sem aumentar significativamente a carga hidráulica e promovendo a retenção das partículas contidas na água (CUMBI, 2013).

No tratamento de água, a tecnologia de NW começou a ser usada juntamente com areia, apresentando resultados satisfatórios em relação à qualidade da água filtrada, facilidade de operação e custos envolvidos (SANTOS, 2015). Paterniani (1991) realizou estudo do uso de estrutura de NW sintético no topo da camada de areia em filtros lentos, concluindo que a utilização de NW possibilitou o emprego de taxas de filtração mais altas que as tradicionalmente utilizadas no processo de filtração lenta, sem diminuir a qualidade da água tratada, reduzindo a espessura da camada de areia, simplificando a limpeza e manutenção do filtro, além de proporcionar o aumento da duração das carreiras de filtração.

Carreiras mais longas favorecem a eficiência do tratamento, pois impactam no tempo de ação dos mecanismos físicos, químicos e biológicos. Ademais, o uso de NW no topo do leito de filtração facilita a higienização dos filtros e diminui os custos decorrentes do processo, tendo

em vista que a higienização é a etapa mais onerosa ao se tratar de filtração com areia. Outro fator importante é relacionado à facilidade de retirada, higienização e realocação do NW no filtro (DI BERNARDO et al., 1999).

Em relação ao local de acomodação de NW no sistema de filtração, constatou-se que a tecnologia alocada no topo do filtro lento apresenta melhor performance em relação à colocada no topo do meio granular do pré-filtro. Diferença essa, influenciada possivelmente pela camada biológica que se forma nas estruturas dos NW quando implantados diretamente no filtro lento (DI BERNARDO; BOJORGE, 2000).

O NW quando colocado na base do filtro, diminui a camada de areia em aproximadamente 30 cm, atenuando também o valor de instalação, favorecendo o acesso de localidades menos favorecidas. Outrossim, a camada suporte sendo composta de NW facilita a redução da perda de carga, tendo em vista a porosidade do material aumentando assim, a duração da carreira de filtração (FERRAZ e PATERNIANI, 2002). Ainda sobre o uso da tecnologia em filtração lenta, Pereira (2005) comparou o sistema tradicional e com o uso de NW como pré-filtro, obtendo índices de redução dos parâmetros de turbidez e cor aparente de 38% e 41% respectivamente.

O NW, também já foi utilizado como membrana para remoção de bactérias e vírus. Para tal estudo, o NW foi combinado com uma camada de fibras de celulose ultrafina de 5 a 10 nm de diâmetro, oriundas da madeira, insumo este, de custo bastante acessível e cunho sustentável (SATO et al., 2011). A membrana resultante removeu bactérias (*Escherichia Coli*) além de vírus carregados negativamente que foram adsorvidos na camada superficial de carga positiva.

Foi avaliada a performance dos NW oriundos de fibras sintéticas, no tratamento de água quimicamente coagulada, objetivando o emprego do material em estações de tratamento de água com filtração rápida precedida por coagulação química, resultando na diminuição do tempo de floculação e aumento da velocidade de sedimentação (PÁDUA; DI BERNARDO, 1997). Alguns estudos também foram desenvolvidos com a finalidade de tratar a água da chuva através do uso de NW como meio filtrante. Assim, conforme Schujmann et al. (2010) foi realizada uma pesquisa usando meios granulares juntamente com NW alocados em coluna de bancada em laboratório. A água de estudo era água da chuva, a qual atingia 10, 15 e 20 cm acima do geotêxtil. O tempo de escoamento era cronometrado e o índice de turbidez era medido antes e após a filtração. Usando o NW juntamente aos grânulos, o índice de remoção da turbidez atingiu 77%, enquanto usando somente meios granulares, a remoção da turbidez obteve 61%

de eficácia. Portanto, constatou-se que a utilização do NW proporcionou melhores resultados na remoção da turbidez, além da redução da taxa de filtração.

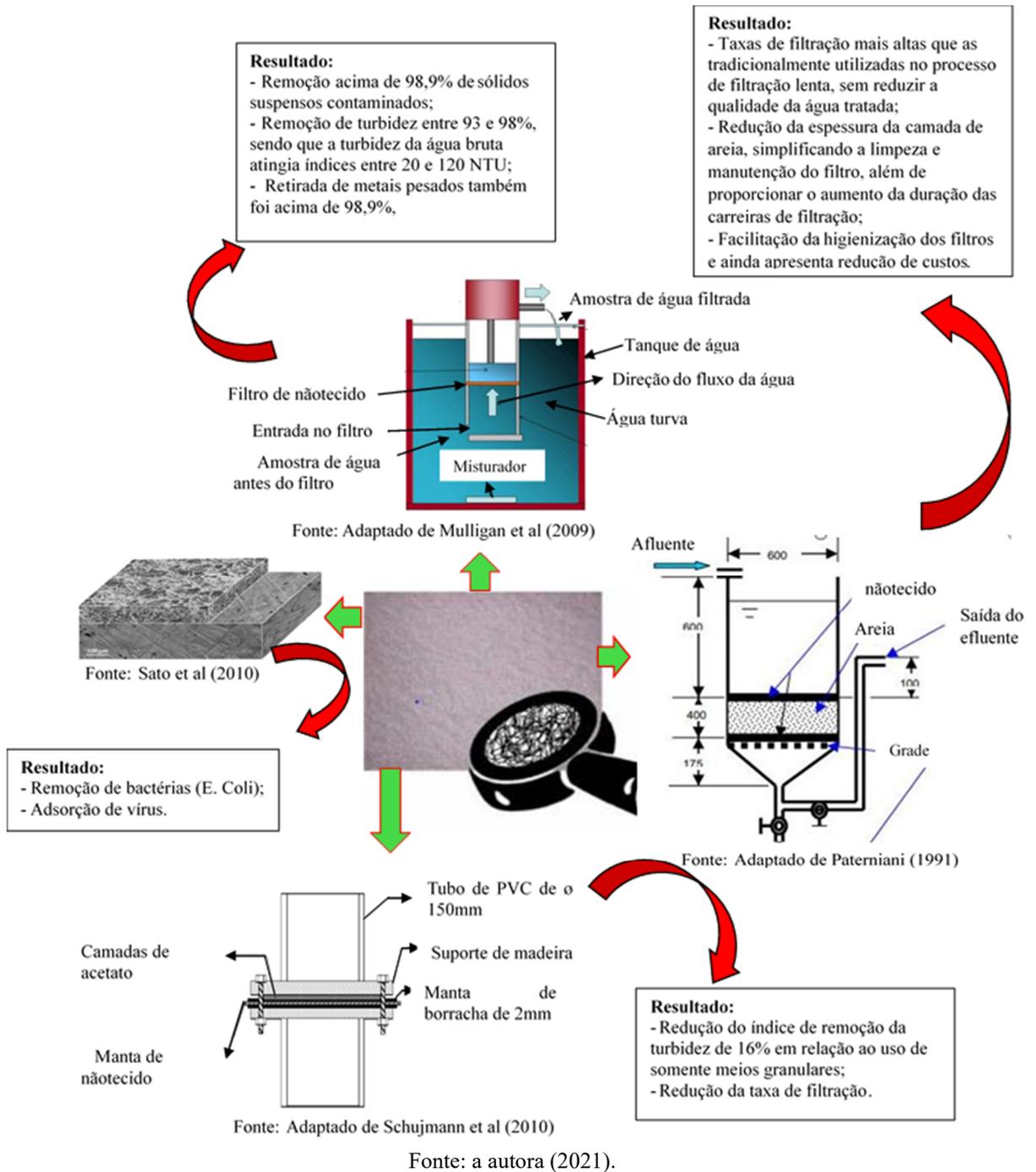
Tammiseti (2010) verificou o quanto as camadas de NW implicam na eficácia do processo de remoção de turbidez durante o processo de filtração da água, objetivando na remoção de partículas e bactérias. Para esse estudo foram usados NW oriundo de fibra de algodão, seda, poliéster e serapilheira (fibra pouco comum), tendo em vista os fatores tais como: disponibilidade, tamanho dos poros e custo. Os ensaios foram feitos com 20 L de água. Foram utilizadas 12 amostras dos NW com 1, 2 e 3 dobras, totalizando 48 amostras. Após análises, o autor concluiu que quanto maior o número de dobras (camadas), maior o percentual de remoção de turbidez.

Já, com relação a aplicação da tecnologia para filtração de águas superficiais, foi realizado um estudo em escala laboratorial, usando NW variando de 0,5 a 1,4 mm de espessura acoplado em uma coluna de filtração flutuante. Tal sistema, operou com vazão de 10 L min^{-1} e fluxo ascendente, obtendo a remoção acima de 98,9% de sólidos suspensos contaminados, remoção de turbidez entre 93 e 98%, sendo que a turbidez da água bruta atingia índices entre 20 e 120 NTU. Além disso, o índice de retirada de metais pesados também foi acima de 98,9%, devido a aderência dos metais aos sólidos suspensos contidos na água (MULLIGAN et al., 2009).

Segundo Santos (2015) os NW sintéticos têm se demonstrado ser uma ótima alternativa em termos de redução de custos e facilidade de operação em sistemas de tratamento de água ou esgoto.

A Figura 5 apresenta um esquema de aparatos experimentais utilizando nãotecido no tratamento de água e os resultados alcançados.

Figura 5 - Esquema de equipamentos utilizando não tecido para a filtração de água e o resultado de cada estudo.

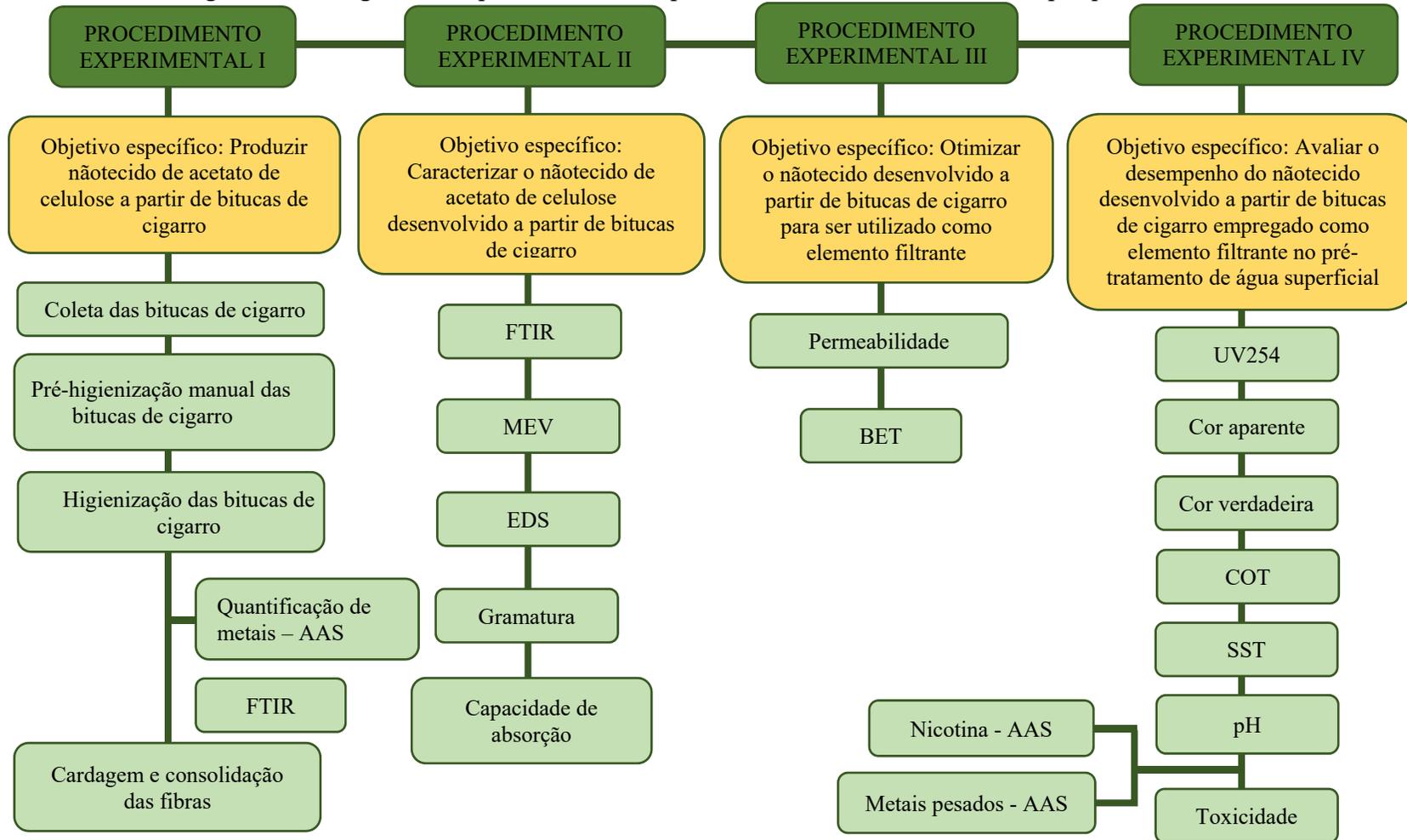


3 MATERIAIS E MÉTODOS

Essa pesquisa foi desenvolvida junto a diferentes laboratórios, sendo o Laboratório de Reuso das Águas (LaRA), o Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) e o Laboratório de Potabilização das Águas (LAPOA), todos pertencentes ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), bem como, o Laboratório Físico da Ecofiber – Altenburg Têxtil.

Esse estudo foi delineado baseado em quatro procedimentos experimentais (PE) distintos, vinculados com a produção do NW de BC, posteriormente a caracterização e otimização do NW oriundos de BC, bem como a avaliação do desempenho do NW empregado na pré-filtração de água superficial. Previamente a realização dos quatros PE realizou-se a etapa de produção do NW oriundo das BC. Na Figura 6 apresenta-se o fluxograma da metodologia aplicada ao trabalho, com os procedimentos experimentais e suas finalidades.

Figura 6 - Fluxograma dos procedimentos experimentais, conduzidos durante a pesquisa e sua finalidade.



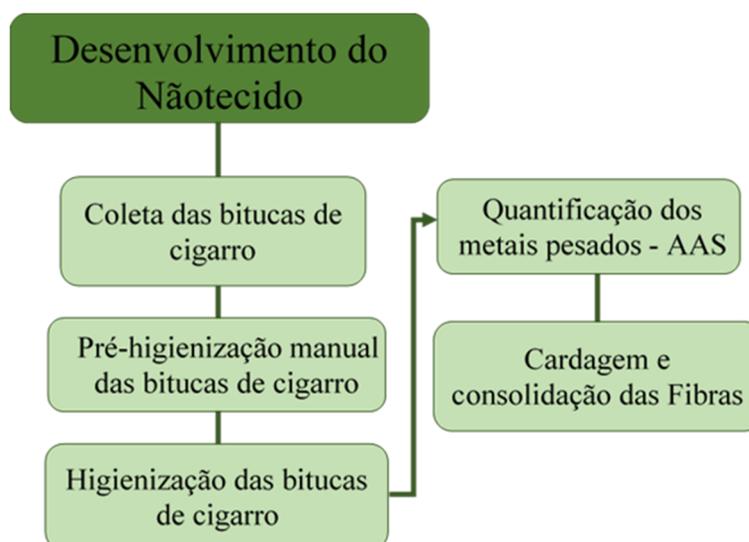
Fonte: a autora (2021).

3.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL I

3.1.1 Produção do não tecido oriundo de bituca de cigarro

Para a produção do NW oriundo das BC, diferentes etapas foram desenvolvidas até a obtenção do NW. Primeiramente, foi realizada uma limpeza manual nas BC, posteriormente foi realizado o cozimento com a finalidade de obtenção da fibra de acetato de celulose higienizada. Em seguida as BC foram avaliadas em termos da presença, quantificação e percentual de remoção dos metais pesados mais comumente encontrados nas BC segundo a literatura. Em seguida foi realizado o processo de cardagem e finalmente a consolidação das fibras. Na Figura 7 apresentam-se de forma simplificada as principais etapas para a produção do NW.

Figura 7 - Etapas de produção do não tecido.



Fonte: a autora (2021).

3.1.2 Higienização das bitucas de cigarro

As BC foram coletadas em coletores localizados dentro da UFSC e pelo “Projeto Ilha sem Bitucas”, realizado no empreendimento turístico Ilha de Porto Belo em Porto Belo/SC. Após as coletas, independente de marca e fonte das BC, foi realizada uma pré-higienização, removendo de forma manual o papel externo, a extremidade de acetato fundida, além dos resíduos de cinza e tabaco.

Para a higienização das BC foi utilizada a metodologia proposta por Salem (2010), adaptada para o tratamento têxtil da fibra de algodão. Essa adaptação foi realizada porque a principal matéria-prima da BC é celulose, similar a fibra têxtil do algodão.

Posteriormente a limpeza das BC, foram realizadas duas etapas de cozimento. Em cada etapa, foram adicionados a um recipiente de aço inoxidável, 500 g de BC, 32 g de bicarbonato de sódio, 100 mL de peróxido de hidrogênio (6%), e 5 L de água. Essa mistura foi levada ao ponto de ebulição por um tempo de 30 min. Logo após o material foi lavado com água e colocado em repouso em solução de 5 L de água e 200 mL de hipoclorito de sódio (2,5%) por 12 horas. Após o tempo de repouso o material foi lavado novamente com água, centrifugado (Eletrolux - LTD11- 720 RPM 1000 RPM) e seco a temperatura ambiente por aproximadamente 48 horas. A representação do processo de higienização das BC é apresentada na Figura 8.

Figura 8 - Representação do processo de higienização das bitucas.



Fonte: a autora (2021).

3.1.3 Quantificação de metais pesados nas bitucas de cigarro

Em ordem de identificar a presença de diferentes metais pesados nas amostras de BC, foram realizadas análises de diferentes metais, sendo eles: cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn), ferro (Fe), cobalto (Co), cádmio (Cd), e chumbo (Pb). Essas análises foram realizadas em triplicata para três amostras distintas. Para se obter uma amostra de referência (branco) as análises foram conduzidas com BC *in natura* não fumadas (amostra que contém todos os constituintes exceto o analito), BC higienizadas e BC não higienizadas.

Para a quantificação dos metais foi realizada digestão ácida seguindo recomendações do método da EPA 3050 e 3051 (GÜVEN; AKINCI, 2011). Foram pesados 5 g de cada amostra (BC *in natura*, BC higienizadas e BC não higienizadas) e foram adicionadas 25 mL de água ultrapura para cada amostra em béqueres de teflon. Posteriormente, lentamente foram adicionados 1,5 mL de ácido nítrico e 1,5 mL de peróxido de hidrogênio para cada amostra e completou-se com água ultrapura até atingir o volume de 50 mL. A solução foi colocada em

chapa aquecedora e coberta com um vidro de relógio, mantendo a temperatura entre 90 e 95 °C, por aproximadamente 2 horas. Em seguida foi acrescentado 1 mL de ácido clorídrico e água ultrapura (1:1) e reconduzido a chapa aquecedora até reduzir à metade do volume. Após a amostra ser retirada do aquecimento e atingindo a temperatura ambiente, filtrou-se com papel filtro qualitativo, completando o volume para 50 mL.

As amostras foram encaminhadas para a Central de Análise do Departamento de Química da UFSC para análise por espectrometria de absorção atômica com chama (AAS) Perkin Elmer modelo pinAAcle 900T. Os limites de detecção (LD) e limites de quantificação dos elementos são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Limites de detecção e limites de quantificação dos elementos.

Elemento	Limite de detecção	Limite de quantificação
Cu	0,02 mg L ⁻¹	0,08 mg L ⁻¹
Mn	0,02 mg L ⁻¹	0,07 mg L ⁻¹
Zn	0,006 mg L ⁻¹	0,02 mg L ⁻¹
Co	0,03 mg L ⁻¹	-
Pb	0,10 mg L ⁻¹	-
Cd	0,01 mg L ⁻¹	-

Nota: Abaixo do limite de detecção (-);
Fonte: a autora (2021).

3.1.4 Caracterização das bitucas de cigarro e da resina utilizada

3.1.4.1 Composição química das bitucas de cigarro e da resina

A composição química das BC e da resina utilizada foram avaliados a fim de verificar os grupos funcionais, modos vibracionais das moléculas e a intensidade das bandas das amostras. Para isso, foi utilizada a técnica de espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier de refletância atenuada (FTIR-ATR) (modelo FTLA 2000, marca ABB) na Central de Análises do Departamento de Engenharia Química da UFSC. As amostras foram colocadas diretamente sobre a janela do cristal a uma média de 20 varreduras no intervalo de 4000 a 650 cm⁻¹ e resolução de 4 cm⁻¹.

3.1.5 Cardagem e consolidação das fibras de acetado de celulose

Após o processo de secagem das BC, as mesmas foram submetidas ao processo de cardagem manual. A cardagem foi realizada por meio de uma carda, a qual é formada por duas placas de madeira compostas com fios de aço, conforme apresentado na Figura 9. As placas se movimentam em sentidos opostos, desagregando as fibras e eliminando os nós, deixando a camada de fibras homogênea, formando assim uma espécie de manta, deixando o material pronto para o processo de consolidação do NW.

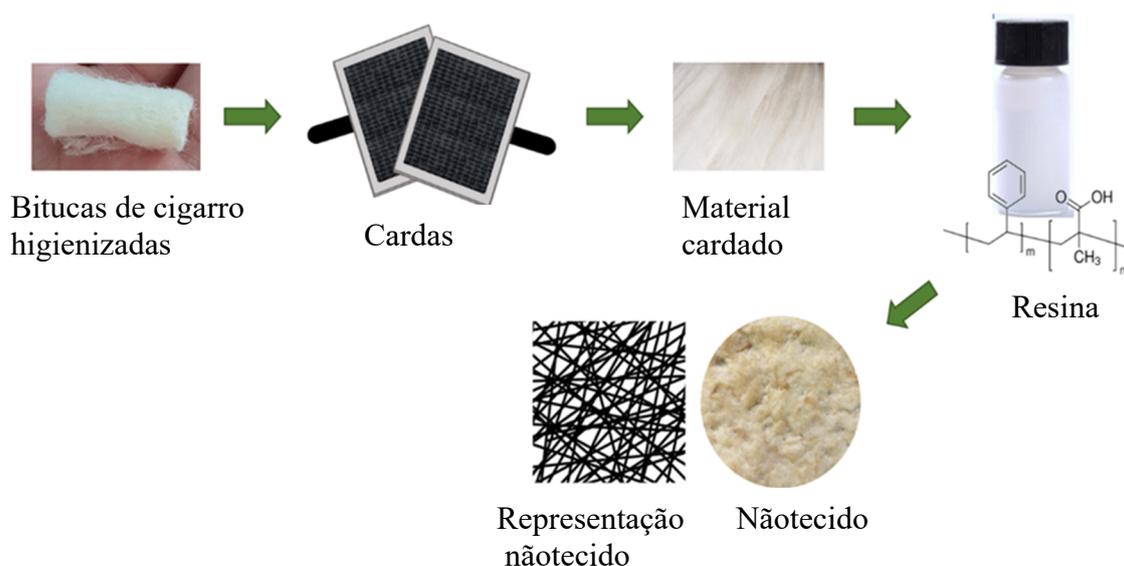
Figura 9 - Material utilizado para a cardagem das fibras.



Fonte: Araújo (1986).

Posteriormente à cardagem uma quantidade aproximadamente de 22 gramas, foram ligadas por via úmida usando uma resina acrílica (copolímero acrílico estireno-5-chloro-2-methyl-2H-isothiazol-3-one;2-methyl-2H-isothiazol-3-one) usando três concentrações de sólidos (10, 20 e 30%). Essas concentrações foram obtidas por meio de diluição em água, pois a resina apresentava concentração inicial de 40% de sólidos. Conforme Rewald (2018), a função da resina é unir as fibras umas às outras, oferecendo inúmeras propriedades, além da resistência, superfície plana e durabilidade. Além do mais a resina é amplamente utilizada na produção de NW, devido à capacidade de formação de filme, permeabilidade ao vapor de água e estabilidade ambiental (TAYLOR; CHIANTORE; LAZZARI, 2006). A representação gráfica da obtenção do NW é apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Representação gráfica do processo de obtenção do não-tecido.



Fonte: a autora (2021).

As concentrações de sólidos da resina foram obtidas através de refratômetro (Refratômetro Analógico Portátil – Faixa de Medição (ARLA32) – Modelo SBC10). O material umidificado com a resina foi espalhado em uma superfície metálica, e levado para secagem em estufa a 70 °C por 3 horas. Nesse sentido, foram produzidas três amostras de NW baseadas na concentração do teor de sólidos da resina, sendo de 10, 20 e 30%, sendo denominada nesse trabalho a amostra com 10% de teor de sólidos de NW 10, a amostra com 20% de sólidos de NW20 e a amostra com 30% de teor de sólidos de NW30.

Após o processo de produção dos NW diferentes avaliações foram conduzidas nas amostras baseadas nos quatro PE conduzidos nesse trabalho. Além de avaliar os NW produzidos, as amostras de resina e BC foram avaliadas concomitantemente. As amostras de BC e resina foram avaliadas pela técnica de espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier de refletância atenuada (FTIR-ATR), a fim de verificar a interferência nos grupos funcionais dos NW, provocadas pelos grupos oriundos da resina e BC.

3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL II

Esta etapa foi desenvolvida para realizar a caracterização dos NW produzidos, buscando identificar parâmetros de projeto para a aplicação do mesmo como elemento filtrante. Para isso, diferentes avaliações foram conduzidas ao logo do estudo em amostras dos NW.

3.2.1 Caracterização dos nãotecidos

3.2.1.1 *Composição química dos nãotecidos*

Os grupos funcionais, modos vibracionais das moléculas e a intensidade das bandas das três amostras de NW foram avaliados através da técnica de espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier de refletância atenuada (FTIR-ATR) (modelo FTLA 2000, marca ABB) na Central de Análises do Departamento de Engenharia Química da UFSC. As amostras foram colocadas diretamente sobre a janela do cristal a uma média de 20 varreduras no intervalo de 4000 a 650 cm^{-1} e resolução de 4 cm^{-1} .

3.2.1.2 *Análise estrutural e morfológica dos nãotecidos*

A morfologia das diferentes amostras dos NW (NW10, NW20 e NW30) foi determinada através da técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV) (JEOL JSM-6390LV). Para isso, as amostras foram fixadas com fita de carbono em *stubs* e metalizadas com ouro, posteriormente foram realizadas as leituras.

Concomitantemente se determinou a composição elementar das amostras por espectroscopia dispersiva de Raios-X (EDS). Essas análises foram processadas no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME) da UFSC.

3.2.1.3 *Determinação da gramatura dos nãotecidos*

Para conhecer a gramatura das diferentes amostras de NW, foi realizada análise no laboratório físico da empresa têxtil Marisol S/A. As amostras foram condicionadas conforme a ISO 139 (ABNT, 2008) e analisadas de acordo com a NBR 12984 (ABNT, 2009).

3.2.1.4 *Capacidade de absorção dos nãotecidos*

O teste de absorção nas diferentes amostras do NW foi realizado em triplicata e seguindo metodologia adaptada de Kakonke et al. (2020). Essa análise foi conduzida a fim de avaliar a quantidade de líquido que pode ser retido pelos NW.

As amostras de NW foram embebidas com dois tipos de amostras de água separadamente, sendo uma água potável e a outra água da Lagoa do Peri (AB), situada em

Florianópolis. Após 60 minutos de submersão das amostras, estas foram suspensas por 15 minutos, a fim de escoar o líquido em excesso. Após o processo de escoamento, as amostras foram pesadas novamente e os pesos de antes (W1) e depois (W2) foram registrados. Para calcular a capacidade absorção das amostras de NW a Equação 1 foi utilizada.

$$\text{Capacidade de absorção} \left(\frac{\text{g de líquido absorvido}}{\text{g de NW}} \right) = \frac{W2-W1}{W1} \quad (4)$$

Onde:

W1: Peso do NW seco (g);

W2: Peso do NW após o processo de absorção (g).

3.2.1.5 Análises Estatísticas da capacidade de absorção dos nãotecidos

A análise estatística da capacidade de absorção foi realizada através do cálculo da correlação de Pearson considerando as variáveis x e y.

3.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL III

O procedimento experimental III foi desenvolvido para otimizar o NW produzido com a finalidade de empregá-lo como material filtrante em sistemas de pré-filtração de água superficial. Para isso após a caracterização das diferentes amostras de NW (NW10, NW20 e NW30), essa etapa foi realizada apenas na amostra NW10, devido aos resultados de consolidação das fibras, espectros de FTIR, como também pelas imagens referentes a morfologia e capacidade de absorção que se mostrou mais adequado para ser empregado como elemento filtrante. Foram avaliadas também a permeabilidade, área superficial e tamanho dos poros.

3.3.1 Confeção do elemento filtrante

Os ensaios foram realizados com 3 mantas cardadas que foram adicionadas a um recipiente de alumínio, resultando em uma única manta de aproximadamente 65 g de material. O material foi umedecido com resina contendo 10% de teor de sólidos. A seguir a manta foi enrolada em um tubo de filtro comercial e levada a uma estufa de secagem e esterilização

(marca *New Lab*) a 70 °C, onde permaneceu durante 12 horas. Após o elemento filtrante foi envolvido com uma tela polimérica a fim de dar maior proteção à camada fibrosa.

3.3.2 Área superficial e tamanho de poros do elemento filtrante

A avaliação da análise textural foi realizada por isotermas de adsorção/dessorção de nitrogênio à -196 °C, registradas utilizando *Quanta Chrome Instruments NOVA 2200e*. A amostra do NW avaliado foi desgaseificada a 175 °C durante 12 horas à vácuo antes da análise. Cada ponto da isoterma teve tempo de equilíbrio térmico de 600 segundos.

A área específica (S) da amostra foi calculada a partir da análise da faixa de pressão relativa (p/p₀ de 0,05 a 0,30) utilizando o método *Brünauer-Emmett-Teller* (BET). A distribuição do tamanho dos poros e o diâmetro médio dos poros (DP) foram avaliados pelo método de *Barrett-Joyner-Halenda* (BJH), aplicado ao ramo de dessorção da isoterma. O volume de poro (PV) foi medido a partir de um único ponto no ponto máximo de adsorção/dessorção (p/p₀ = 0,98). A análise foi realizada pela Central de Análises do Departamento de Engenharia Química da UFSC.

3.3.3 Permeabilidade do elemento filtrante

A permeabilidade é um dos principais parâmetros a ser considerado em aplicações envolvendo a filtração, pois se trata de uma medida que indica a maior ou menor facilidade com que um fluido submetido a um gradiente de pressão percola os vazios em um meio poroso (FREITAS; MANEIRO; COURY, 2003). A permeabilidade do NW foi testada utilizando o sistema de filtração descrito no item 3.4.2.

As amostras foram coletadas em triplicata após 10 minutos de acionamento do sistema de filtração, a fim de garantir total umidade do NW 10 e a estabilização da pressão do equipamento. As variáveis controladas foram: vazão em L min⁻¹ pressão de 50 psi, tempo de 1 minuto e área superficial do elemento filtrante de 0,0528 m². A permeabilidade foi determinada pela Equação 5.

$$J = (V/A \cdot t) \quad (5)$$

Em que:

J= fluxo da membrana (L m⁻² h⁻¹);

V= volume permeado (L);

A = área efetiva da membrana (m²);

t = tempo necessário para obter o volume permeado através da membrana (h).

3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL IV

Nessa etapa buscou-se avaliar o desempenho do NW atuando como elemento filtrante em um processo de pré-filtração de água superficial. Para isso, o elemento filtrante foi alocado em um sistema de filtração.

3.4.1 Água de estudo

A água utilizada nas análises foi coletada na Lagoa do Peri, Florianópolis, Brasil. Tal corpo d'água situa-se ao sudoeste da ilha de Santa Catarina e sua água abastece parte da população da costa leste e sul da ilha. De acordo com Pizzolatti (2014), a Lagoa do Peri é ligada ao mar pelo canal Sangradouro, com uma diferença de cota em torno de três metros, impedindo a chegada de água salgada na lagoa. Cabe ressaltar que se trata de uma água com elevada densidade de cianobactérias, principalmente as filamentosas. Segundo Dalsasso; Sens (2006); Schöntag (2015), a água da lagoa apresenta parâmetros de turbidez e cor verdadeira menores que 10 NTU e 20 uH, respectivamente.

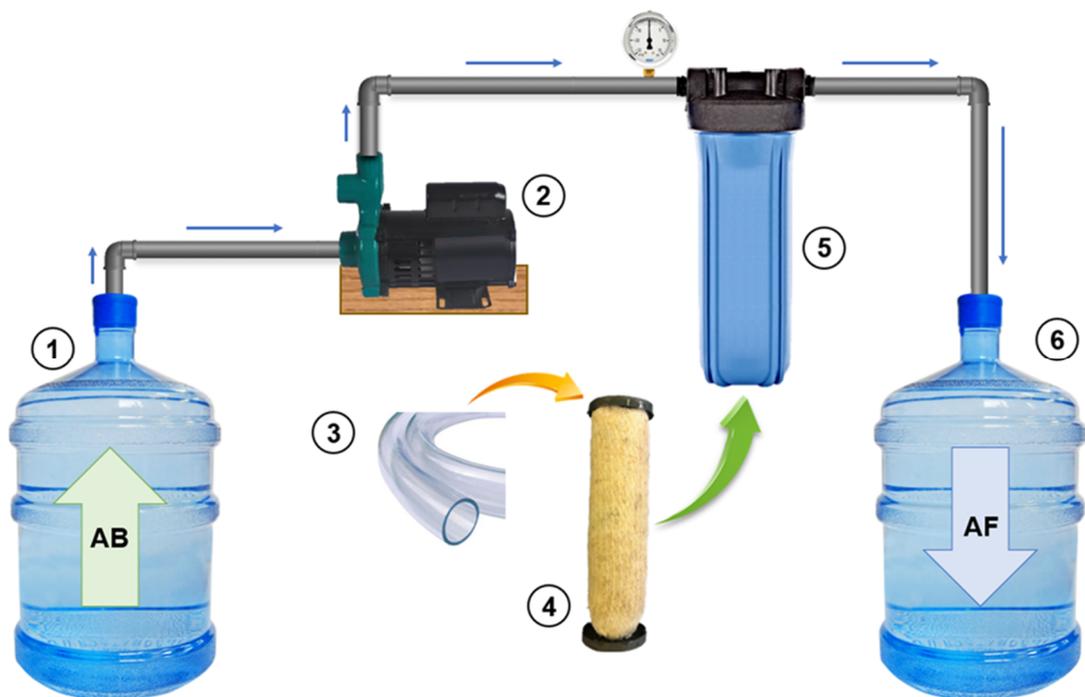
A amostra de água bruta (AB) foi coletada antes da entrada na Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, operada pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN).

3.4.2 Descrição do sistema de filtração

O sistema de filtração utilizado para o estudo pertence ao Laboratório de Potabilização de Águas (LAPOA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC. Durante todo o período de monitoramento de aproximadamente 150 dias, o sistema foi alimentado em média duas vezes por semana com água superficial da Lagoa do Peri, situada em Florianópolis, SC. O sistema de filtração possui os vasos de pressão para todos os componentes do pré-tratamento e para as membranas, integrando: filtro cartucho de 5 micron, carvão ativado, membrana de nanofiltração, membrana de osmose inversa; além de possuir manômetros nas entradas de todos os vasos de pressão. É possível o acionamento de todos os componentes de

pré-tratamento juntamente com o acionamento da membrana de nanofiltração ou da osmose inversa, havendo a impossibilidade do acionamento das duas membranas ao mesmo tempo. Para este trabalho, o sistema foi acionado conforme mostra a Figura 11, consistindo em um tanque para armazenamento da AB, uma bomba ($\frac{1}{4}$ CV) responsável pela condução da água por todo sistema, tubulação que conectava os elementos, uma estrutura de suporte contendo o elemento filtrante do sistema e o tanque de estocagem de água filtrada (AF). Para garantir que a água fosse conduzida por todo elemento filtrante, foi fixado à saída do cano de alimentação, 20 cm de mangueira de diâmetro interno de 25,4 mm e 2 mm de espessura. Essa mangueira ficou acondicionada no interior do tubo filtro. As vistas, longitudinal e transversal do elemento filtrante são mostradas na Figura 12. O processo foi caracterizado como filtração rápida com fluxo ascendente. A vazão média foi de $3,123 \text{ L min}^{-1}$, a pressão média da bomba de 48,4 psi e a taxa de carregamento hidráulico de $2340,11 \text{ mm d}^{-1}$.

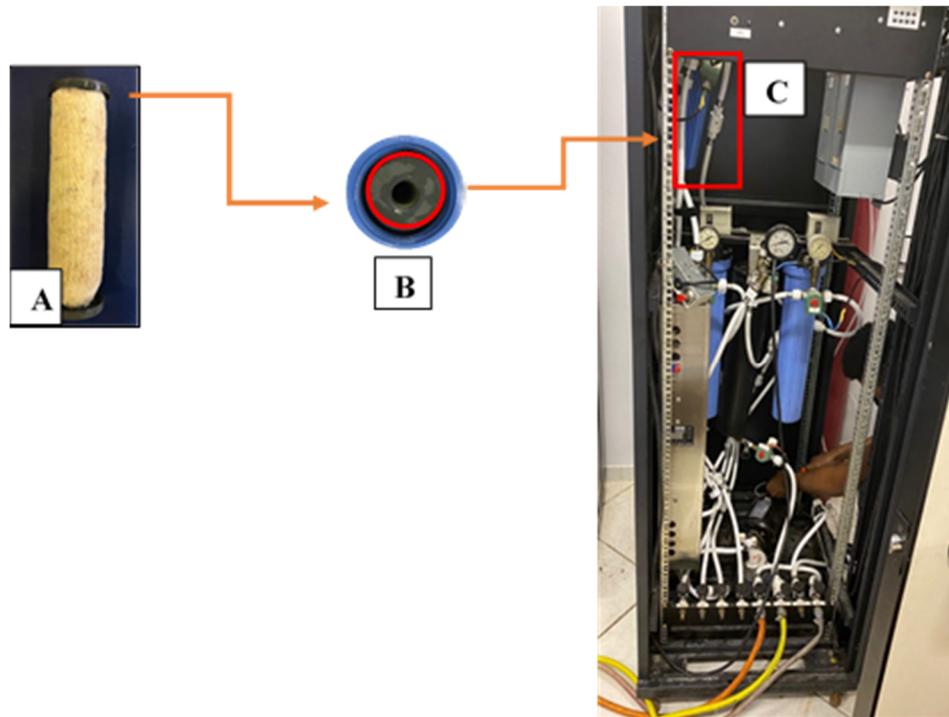
Figura 11 - Esquema do Sistema de Filtração.



- (1) Tanque de água bruta (AB); (2) bomba; (3) mangueira; (4) elemento filtrante; (5) estrutura de suporte do material de filtro; (6) tanque de água filtrada (AF).

Fonte: a autora (2021).

Figura 12 - Vistas longitudinal e transversal do elemento filtrante alocado no sistema de filtração.



(A) Elemento filtrante; B) Vista do elemento filtrante alocado no suporte; C) Elemento filtrante posicionado no sistema de filtração.

Fonte: a autora (2021).

3.4.3 Monitoramento do sistema de filtração

Objetivando verificar o desempenho do elemento filtrante no pré-tratamento de água superficial, foram analisados os parâmetros físico-químicos: UV_{254} , turbidez, pH, carbono orgânico total (COT), cor aparente e verdadeira e sólidos suspensos totais (SST) na AB e na AF. As amostras foram coletadas em frascos de vidro âmbar e de polietileno esterilizados, para evitar qualquer contaminação, com volume suficiente para realizar as análises determinadas. As análises de leitura direta, como turbidez, cor aparente, cor verdadeira e SST foram realizadas após a coleta das amostras sendo que a AB foi coletada e analisada simultaneamente junto da AF. As demais, como COT e UV_{254} , foram preservadas e armazenadas para análise posterior.

As análises foram realizadas segundo *Standard Methods* (APHA, WEF, AWWA, 2017). Os ensaios foram realizados em triplicata. Os métodos e equipamentos usados para as análises são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Parâmetros, equipamentos e método utilizado.

Parâmetro	Equipamento	Metodologia aplicada
Absorbância UV ₂₅₄	Espectrofotômetro (UV-Vis) HACH modelo DR/5000, em comprimento de onda de 254 nm.	Colorimétrico
Carbono orgânico Total COT (mg L ⁻¹)	Analizador Shimadzu modelo TOC-L (amostra líquida)	Análise de carbono orgânico através de combustão (680 °C) e leitura do subproduto CO ₂ em detector de infravermelho
Cor aparente (uH)	Espectrofotômetro HACH DR / 2800	Colorimétrico
Cor verdadeira (uH)	Filtração em microfiltro em fibra de vidro 0,4µm Leitura em espectrofotômetro HACH DR / 2800	Colorimétrico
pH	Medidor multiparâmetros HACH HQ40D Sonda pH	Potenciométrico
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	Gravimétrico	2540 B (APHA, 2017)
Sólidos suspensos totais (mgL ⁻¹)	Gravimétrico	2540 D (APHA, 2017)
Sólidos totais dissolvidos (mg L ⁻¹)	Condutivímetro portátil AK8306	2540 C (APHA, 2017)
Turbidez (NTU)	Turbidímetro HACH 2100N	Nefelométrico

Fonte: a autora (2021).

3.5 TOXICIDADE DA ÁGUA FILTRADA

3.5.1 Teste ecotoxicológico da água filtrada

Com a finalidade de avaliar se o NW10 proporcionava à AF algum efeito tóxico agudo, tais como liberação de metais e nicotina, foi realizado o teste toxicológico agudo com o micro crustáceo *Daphnia magna*. A análise foi realizada pelo Laboratório de Toxicologia Ambiental (LABTOX) do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

Toda metodologia para o cultivo e condução do teste de toxicidade foram realizados seguindo as normas NBR 12.713 (ABNT, 2010a) e ISO 6341 (ISO 2012). Os organismos, exclusivamente fêmeas, foram conservados em béqueres de 2 L contendo água reconstituída (meio M4), com densidade de um organismo adulto por 50 mL de meio. A cultura foi

acondicionada à temperatura de 20 ± 2 °C e fotoperíodo de 16 h. O micro crustáceo foi alimentado com uma cultura de algas (*Scenedesmus subspicatus*) em conformidade com a norma ISO, 1989 com aproximadamente 10^6 células mL⁻¹ por organismo três vezes por semana.

Para os testes de toxicidade aguda com *Daphnia magna*, a água oriunda da Lagoa do Peri, filtrada pelo NW10 foi posicionada em contato com os organismos. As amostras foram então suspensas e homogeneizadas em aparelho ultrassônico com sonda e microtip (Q500 Sonicator 500 W, QSonica, USA) aplicando 250 W por 5 min. Organismos recém nascidos (2–26 h) foram expostos a concentração de 100% de amostra e após 48 horas foi aferida a imobilidade dos mesmos. Os testes foram realizados em triplicata. Os dados analisados foram analisados estatisticamente pelo método *Trimmed Spearman-Kärber* e o resultado determinado como CE 50,48h, em concordância com EPA 821-R-02-012 (EPA, 2002a).

3.5.2 Presença de nicotina na água filtrada

Objetivando verificar a presença de nicotina na AF, utilizou-se a metodologia adaptada de Al-Tamrah (1999). As leituras foram realizadas no Espectrofotômetro HACH modelo DR/5000, pertencente ao Laboratório de Reúso das Águas (LaRA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC. Foi utilizada cubeta de quartzo, caminho ótico de 1cm, comprimento de onda de 251 nm e temperatura de ± 20 °C. O reagente utilizado foi nicotina líquida PA.

3.5.3 Análise e quantificação dos metais pesados na água filtrada

Visando analisar a presença, quantificação e percentual de remoção de metais pesados, foram avaliadas as amostras de AB e AF, seguindo as recomendações da EPA 3050 e 3051 (GÜVEN; AKINCI, 2011). As amostras foram analisadas em espectrômetro de absorção atômica com chama (SpectrAA 55 B) pertencente ao Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados baseados nos distintos PE. Primeiramente, os resultados referentes ao desenvolvimento de diferentes amostras dos NW, bem como a caracterização das amostras serão abordadas. Em um segundo momento, é elucidado os resultados referentes ao desempenho do NW aplicado na filtração de água superficial.

4.1 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL I

4.1.1 Higienização das bitucas de cigarro

A pré-higienização das BC foi realizada de forma manual, tendo em vista que não existe uma tecnologia para retirada do papel, assim como dos resíduos de cinzas e tabaco, conforme apresentada na Figura 13. A seguir foi realizado o processo de cozimento das BC, dando origem a um licor escuro, conhecido como efluente. Posteriormente ao processo de cozimento, as BC foram colocadas em repouso em solução de 2,5% de hipoclorito de sódio, originando como produto final um material clarificado (Figura 14 A, B e C). Após a secagem, foi obtido o material celulósico (MC) proveniente das BC higienizadas (Figura 14 D). O acetato de celulose, principal insumo da BC, quando posto em meio alcalino sofre reação de hidrólise resultando na formação de celulose (D'HENI TEIXEIRA et al., 2017). As BC correspondem em torno de 30% do comprimento do cigarro, portanto possuem uma grande reserva de celulose com base no material original e a celulose extraída tem o potencial, como celuloses de outras fontes, de ser transformada em filmes, membranas e fibras (ABU-DANSO; BAGHERI; BHATNAGAR, 2019; AKHBARIZADEH et al., 2021). Destaca-se que se obteve 50% de celulose em relação a massa inicial das BC utilizadas, isso aconteceu porque a reação removeu a lignina, além de dissolver outros contaminantes tóxicos presentes no material (D'HENI TEIXEIRA et al., 2017; MEHTA et al., 2006).

Figura 13 - Pré-higienização das bitucas de cigarro.



Fonte: a autora (2021).

Figura 14 - Etapas de cozimento, repouso em solução de hipoclorito de sódio e secagem do material celulósico das bitucas de cigarro.



A) Primeira etapa do cozimento; B) Segunda etapa do cozimento; C) Repouso em solução de hipoclorito de sódio; D) Material celulósico seco.

Fonte: a autora (2021).

4.1.2 Determinação e quantificação de metais pesados nas bitucas de cigarro

De forma geral, o processo de higienização diminuiu a concentração de metais pesados nas BC higienizadas. Na Tabela 4 apresenta-se a quantificação dos metais: Cu, Mn, Zn, Fe, Co, Pb e Cd nas BC higienizadas e não higienizadas. Esses elementos químicos assim como sua concentração presentes nas BC depende do processo de fabricação do cigarro, variando conforme a marca e fabricante (ABU-DANSO; BAGHERI; BHATNAGAR, 2019). Após o

processo de higienização das BC, o metal que apresentou maior redução foi o Fe pois passou de $173,04 \pm 6,53 \text{ mg Kg}^{-1}$ na amostra de BC não higienizada para $20,98 \pm 2,04 \text{ mg Kg}^{-1}$ na amostra higienizada, resultando em uma remoção de 87,90%. O Cu apontou uma remoção de 41,49% na amostra higienizada, enquanto que o Zn mostrou uma remoção de 65,51%. Já o Mn não foi detectado na amostra após a higienização. Com relação aos metais Co, Pb e Cd, não foram detectados em nenhuma das amostras. Segundo d'Henri Teixeira et al. (2017) os álcalis são usados para higienização de BC, e são responsáveis por dissolver a cinza e todos os produtos químicos adsorvidos no filtro, hidrolisar o acetato de celulose em celulose, além de remover a lignina do fumo remanescente e liberar sua celulose, portanto a remoção dos metais está associada ao tratamento de higienização adotado no estudo.

Tabela 4 – Quantificação, desvio padrão e percentual de remoção dos metais pesados encontrados nas bitucas de cigarro não higienizadas e higienizadas.

Metal n=15	BC não higienizadas (mg Kg⁻¹)	BC higienizadas (mg Kg⁻¹)	Eficiência de Remoção média (%)
Cu	$3,88 \pm 0,19$	$2,27 \pm 0,43$	41,49
Mn	$15,97 \pm 0,63$	ND	100
Zn	$7,22 \pm 0,19$	$2,49 \pm 0,01$	65,51
Fe	$173,04 \pm 6,53$	$20,98 \pm 2,04$	87,90
Co	ND	ND	-
Pb	ND	ND	-
Cd	ND	ND	-

Nota: Não detectado (ND);
Fonte: a autora (2021).

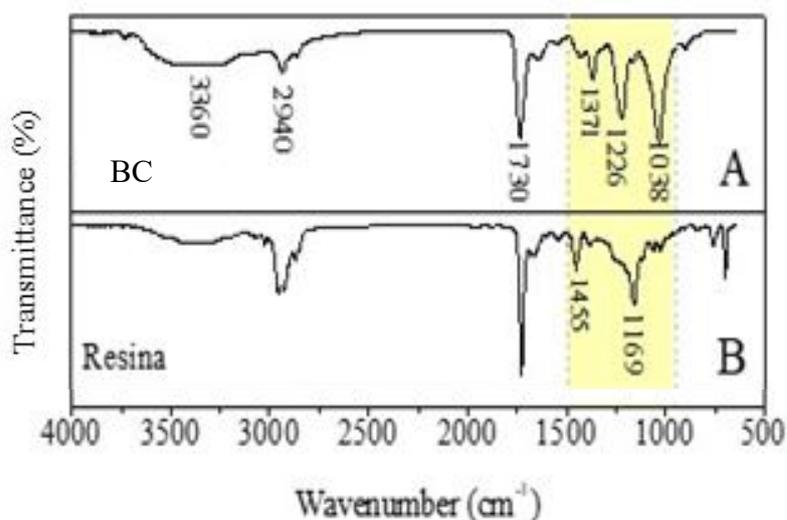
4.1.3 Caracterização das bitucas de cigarro e da resina

4.1.3.1 Composição química

Para a detecção dos grupos funcionais presentes nas BC e na resina utilizou-se a técnica de Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR). Nesta técnica, aplica-se radiação infravermelha à amostra. Alguns raios são absorvidos enquanto outros apenas atravessam a amostra, ou seja, são transmitidos. Como cada material absorve e transmite diferentes espectros no infravermelho, esta técnica é capaz de fornecer uma impressão específica para cada amostra, ou seja, os grupos funcionais presentes na amostra. Portanto, a funcionalização de um material pode ser evidenciada através do aparecimento das bandas

específicas dos grupos funcionais presentes na molécula. Após as análises, observaram-se modificações espectrais mais evidentes na região de 1000 a 1500 cm^{-1} . Na Figura 15 A, referente à BC nota-se o surgimento de três bandas sendo eles 1038, 1226 e 1371 cm^{-1} , caracterizando grupos de acetilados, acetato, e celulósicos, respectivamente, evidenciando assim, a caracterização desse material como acetado de celulose (CAI et al., 2013). Referente à resina (Figura 15 B), observa o surgimento da banda 1169 cm^{-1} caracterizado como vibração de estiramento em C-O-C do grupo éter e da banda 1455 cm^{-1} , referente ao estiramento de C-O do grupo estireno (TAVARES, 2009). Constata-se também o enfraquecimento da banda 1371 cm^{-1} pertencente à deformação angular dos grupos C-H, a diminuição da banda 1226 cm^{-1} referente ao grupo acetilado, além do desaparecimento da banda referente à ligação O-H, explícito em 1038 cm^{-1} presente em estruturas celulósicas.

Figura 15 - Espectros FTIR das bitucas de cigarro (A) e da resina (B).



Fonte: a autora (2021).

O número de onda, os tipos de vibrações assim como a intensidade das bandas obtidas a partir do espectro FTIR são demonstrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Número de onda, tipos de vibrações e intensidade de banda referente as bitucas de cigarro e resina, obtidos a partir do espectro FTIR.

Amostra	Número de onda (cm⁻¹)	Tipos de vibrações	Intensidade (%)
BC; Resina	3360	v(O-H)	BC: 1.45; Resina: 27.08
	2940	v(C-Hs)	BC: 6.62; Resina: 7.31
	1730	v(C=O)	BC: 9.92; Resina: 11.40
Resina	1455	v(C-O)	Resina: 4.89
BC	1371	δ(C-H)	BC: 4.87
BC	1226	v(C-O)	BC: 9.84
Resina	1169	v(C-O-C)	Resina: 23.35
BC	1038	δ(O-H)	BC: 20.05

Nota: Bitucas de cigarro (BC);

Fonte: a autora (2021).

4.1.4 Cardagem e consolidação das fibras

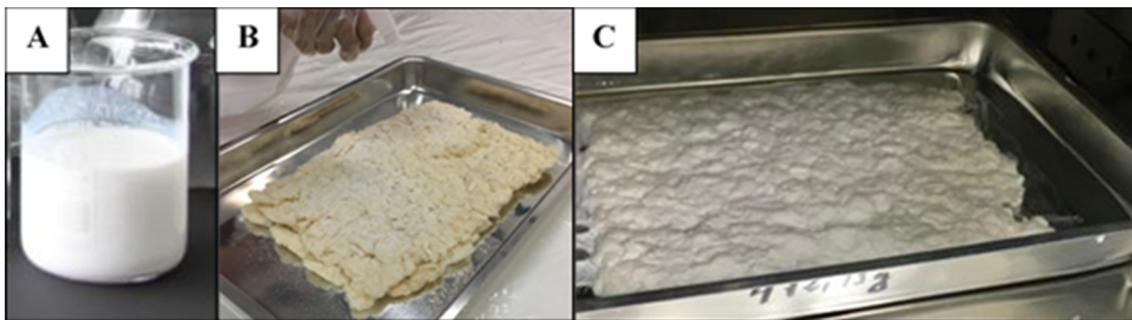
A cardagem é um processo mecânico responsável pela desagregação, limpeza e mistura das fibras, produzindo um véu ou fita de fibras adequando aos processos têxteis seguintes (ARAÚJO, 1996). A cardagem é apresentada na Figura 16. Observa-se que as fibras foram desagregadas tendo em vista o movimento contrário dos fios de aço contidos nas placas, formando uma camada de fibras dispostas aleatoriamente, configurando assim, a disposição de fibras de um NW. A camada de fibras se formou automaticamente entre os fios de aço. Após a formação de uma camada espessa, a mesma foi retirada manualmente das placas e levada a uma superfície metálica, na qual foi umedecida com soluções de resina com 10% de sólidos (NW10), 20% de sólidos (NW20) e 30% de sólidos (NW30), formando 3 NW diferentes. Em seguida, foram levadas ao processo de secagem, consolidação das fibras (Figura 17), originando os NW configurados de acordo com a Figura 18.

Figura 16- Processo de cardagem das bitucas higienizadas e secas.



Fonte: A autora (2021)

Figura 17 - Consolidação das fibras.



A) Resina; B) Camada de fibras; C) Fibras umedecidas com resina.

Fonte: a autora (2021).

Figura 18 - Imagem da configuração dos nãotecidos.



A) NW10; B) NW20; C) NW30.

Fonte: a autora (2021).

Após a consolidação das fibras, as amostras foram analisadas, detectando-se as características de cada NW, conforme destacadas na Figura 18 e ilustradas na Tabela 6. A configuração apresentada na Figura 18 mostra que quanto menor o fator de diluição da resina, maior a flexibilidade da camada, maior a uniformidade e maior a espessura. À medida que se aumenta o teor de sólidos da resina, há uma diminuição da espessura da camada, apresentando pontos falhos entre as fibras gerando acúmulos das mesmas em outros locais, além de acentuar a formação de filme sobre as fibras, encapsulando-as, acentuando o brilho e provocando rupturas da camada durante a confecção do elemento filtrante.

Tabela 6 – Características dos nãotecidos produzidos.

	Nãotecido com 10% de resina (NW 10)	Nãotecido com 20% de resina (NW 20)	Nãotecido com 30% de resina (NW 30)
Características dos nãotecidos	Flexibilidade	Rigidez	Rigidez, encapsulamento das fibras e brilho
	Uniformidade das fibras	Pontos com falta de fibras	Pontos de acúmulos de fibras
	Maior espessura	Menor espessura	Filme sobre as fibras
	Superfície lisa	Superfície irregular	Superfície irregular

Fonte: a autora (2021).

4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL II

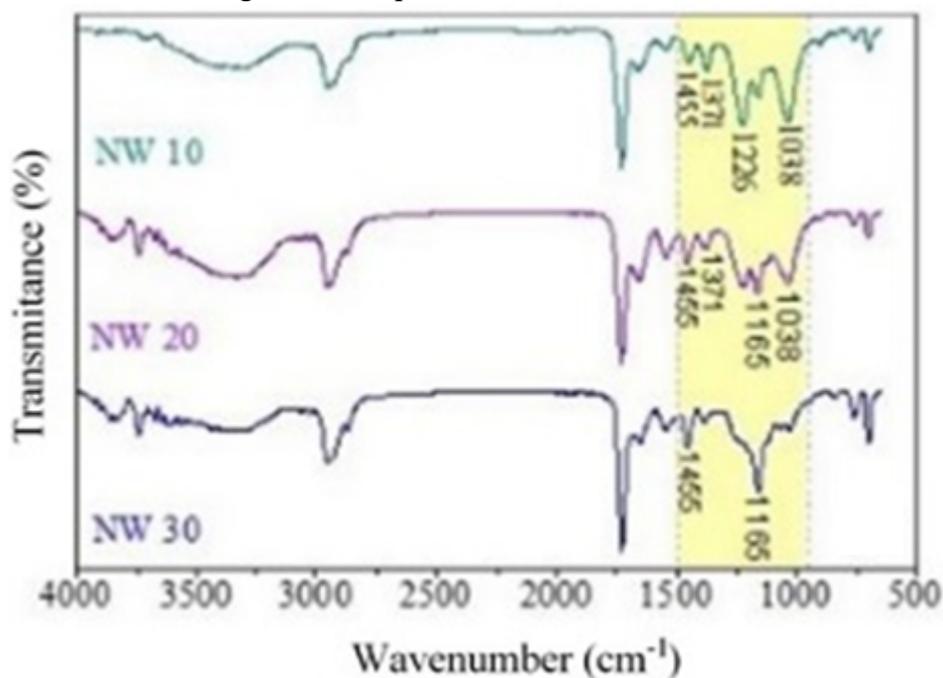
4.2.1 Caracterização dos nãotecidos

4.2.1.1 Composição química

Em ordem de avaliar os grupos funcionais presentes nas amostras, foram realizadas análises de FTIR para o NW10, NW20 e NW30 conforme mostrados na Figura 19. De forma geral, observou-se para todas as amostras, a banda 3360 cm^{-1} , o qual está associado às vibrações de estiramento das ligações O-H, atribuído a uma ligação de hidrogênio. A banda 2940 cm^{-1} é característico das vibrações de estiramento das ligações C-H alifáticas. O grupo carbonila surgiu a 1730 cm^{-1} caracterizado pela vibração de estiramento da ligação C=O sugerindo intensamente a preservação do acetato de celulose.

Ao confeccionar os NW usando proporções crescentes de teor de sólidos na resina (10%, 20% e 30%), identificou-se uma redução gradativa das bandas de 1038 cm^{-1} e 1226 cm^{-1} e o incremento da banda de 1165 cm^{-1} . Além disso, nota-se a redução da banda de estiramento de O-H de álcool em 1371 cm^{-1} e a ampliação do estiramento de O-H de ácido carboxílico em 1455 cm^{-1} . Nesse sentido identifica-se que à medida que a concentração de sólidos da resina aumentou, as bandas de absorção ficaram mais fracas assim como as vibrações de estiramento das ligações O-H. Portanto quanto menor a presença de hidroxilas, maior a rigidez do NW e menor a capacidade de absorção do material.

Figura 19 - Espectros FTIR dos nãotecidos.



Fonte: a autora (2021).

Ainda, o número de onda, os tipos de vibrações, assim como a intensidade das bandas obtidas a partir do espectro FTIR, são demonstrados na Tabela 7.

Tabela 7 - Número de onda, tipos de vibrações e intensidade de banda, referentes aos nãotecidos obtidos a partir do espectro FTIR.

Amostra	Número de onda (cm ⁻¹)	Tipos de vibrações	Intensidade (%)
	3360	$\nu(\text{O-H})$	NW10: 1.90; NW20: 2.29; NW30: 1.59
NW10, NW20 e NW30	2940	$\nu(\text{C-Hs})$	NW10: 7.25; NW20: 8.40; NW30: 4.03
	1730	$\nu(\text{C=O})$	NW10: 10.03; NW20: 8.16; NW30: 9.30
NW10, NW20 e NW30	1455	$\nu(\text{C-O})$	NW10: 3.13; NW20: 3.10; NW30: 3.64
NW10 e NW20	1371	$\delta(\text{C-H})$	NW10: 3.41; NW20: 2.66
NW10	1226	$\nu(\text{C-O})$	NW10: 12.07
NW20 e NW30	1165	$\nu(\text{C-O-C})$	NW20: 4.68; NW30: 20.27
NW10 e NW20	1038	$\delta(\text{O-H})$	NW10: 14.38; NW20: 8.40

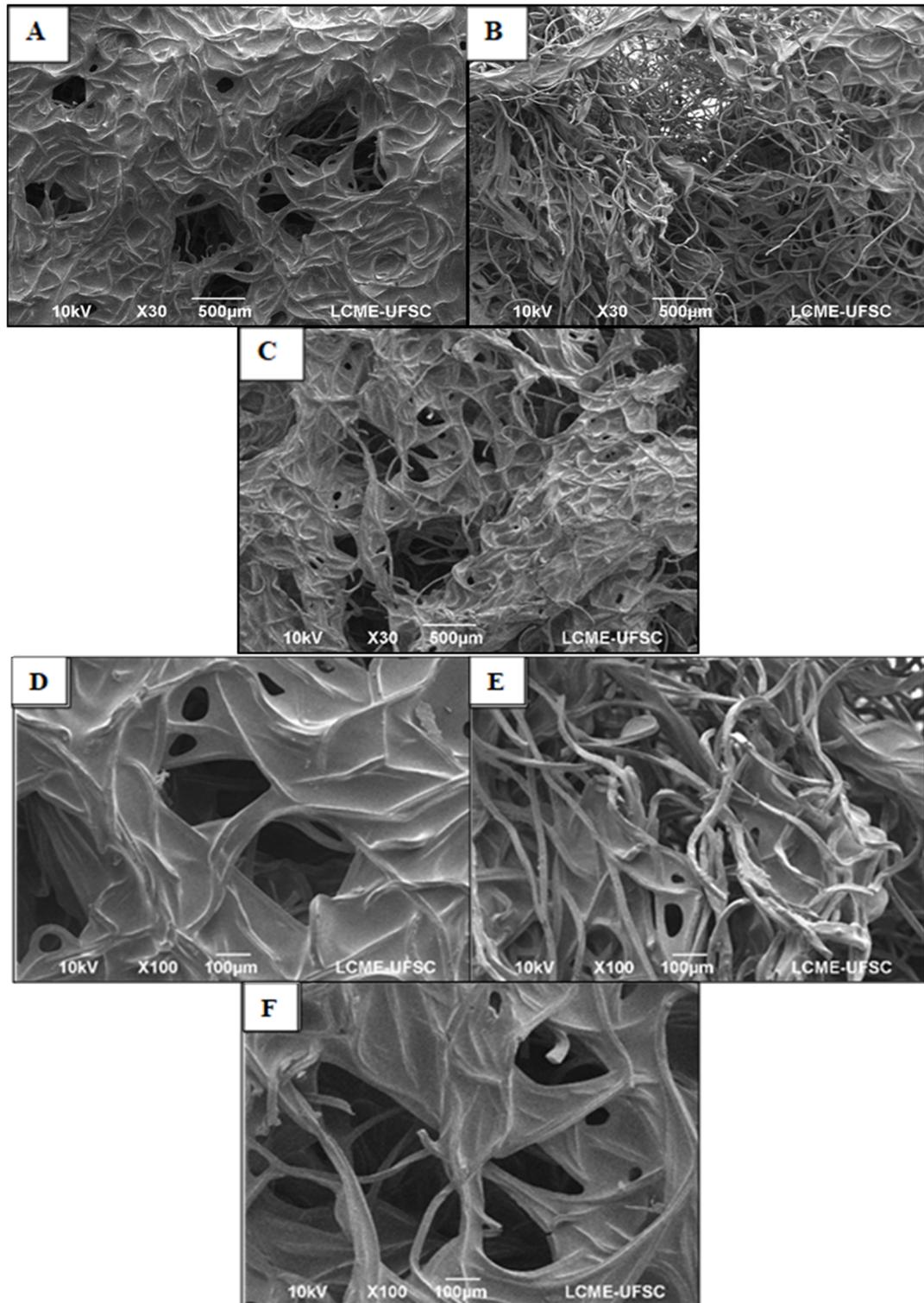
(ν) estiramento; (δ) deformação angular no plano.

Fonte: a autora (2021).

4.2.1.2 *Análise estrutural e morfológica*

Conforme apresentado na Figura 20, notou-se o desalinhamento das fibras e a formação de NW foi comprovada. Os NW são caracterizados por terem uma estrutura plana, flexível e porosa, composta por fibras desordenadas (DIXIT; ISHTIAQUE; ROY, 2020). A orientação da fibra em uma camada cardada é influenciada pelos parâmetros da máquina de cardar (ROY; ISHTIAQUE; DIXIT, 2020). Porém, no presente estudo, o processo de cardagem foi realizado manualmente, influenciando diretamente no arranjo das fibras. Essa influência pode ser observada nas características morfológicas das amostras, onde a amostra NW10 apresentou camada de fibra com maior uniformidade, melhor emaranhamento nos pontos de cruzamento das fibras, melhor revestimento de resina nas fibras e colagem das fibras além de uma superfície mais lisa (Figura 20 A e 20 D). Enquanto isso, a amostra do NW20 (Figura 20 B e 20 E), demonstrou uma camada com pontos de desconexão entre as fibras, além de falhas no encapsulamento das fibras, resultando em uma camada com plano não homogêneo causado pela não continuidade do revestimento com a resina (HEMAMALINI et al., 2020). A amostra do NW30 também apresentou uma superfície irregular devido a formação de pontos com aglomerações de fibras, porém apresentou uma conexão maior entre as fibras em relação ao NW20 (Figuras 20 C e 20 F). No entanto, o filme proporcionado pela resina sobre as fibras, apresentou uma espessura maior, atenuando o brilho conforme destacado na imagem. Acredita-se que o filme acentuou a rigidez do material, provocando rupturas na manta durante a confecção do elemento filtrante. Portanto, NW10 denotou a melhor formação de NW corroborando as imagens de configuração dos NW dispostas na Figura 18.

Figura 20 - Imagens microscópicas dos nãotecidos consolidados.



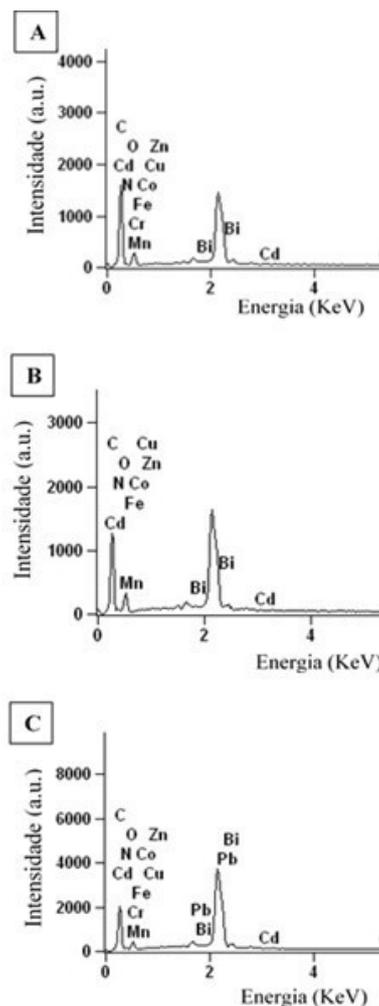
A) NW10 (ampliação 30 x); B) NW20 (ampliação 30 x); C) NW30 (ampliação 30 x);
D) NW10 (ampliação 100 x); E) NW20 (ampliação 40 x); F) NW30 (ampliação 100 x).

Fonte: a autora (2021).

Na análise de EDS conforme apresentado na Figura 21 foram encontrados alguns elementos na composição dos NW sendo que os mais abundantes são o oxigênio, o nitrogênio e o carbono. O pico elevado ao lado do pico referente aos 3 elementos encontrados em maior quantidade é referente ao bismuto. Conforme a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2006), na cultura do tabaco utiliza-se fosfato de apatita, um fertilizante de custo baixo que é responsável pelo gosto peculiar do cigarro. Esse fosfato libera alguns elementos tais como o polônio, o urânio, o bismuto e vários outros materiais que emitem radiação. Não foi investigada a presença e quantificação de cromo na análise de absorção atômica.

Analisando a presença de metais pesados nos NW, verificou-se que alguns elementos não foram detectados e outros apresentaram concentrações baixas, conforme apresentada na Tabela 8, corroborando com o resultado da análise de absorção atômica (Tabela 4).

Figura 21 - Espectroscopia de raios-x (EDS) dos nãotecidos.



A) NW10; B) NW20; C) NW30

Fonte: a autora (2021).

Tabela 8 - Percentual dos elementos detectados nos nãotecidos.

Elemento	NW10 Peso (%)	NW20 Peso (%)	NW30 Peso (%)
C	69,27 ± 0,77	33,27 ± 0,42	67,05 ± 0,77
O	12,02 ± 0,50	2,96 ± 0,11	6,05 ± 1,67
N	9,12 ± 2,44	2,46 ± 0,51	8,61 ± 2,20
Bi	7,99 ± 0,66	2,17 ± 0,19	12,30 ± 0,71
Mn	0,50 ± 0,50	-	2,44 ± 1,47
Fe	0,17 ± 0,17	0,20 ± 0,20	2,28 ± 2,05
Cr	0,29 ± 0,29	-	-
Cd	0,65 ± 0,65	0,17 ± 0,17	0,93 ± 0,71
Co	-	1,25 ± 0,90	0,33 ± 0,33
Cu	-	9,35 ± 4,69	-
Zn	-	48,17 ± 41,49	-

Fonte: a autora (2021).

4.2.1.3 Gramatura

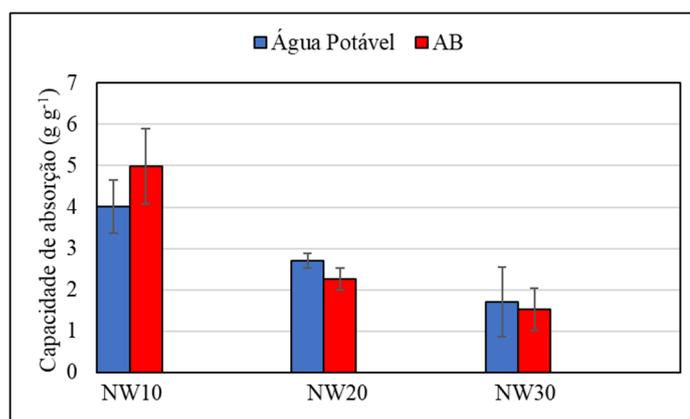
O peso de um NW é considerado uma das propriedades importantes na avaliação de seu desempenho (SENTHIL; PUNITHA, 2017). Os pesos obtidos nas amostras NW10, NW20 e NW30 foram 115 g m⁻², 112 g m⁻², 132 g m⁻², respectivamente. Assim, o resultado identificado mostrou que a concentração de sólidos da resina apresentou um comportamento diretamente proporcional ao aumento do peso, visto que o peso do NW30 cresceu consideravelmente em relação ao NW10 e NW20. Dessa forma, todos os NW produzidos neste estudo são caracterizados como pesados, de acordo com a classificação da Associação Brasileira da Indústria de NãoTecidos e Tecidos Técnicos (ABINT, 2019). O peso expresso em g/m² refere-se à relação entre massa e área do NW, fator diretamente ligado ao número de fibras e à densidade do material (MENDES, 2006). Portanto, considerando a mesma massa de fibras utilizada para a produção de NW, se percebe que a gramatura foi influenciada pela concentração de sólidos presentes na resina. Esse comportamento pode estar relacionado ao fato de que quanto menor a quantidade de sólidos na resina e quanto menor a gramatura, maior a uniformidade e coesão das fibras, além de o NW10 ter maior espessura e capacidade de absorção. O fato da gramatura referente ao NW20 se apresentar minimamente menor que a gramatura do NW10 pode estar relacionado aos pontos falhos de fibras expressos no NW20.

4.2.1.4 Capacidade de absorção

A fim de avaliar a utilização das amostras de NW como um meio filtrante, analisou-se a capacidade de absorção das amostras e para isso, utilizou-se dois distintos tipos de água (água potável e água bruta (AB)). As análises de capacidade de absorção dos NW foram realizadas em triplicata.

Os resultados das correlações de Person mostraram uma correlação inversamente proporcional entre o teor de sólidos da resina e sua capacidade de absorção de líquidos, ou seja, quanto maior o teor de sólidos da resina, menor a capacidade de absorção. Os valores de absorção variaram de 1,52 a 4,99 g g⁻¹ para AB e entre 1,71 a 4,01 g g⁻¹ para água potável. A maior capacidade de absorção foi obtida para NW10 (4,99 e 4,01 g g⁻¹) em relação a NW20 (2,25 e 2,70 g g⁻¹) e NW30 (1,52 e 1,70 g g⁻¹) respectivamente. Este comportamento ocorreu em ambas as amostras (água potável e AB). A fibra de acetato de celulose tem um caráter higroscópico (NOMURA et al., 1993). No entanto, a resina usada tem uma característica não higroscópica (TAYLOR; CHIANTORE; LAZZARI, 2006). Dessa forma, pode-se estabelecer uma relação na ordem em que quanto maior o teor de sólidos na resina, menor a capacidade de absorção (Figura 22).

Figura 22 - Capacidade de absorção das diferentes amostras de não tecidos.



Fonte: a autora (2021).

Após as análises referentes à consolidação dos NW, destaca-se que em todas as concentrações de resina houve a ligação das fibras, no entanto o NW10 apresentou a maior ligação e coesão das fibras em relação ao NW20 e NW30, evidenciando que quanto menor a concentração da resina, maior a uniformidade do NW, menor a formação de filme sobre as fibras, além de apresentar maior capacidade de absorção. Assim, tendo em vista as análises das

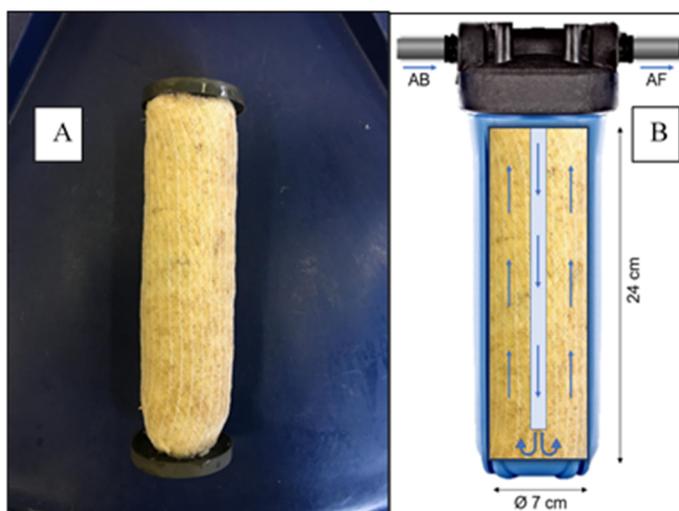
imagens de configuração dos NW (Figura 18) juntamente aos resultados dos espectros de FTIR, além das imagens referentes a morfologia (Figura 20) e capacidade de absorção (Figura 22), verifica-se que o NW10 se apresenta com maior uniformidade para a confecção do elemento filtrante.

4.3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL III

4.3.1 Confeção do elemento filtrante

Baseado nos resultados obtidos no PE-II, o elemento filtrante foi construído com a amostra de NW10. O elemento filtrante apresentou camada fibrosa com 1,2 cm de espessura e gramatura de 350 g m^{-2} , além das seguintes dimensões: 7 cm de diâmetro, 24 cm de altura, 528 cm^2 de área superficial e 692 cm^3 de volume total e conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23 – Características do elemento filtrante.

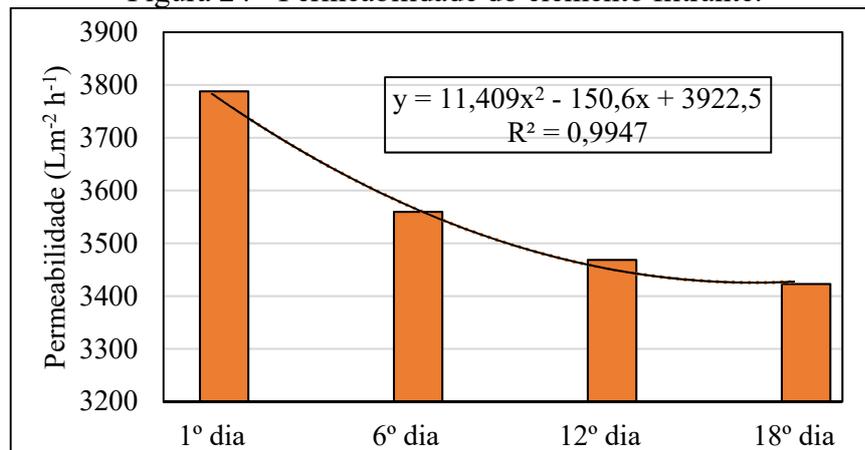


Elemento filtrante; B) Elemento filtrante inserido na estrutura suporte
Fonte: a autora (2021).

4.3.2 Permeabilidade do elemento filtrante

A permeabilidade do elemento filtrante demonstrada na Figura 24 variou entre $3787 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ e $3422 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Sendo assim, a permeabilidade configura-se como satisfatória, pois tal parâmetro compreendido entre 2.000 e $16.000 \text{ L m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, caracteriza-se como boa permeabilidade à água na faixa de microfiltração/ultrafiltração (URSINO et al., 2021)

Figura 24 - Permeabilidade do elemento filtrante.



Fonte: a autora (2021).

Analisando a Figura 24, nota-se que a permeabilidade variou de 3787,8 L m⁻² h⁻¹ para 3559,7 L m⁻² h⁻¹, apresentando redução de 6% nos 5 primeiros dias. Esse comportamento pode ter sido influenciado pelas características da AB, tendo em vista a ocorrência de chuvas neste período, resultando no aumento dos valores de cor, turbidez e teor de SST, principalmente.

Já no segundo período, entre o sexto e décimo segundo dia, houve uma diminuição de 3559,7 L m⁻² h⁻¹ para 3468,4 L m⁻² h⁻¹, reduzindo em 2,5% na permeabilidade. No entanto, no terceiro ciclo, compreendido entre o décimo terceiro e décimo oitavo dia, o fator de permeabilidade passou de 3468,4 L m⁻² h⁻¹ para 3422,8 L m⁻² h⁻¹, resultando na redução de 1,35%. Esse fato pode estar atrelado ao depósito de partículas no interior do elemento filtrante desde o início da filtração. A perda de permeabilidade em NW confeccionado com fibras de poliéster e poliácridonitrila, também foi relatada em estudos Ceron et al. (2012) devido a facilidade de deposição inicial de particulados finos no interior do NW, pois a maior distância entre as fibras (poros maiores) facilita o acúmulo.

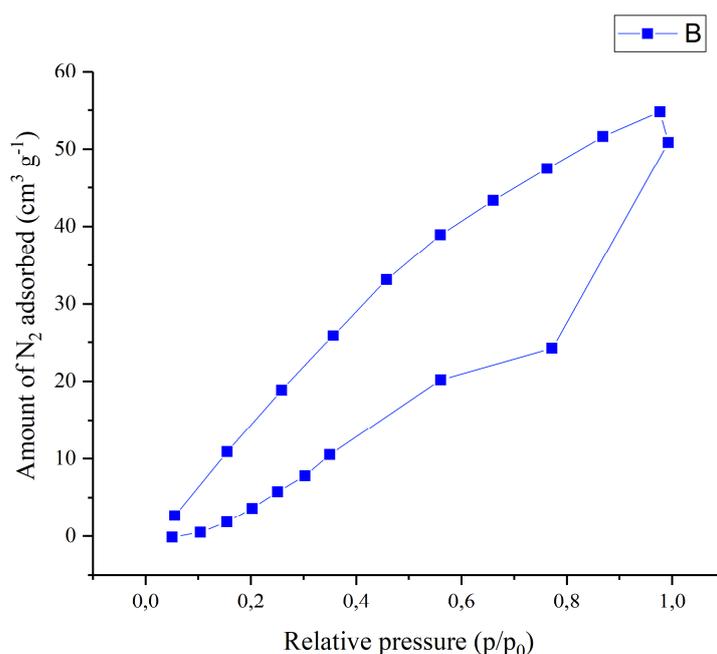
4.3.3 Características físicas do elemento filtrante

De acordo com a Figura 25, o NW10 apresenta características de isoterma tipo II com histerese tipo H2. A isoterma tipo II acontece em monocamada e multicamada. A histerese tipo H2 é uma curva típica de materiais que apresentam poros cilíndricos abertos com estrangulações tipo “poro de garganta” (SCHMITT, 2009). Isso significa que no interior do poro, existem áreas muito menores que o diâmetro do poro propriamente dito. Destaca-se ainda que esse resultado corrobora com a informação de Melo (2018) em que os poros dos NW são característicos por apresentar variações ao longo do canal de fluxo sendo que a menor abertura

em um canal de fluxo que atravessa um NW é denominada constrição, a qual é a área limitativa para a passagem de partículas menores que o diâmetro do poro.

Suzuki (2020) salienta que mesmo em estruturas de tecido se torna difícil determinar a distribuição do tamanho dos poros, tendo em vista que os fios constituídos de fibras artificiais são feitos usando um feixe de filamentos, portanto os poros podem apresentar formas e dimensões muito variáveis. Apesar desse fato, o diâmetro médio de poro deste estudo foi de 3,296 nm. Conforme a IUPAC, os sólidos porosos que apresentam diâmetro médio entre 2 nm e 50 nm podem ser classificados como mesoporosos (ZDRAVKAOV et al., 2007; IUPAC, 1994). Cabe ressaltar que em estruturas de NW, a constrição não pode ser confundida com poro, além de ser mais significativa que o tamanho efetivo do poro. Já a área superficial foi de 4,748 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$, volume total dos poros foi de 0,00711 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$. O tamanho do poro é o índice mais utilizado para definir o potencial de filtração, (HUTTEN, 2007). Todavia, neste estudo, o tamanho do poro não foi decisivo para o mecanismo de filtração, pois em estruturas de NW em que os poros são formados pelas lacunas entre as fibras e essas lacunas apresentam estruturas complexas se torna imprescindível além do tamanho dos poros, considerar outras características. Entre os fatores a serem considerados, destaca-se que as propriedades de alimentação e condições operacionais são bastante relevantes (NAKAMURA, 2018).

Figura 25 - Isotherma de adsorção de N_2 sobre o nãotecido com resina contendo 10% de sólidos.



Fonte: a autora (2021).

A disposição dos elementos formadores dos NW limita as regiões vazias, conferindo irregularidades nos poros, cujo diâmetro varia ao longo do canal de fluxo e exibindo geometria altamente complexa (FAURE; GOURC; GENDRIN, 1990).

De acordo com Graham et al (1994) as mantas não tecidas são meios de filtração mais eficientes que a areia devido às suas propriedades estruturais. Ainda, segundo Pádua (1997), além da porosidade e área específica, muitos outros fatores podem influir nas propriedades do material, tais como o tipo de fibra e a técnica de fabricação. Segundo Di Bernardo e Dantas (2005) os NW que apresentam baixa superfície específica possibilitam o aumento da duração da carreira de filtração (sendo que o fator de aumento cresce com a espessura do material).

4.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL IV

4.4.1 Sistema de Filtração

4.4.1.1 *Qualidade da água filtrada*

De forma geral o sistema apresentou uma remoção satisfatória de turbidez, cor e sólidos suspensos totais. Na Tabela 9 são mostrados os dados referentes à qualidade da água com monitoramento de aproximadamente 150 dias. Também são apresentadas as médias dos dados obtidos, desvio padrão, medianas da AB e AF além do percentual de remoção.

Tabela 9 - Análise estatística referente aos parâmetros analisados na água bruta (AB) e água filtrada (AF).

Parâmetro n=15	AB	AF	Remoção (%)
Absorbância UV 254			
Média	0,056	0,063	-
Desvio Padrão	0,016	0,011	
Mediana	0,055	0,062	
Carbono orgânico Total (COT) mg L⁻¹			
Média			
Desvio Padrão	8,06	7,64	5,20
Mediana	1,11	0,93	
	7,94	7,96	
Cor aparente (uH)			
Média			
Desvio Padrão	74,90	37,20	50,36
Mediana	6,72	6,06	
	75,00	36,00	
Cor verdadeira (uH)			
Média	15,04	14,03	
Desvio Padrão	2,33	1,60	6,73
Mediana	14,00	13,60	
pH			
Média	6,64	6,21	-
Desvio Padrão	0,93	0,80	
Mediana	6,70	5,90	
Sólidos suspensos totais (SST) mg L⁻¹			
Média	6,34	2,89	
Desvio Padrão	3,00	1,21	54,42
Mediana	5,45	2,87	
Turbidez (NTU)			
Média	6,83	2,58	
Desvio Padrão	2,97	1,77	62,01
Mediana	6,00	2,50	

Fonte: a autora (2021).

Não houve mudança significativa em relação ao valor referente à absorbância da AF em relação a AB. Este parâmetro é indicativo da presença de matéria orgânica dissolvida (SOUZA, 2015). Alguns compostos, como o ácido húmico, podem absorver luz em comprimentos de onda ultravioleta. Nesse sentido, o resultado da absorbância provavelmente está relacionado à existência de materiais húmicos presentes na AB.

Em relação ao pH, foi possível perceber que 66% dos valores relacionados ao pH da AB permaneceram abaixo de 7, com média de 6,64. Isso pode ser explicado por meio de duas variáveis. Em primeiro lugar, devido à alta taxa de respiração dos organismos presentes nas amostras de AB, com liberação de dióxido de carbono e consequente formação de ácido

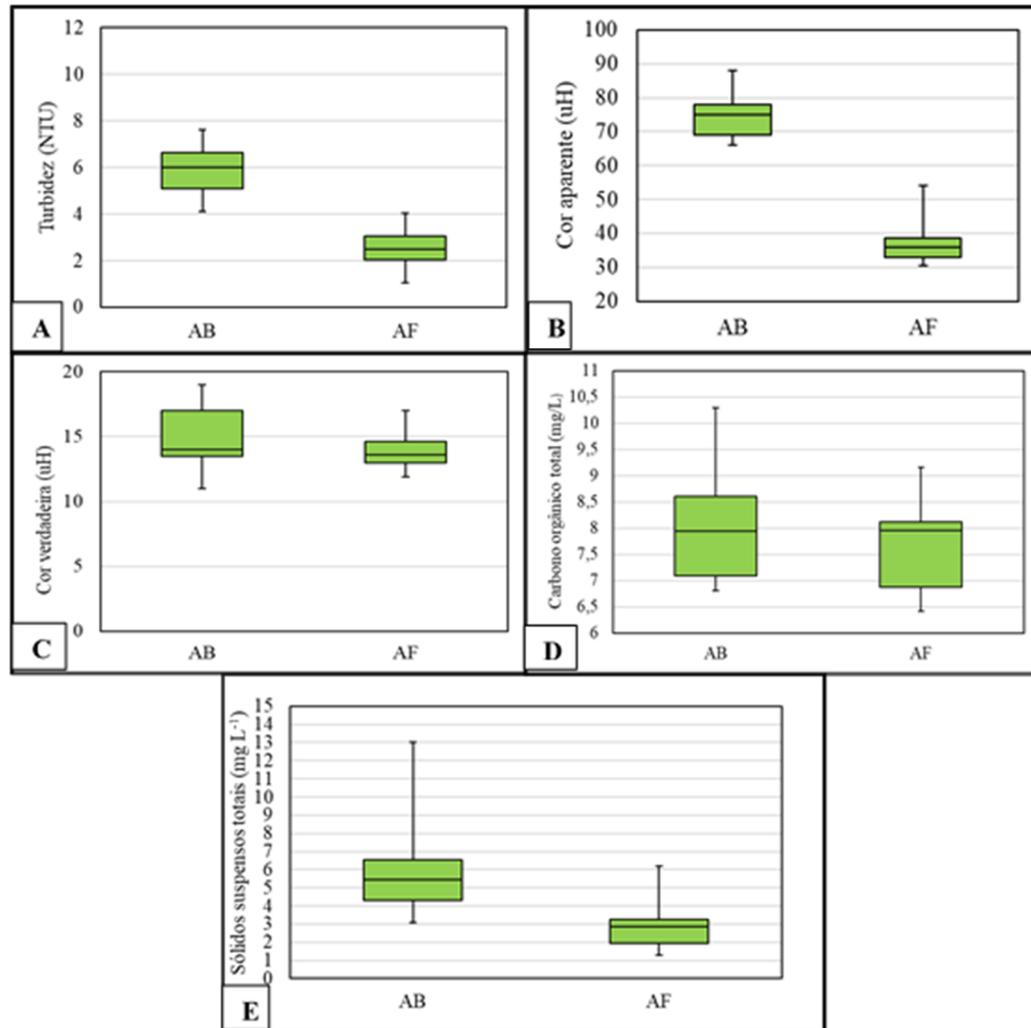
carbônico, mantendo o pH próximo ao neutro (CORAL, 2009). Além disso, esses valores de pH podem estar associados à presença de materiais húmicos (HENNEMANN, 2010). Após o processo de filtração, os valores de pH seguiram o mesmo comportamento da AB, permanecendo próximos da neutralidade (Tabela 9). Ao mesmo tempo, foi identificada uma remoção de 62,01% para turbidez (Figura 26 A). Um estudo conduzido por Mulligan et al. (2009) usando NW no processo de filtração em coluna para tratamento de águas superficiais alcançou remoções de turbidez na ordem de 93%. A diferença no desempenho de remoção entre os estudos pode estar associada à variação das concentrações de turbidez no AB que foi superior (20 a 100 NTU) nos estudos de Mulligan et al. (2009). Além disso, a AB deste estudo teve turbidez média em torno de 6,83 NTU, valor próximo ao recomendado pela Portaria 5/2017 de Consolidação (BRASIL, 2017).

Sendo assim, notou-se que o percentual de remoção de turbidez da AF foi influenciado pelos valores baixos de tal parâmetro identificados nas amostras da AB. Portanto, o índice de turbidez encontrado na AB é diretamente proporcional ao percentual de remoção.

A eficiência média de remoção da cor aparente foi de 50,36% (Figura 26 B), enquanto a remoção da cor verdadeira foi de apenas 6,73%. A remoção da cor aparente está associada ao material em suspensão, indicado pela turbidez. A baixa eficiência de remoção da cor verdadeira já era esperada (Figura 26 C). Isso porque não foi utilizada nenhuma combinação de processos físico-químicos e biológicos, pois para remover esse parâmetro é necessário o uso de coagulação química ou ozonização (DI BERNARDO et al., 1999; PIZZOLATTI, 2014).

Em relação ao COT a eficiência média de remoção foi de 5,20% (Figura 26 D). Este baixo desempenho no tratamento pode estar associado ao fato de que uma grande parte do COT geralmente se apresenta na forma dissolvida (AIKEN, 2002). Enquanto isso, a eficiência média de remoção do SST foi de 54,42% (Figura 26 E). Palakkeel Veetil et al., 2021, avaliaram o uso de NW como meio filtrante em água sintética, visando melhorar a qualidade das águas superficiais em um lago eutrófico. A eficiência média de remoção obtida pelo autor foi próxima a 100%. Provavelmente, a diferença na remoção de SST entre os estudos pode estar associada à diferença na concentração de SST na AB, já que no estudo, a AB apresentou concentração em torno de 32,5 mg L⁻¹, enquanto neste estudo a média foi de 6,34 mg L⁻¹.

Figura 26 - Comportamento dos diferentes parâmetros identificados na água bruta e água filtrada.



Turbidez (A), cor aparente (B), cor verdadeira (C), carbono orgânico total (D) e sólidos suspensos totais (E).

Fonte: a autora (2021).

4.4.2 Toxicidade na água filtrada

4.4.2.1 Teste de toxicidade aguda com *Daphnia magna*

Testes de toxicidade podem ser caracterizados como métodos nos quais as respostas de organismos-teste são usufruídas para diagnosticar ou avaliar os efeitos adversos ou não de uma ou mais substâncias sobre os sistemas biológicos. Estes testes consistem basicamente na exposição de organismos a condições distintas, as quais representam o ambiente natural, objetivando a detecção de seus efeitos letais e/ou subletais (LAITANO et al., 2006).

Testes de toxicidade com invertebrados aquáticos fornecem importante suporte na determinação de impactos químicos ao meio ambiente (GHERARDI-GOLDSTEIN et al., 1990).

O micro crustáceo de água doce *D. magna* tem sido abundantemente empregado como indicador biológico em estudos e controle da qualidade da água e em testes de toxicidade na avaliação de efluentes (NIETO, 2000).

O resultado do teste de toxicidade realizado com *D. magna* mostrou que no presente estudo, não houve liberação de material tóxico do NW10 para a amostra de água durante o processo de filtração.

A nicotina é altamente tóxica para *D. magna*, pois interrompe a neurotransmissão na junção neuromuscular (NOVOTNY et al., 2009; CHEN et al., 2018; VLASCEANU et al., 2015). Entretanto, de acordo com os resultados obtidos, não houve a detecção de nicotina além da constatação de baixa presença de metais pesados na AF. Destaca-se ainda, que as concentrações dos metais: Zn, Fe, Cu, e Mn não foram suficientes para influenciar o desenvolvimento das *D. magna*.

4.4.2.2 Análise da presença de nicotina na água filtrada

Não foi identificada a presença de nicotina na AB e na AF. Os resultados mostram que embora muitos estudos apontem índices altos de nicotina em águas superficiais, esta não foi detectada na amostra de AB. Segundo Carey et al. (2010) a dose média de nicotina por cigarro com filtro é em torno de 11,9 mg e considerando que o elemento filtrante é composto de MC oriundo de BC, cogitava-se a detecção de resíduos de nicotina na AF ainda que em baixos níveis. Porém, nota-se que não houve qualquer desprendimento de resíduos nicotínicos durante o processo de filtração.

4.4.2.3 Análise da presença de metais pesados na água filtrada

A Tabela 10 mostra o desempenho do tratamento de pré-filtração de água superficial em relação à remoção de metais.

Tabela 10 - Percentual de remoção, média e desvio padrão, dos metais pesados na água filtrada (AF).

Metal (mg L⁻¹) n=15	AB	AF	Remoção (%)	VMP (mg L⁻¹) Portaria 888/2021
Zn	0,483 ± 0,015	0,523 ± 0,005	-	5
Fe	1,144 ± 1,922	0,317 ± 0,134	72,26 ± 1,264	0,3
Cu	-0,517 ± 0,017	-0,506 ± 0,019	2,12 ± 0,002	2
Cd	-0,357 ± 0,135	-0,323 ± 0,176	9,61 ± 0,029	0,003
Mn	-0,292 ± 0,079	-0,330 ± 0,041	-	0,1
Pb	-5,920 ± 0,183	-6,067 ± 0,381	-	0,01

Fonte: a autora (2021).

Em geral, praticamente todos os metais apresentaram concentrações abaixo dos valores máximos permitidos contidos na Portaria 888/2021 (BRASIL, 2004) com exceção de Fe e Zn que apresentaram valores limítrofes. Maior desempenho do tratamento foi identificado para o Fe (72,26%), enquanto a remoção de Cu e Cd foi da ordem de 2,12% e 9,61%. A remoção de metais foi considerada satisfatória por se tratar de um processo de pré-filtração com o elemento filtrante oriundo de fibra de acetato de celulose a partir de BC.

De acordo com Fukue et al. (2007) a contaminação da água por metais pesados é frequente, considerável e problema crescente em todo o mundo. Windom et al. (1991) destacam que aproximadamente 40, 62, 80 e 92%, das quantidades de Cu, Cd, Zn e Pb são transportadas por sólidos suspensos. Assim, as partículas suspensas servem como um meio natural sem custo e absorvente. Portanto a remoção dos metais da AF pode estar atrelada a remoção dos SST.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos mostraram, para as condições operacionais testadas na pesquisa, que as hipóteses formuladas para este estudo foram confirmadas. Com base nas hipóteses, têm-se as seguintes conclusões:

A higienização das BC foi eficaz, obtendo-se uma remoção na ordem de 87,90%, 41,49% e 65,51% para Fe, Cu e Zn, respectivamente. Já para Mn não foi detectado na amostra higienizada.

O NW é uma parcela têxtil em ampla expansão, o qual pode ser produzido por diferentes fibras e ou filamentos, orientados ou ao acaso, além de consolidado de diversas formas, por isso, entende-se que se trata de uma ótima alternativa para a transformação das BC encontradas no meio ambiente, diminuindo assim, a contaminação ocasionada por esse resíduo.

A concentração da resina presente nas amostras de NW foi um fator determinante para a configuração dos mesmos, pois a solução de resina contendo 10% de sólidos proporcionou melhor conformação para a confecção do elemento filtrante. Foi evidenciado que quanto maior a concentração da resina, menor o número de hidroxilas, maior o índice de rigidez, reduzindo assim, a capacidade de absorção do NW.

O elemento filtrante confeccionado a partir do NW10 apresentou camada fibrosa com 1,2 cm de espessura, 350 g m⁻² de gramatura, 7 cm de diâmetro, 24 cm de altura, 528 cm² de área superficial e 692 cm³ de volume total.

O desempenho de remoção apresentado pelo sistema de filtração utilizando o NW como elemento filtrante foi de 62,01%, 54,42%, 50,36%, 6,73% e 5,20% para turbidez, SST, cor aparente, cor verdadeira e COT respectivamente.

Em relação aos metais pesados detectados na água, obteve-se uma remoção na água filtrada na ordem de 72,26%, 9,61% e 2,12% para Fe, Cd e Cu respectivamente, mantendo-se dentro dos padrões brasileiros para águas superficiais.

A concentração de nicotina encontrada na água filtrada se mostrou abaixo do limite de detecção e não houve toxicidade para *Daphnia magna* após 48 h de exposição em uma amostra sem diluição.

O NW apresentou potencial para ser empregado como elemento filtrante no processo de pré-filtração de águas superficiais, pois o sistema de filtração utilizado neste estudo se mostrou ser uma tecnologia promissora para ser utilizada no processo de pré-tratamento de águas superficiais, principalmente nos casos de áreas rurais, periferias de cidades e assentamentos.

A produção de um elemento filtrante oriundo de bitucas de cigarro é viável no Brasil, tendo em vista que a bituca é um dos resíduos mais encontrado no meio ambiente. Além disso, o país dispõe de tecnologia para produção do elemento filtrante, devido ao fato do seu alto potencial de exportação de não-tecido.

6 RECOMENDAÇÕES

A partir dos resultados atingidos, sugerem-se as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- Avaliar a resistência à tração das amostras de NW;
- Analisar a eficiência do elemento filtrante na remoção de outros parâmetros químicos que norteiam a qualidade de água para o abastecimento público;
- Variar a pressão da bomba responsável pela condução da água pelo sistema de filtração, objetivando verificar o melhor percentual de remoção dos parâmetros analisados na água;
- Avaliar o processo de colmatação do elemento filtrante.

O desenvolvimento de NW de BC é uma tendência relevante, devido ao amplo campo de aplicação, especialmente no controle da poluição do ar e tratamento de água, principalmente nas áreas de filtração automotiva, saúde, geotêxteis, construção civil, separador de bateria, isolante térmico e acústico, produtos higiênicos e produção de compósitos, tendo em vista as estruturas de NW apresentarem versatilidade e flexibilidade, podendo ser projetadas de diferentes formas. Nesse sentido, recomenda-se desenvolver pesquisas buscando otimizar o processo de desenvolvimento do NW a partir de BC.

REFERÊNCIAS

- ABU-DANSO, E.; BAGHERI, A.; BHATNAGAR, A. Facile functionalization of cellulose from discarded cigarette butts for the removal of diclofenac from water. **Carbohydrate Polymers**, v. 219, p. 46-55, set. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.04.090>.
- AKHBARIZADEH, R. et al. Potentially toxic elements leachates from cigarette butts into different types of water: a threat for aquatic environments and ecosystems?. **Environmental Research**, v. 202, p. 111706, nov. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2021.111706>.
- AL-TAMRAH, S.A. Spectrophotometric determination of nicotine. **Analytica Chimica Acta** v. 379, n. 1-2, p. 75-80, jan. 1999. [http://dx.doi.org/10.1016/s0003-2670\(98\)00517-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0003-2670(98)00517-0).
- ANMEI, S. et al. Preparation of carbon quantum dots from cigarette filters and its application for fluorescence detection of Sudan I. **Curr. Environ. Health Rep.** 1 (3), 208–216. 2018. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0016-x>.
- APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 23st. ed. Washington: American Public Health Association, 2017. 1496 p.
- ARAÚJO, M. C. B.; COSTA, M. F. A critical review of the issue of cigarette butt pollution in coastal environments. **Environmental Research**, v. 172, p. 137-149, maio 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2019.02.005>.
- ARAÚJO, M. C; CASTRO, E.M. de M. **Manual de Engenharia Têxtil**. Lisboa: Calouste Gulbenkian, 1996.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E CONFECÇÃO (ABIT). Não tecidos e Tecidos Técnicos apresentam inovações para o setor de Filtração. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/noticias/naotecidos-e-tecidos-tecnicos-apresentam-inovacoes-para-o-setor-de-filtracao>>. Acesso em: 15 Jun. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE NÃO TECIDOS E TECIDOS TÉCNICOS. (ABINT). Disponível em: <<https://www.abint.org.br>>. Acesso em: 09 Jul de 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12984**: Não tecido: Determinação da massa por unidade de área. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 139**: Têxteis: Atmosferas: padrão para condicionamento e ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12546**: Materiais têxteis - Ligamentos fundamentais de tecidos planos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12713**: Ecotoxicologia aquática: Toxicidade aguda: Método de ensaio com *Daphnia* spp (Crustacea, Cladocera). Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13370**: Não Tecido: terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13462**: Tecido de malha por trama - Estruturas fundamentais. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.

BANDI, R. et al. Facile Conversion of Toxic Cigarette Butts to N, S-Codoped Carbon Dots and Their Application in Fluorescent Film, Security Ink, Bioimaging, Sensing and Logic Gate Operation. **Acs Omega**, v. 3, n. 10, p. 13454-13466, out. 2018. <http://dx.doi.org/10.1021/acsomega.8b01743>.

BARNES, R. L. Regulating the disposal of cigarette butts as toxic hazardous waste. **Tobacco Control**, v. 20, n. 1, p. 45-48, abr. 2011. <http://dx.doi.org/10.1136/tc.2010.041301>.

BHATIA, S.K.; SMITH, J. L. Geotextile Characterization and Pore-Size Distribution: part ii. a review of test methods and results. **Geosynthetics International**, v. 3, n. 2, p. 155-180, jan. 1996. <http://dx.doi.org/10.1680/gein.3.0058>.

BLANKENSHIP, L. S.; MOKAYA, R. Cigarette butt-derived carbons have ultra-high surface area and unprecedented hydrogen storage capacity. **Energy & Environmental Science**, v. 10, n. 12, p. 2552-2562, 2017. <http://dx.doi.org/10.1039/c7ee02616a>.

BOLDEN, J.; ABU-LEBDEH, T.; FINI, E. Utilization of recycled and waste materials in various construction applications. **American Journal of Environmental Sciences**, v. 9, n. 1, p. 14-24, 2013. <http://dx.doi.org/10.3844/ajessp.2013.14.24>.

BONANOMI, G. et al. Cigarette Butt Decomposition and Associated Chemical Changes Assessed by ¹³C CPMAS NMR. **Plos One**, v. 10, n. 1, p. 1-16, jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0117393>.

BRASIL. 2021. Portaria MS nº 888/2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em 20 dez. 2021.

BRASIL. 2017. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html>. Acesso em: 30 abr. 2021.

CAI, J. et al. Surface acetylation of bamboo cellulose: preparation and rheological properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 1, p. 11-18, jan. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.09.059>.

CAREY, et al. (2010). Nicotine/ Tobacco. In: Osweiler, et al. (ed.). Blackwell's five-minute veterinary consult, clinical companion small animal toxicology. 306-312. Ames: Blackwell.

CARSON, I. G.; CENTRE, M. A Comparison of Needle-punch Nonwoven Fabrics Made from Poly(trimethylene terephthalate) and Poly(ethylene terephthalate) Staple Fibers. **International Nonwovens Journal**, v. 11, n. 3, set. 2002. <http://dx.doi.org/10.1177/1558925002001100307>.

CERON, L. P. et al. Simulação de filtração multifatorial em não tecidos de poliamida, poliéster e poliácridonitrila. **Química Têxtil**, v. 1, p. 70–77, 2012.

CHANG, W. K. et al. Membrane bioreactor with nonwoven fabrics as solid–liquid separation media for wastewater treatment. **Desalination**, v. 202, n. 1-3, p. 122-128, jan. 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2005.12.047>.

CHEN, K. F. et al. Detoxification of nicotine solution using Fe₀-based processes: toxicity evaluation by daphnia magna neonate and embryo assays. **Chemical Engineering Journal**, v. 331, p. 636-643, jan. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2017.09.029>.

CHEN, Y. et al. Roll-to-Roll Production of Metal-Organic Framework Coatings for Particulate Matter Removal. **Advanced Materials**, v. 29, n. 15, p. 1606221, 19 jan. 2017. <http://dx.doi.org/10.1002/adma.201606221>.

CHENG, M. et al. Use of electrospinning to directly fabricate three-dimensional nanofiber stacks of cellulose acetate under high relative humidity condition. **Cellulose**, v. 24, n. 1, p. 219-229, out. 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s10570-016-1099-3>.

CHIANTORE, O.; LAZZARI, M. Characterization of Acrylic Resins. **International Journal Of Polymer Analysis And Characterization**, v. 2, n. 4, p. 395-408, ago. 1996. <http://dx.doi.org/10.1080/10236669608033358>.

CHÖNTAG, J. M. **Esferas de poliestireno como elemento filtrante em filtração rápida descendente**. 2015. 280 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CHRISTOPHER, B. R. Geotextile Filtration Principles , Practices and Problems. **Geosynthetics in Filtration, Drainage and Erosion Control**, v. 11, p. 337–353, 1992. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85166-796-3.50006-2>.

CHUANG, S. H.; LIN, P. K.; CHANG, W. C. Dynamic fouling behaviors of submerged nonwoven bioreactor for filtration of activated sludge with different SRT. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 17, p. 7768-7776, set. 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.016>.

CORAL, L. A. **Remoção de cianobactérias e cianotoxinas em águas de abastecimento pela associação de flotação por ar dissolvido e nanofiltração**. 2009. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

COSTA, M. I. **Transformação do não tecido: Uma abordagem do Design Têxtil em Produtos de Moda**. 2003. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CUMBI, H. A. **Avaliação da abertura de filtração de geotêxteis não tecidos sob diferentes esforços solicitantes**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

CURTIS, C. et al. Tobacco industry responsibility for butts: a model tobacco waste act. **Tobacco Control**, v. 26, n. 1, p. 113-117, 1 mar. 2016.

<http://dx.doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2015-052737>.

DALSASSO, R. L.; SENS, M. L. Filtração direta com pré-floculação e coagulação com sulfato de alumínio e hidroxiclreto de alumínio: estudo com água de manancial eutrofizado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 241-249, fev. 2006. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522006000300007>.

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

DI BERNARDO, L.; BOJORGE, C. R. Uso de mantas sintéticas em pré-filtros de pedregulho para pré-tratamento de águas de abastecimento. ABES-Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2000.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D.B. **Métodos e técnicas de Tratamento de Água**. Vol 1. 2. 1565 p. São Carlos: Rima, 2005.

DIENG, H. et al. Turning cigarette butt waste into an alternative control tool against an insecticide-resistant mosquito vector. **ActaTropical**, v. 128, n. 3, p. 584-590, dez. 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2013.08.013>.

DIXIT, P.; ISHTIAQUE, S.M.; ROY, R. Influence of sequential punching in layered structure of needle punched nonwoven on the filtration behavior. **Composites Part B: Engineering**, v. 182, p. 107654, fev. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.107654>.

DOBARADARAN, S. et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) leachates from cigarette butts into water. **Environmental Pollution**, v. 259, p. 113916, abr. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113916>.

DUARTE, L. C. Aplicações de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e Sistema de Energia Dispersiva (EDS) no estudo de gemas: exemplos brasileiros. **Instituto de Geociências Ufrgs**. Porto Alegre, p. 1-15. set. 2003.

ELKONY, Y. et al. Novel Grafted/Crosslinked Cellulose Acetate Membrane with N-isopropylacrylamide/N, N-methylenebisacrylamide for Water Desalination. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, jun. 2020. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-67008-3>.

EPA. 2002a. United States Environmental Protection Agency, EPA-821-R-02-012: Methods for Measuring the Acute Toxicity of Effluents and Receiving Waters to Freshwater and Marine Organisms. 5.ed. Washington, DC. 266p.

ESCOBAR, V. G.; MADERUELO-SANZ, R. Acoustical performance of samples prepared with cigarette butts. **Applied Acoustics**, v. 125, p. 166-172, out. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.05.001>.

FAURE, Y. GOURC, J; GENDRIN, P. Structural Study of Porometry and Filtration Opening Size of Geotextiles. Geosynthetics: Microstructure and Performance. **American Society For Testing And Materials**, p. 102-119, 1990. <http://dx.doi.org/10.1520/STP23500S>.

FERRAZ, C. F. Redução da espessura da camada suporte através da substituição por mantas

nãotecidas na filtração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 8-15, jun. 2002.

FREITAS, N. L.; MANEIRO, M. G.; COURY, J. R. Estudo da permeabilidade de filtros cerâmicos de aerossol em altas temperaturas. **Projeções**, v. 21, n. 1, p. 29-38, jan. 2003.

FUKUE, M., MULLIGAN, C. N., SATO, Y., FUJIKAWA, T. Effects of organic suspended solids and their sedimentation on the surrounding sea area. **Environmental Pollution**, 149, p. 70–78, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2006.12.015>.

GHERARDI-GOLDSTEIN, E. et al. Procedimentos para utilização de testes de toxicidade no controle de efluentes líquidos. CETESB, São Paulo, v. 6, p. 17, 1990. <http://dx.doi.org/10.5132/jbse.2006.01.009>.

GHOSH, S.; HALL, J.; JOSHI, V. Study of chameleon nylon and polyester fabrics using photochromic ink. **The Journal Of The Textile Institute**, v. 109, n. 6, p. 723-729, 23 ago. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00405000.2017.1366252>.

GIROUD, J.P. Designing with geotextiles. **Matériaux Et Construction**, p. 257-272, jul. 1981. <https://doi.org/10.1007/BF02473945>.

GRAHAM, N. J. D.; MBWETTE, T.S.A.; DI BERNARDO, Luiz. Fabric protected slow sand filtration: a review. In: Slow Sand Filtration - an international compilation of recent scientific and operational developments. **American Water Works Association**, p. 95-105, 1994.

GÜVEN, D. E.; AKINCI, G. Comparison of acid digestion techniques to determine heavy metals in sediment and soil samples. **Gazi University Journal of Science**, v. 24, n. 1, p. 29–34, 2011.

HAMZAH, Y., UMAR, L. Preparation of creating active carbon from cigarette filter waste using microwave-induced KOH activation. **J. Phys.** 853. 2017. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/853/1/012027>.

HEALTON, C. G. et al. Butt really? The environmental impact of cigarettes. **Tobacco Control**, v. 20, n. 1, p. 1-4, abr. 2011. <http://dx.doi.org/10.1136/tc.2011.043729>.

HEMAMALINI, T. et al. Comparison of acid and water-soluble chitosan doped fibrous cellulose hemostat wet laid nonwoven web for hemorrhage application. **International Journal Of Biological Macromolecules**, v. 147, p. 493-498, mar. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.085>.

HENNEMANN, M. C. **Dinâmica da qualidade da água em uma lagoa costeira: o caso peculiar da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, Brasil**. 2010. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Ecologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

HOFFMANN, I. Tobacco consumption and lung cancer. **Lung Cancer**, Boston, p. 42-45, 1995.

HON, N. S. Photodegradation of cellulose acetate fibers. **Journal Of Polymer Science: Polymer Chemistry Edition**, v. 15, n. 3, p. 725-744, mar. 1977. <http://dx.doi.org/10.1002/pol.1977.170150319>.

IFELEBUEGU, A. et al. Facile Fabrication of Recyclable, Superhydrophobic, and Oleophilic Sorbent from Waste Cigarette Filters for the Sequestration of Oil Pollutants from an Aqueous Environment. **Processes**, v. 6, n. 9, p. 140, ago. 2018. <http://dx.doi.org/10.3390/pr6090140>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6341**: Water quality — Determination of the inhibition of the mobility of *Daphnia magna* Straus (Cladocera, Crustacea) — Acute toxicity test. 2012.

IUPAC. Recommendations for the porous solids. v. 66, n. 8, p. 1739–1758, 1994.

KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A. Effect of heating rate on gas emissions and properties of fired clay bricks and fired clay bricks incorporated with cigarette butts. **Applied Clay Science**, v. 104, p. 269-276, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.clay.2014.12.005>.

KADIR, A. A.; MOHAJERANI, A. Possible Utilization of Cigarette Butts in Light- Weight Fired Clay Bricks. **International Journal of Environmental, Ecological, Geological and Mining Engineering**, v. 2, n. 9, p. 1–11, 2008. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1328080>.

KADIR, A. et al. Density, Strength, Thermal Conductivity and Leachate Characteristics of Light-Weight Fired Clay Bricks Incorporating Cigarette Butts. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 53, n. 5, p. 1035–1040, 2009.

KAKONKE, G. et al. Production and characterization of cotton-chicken feather fibres blended absorbent fabrics. **Journal Of Cleaner Production**, v. 243, p. 118508, jan. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118508>.

KELLIE, G. **Advances in technical nonwovens**. Oodhead Publishing. 2016. 508 p.

KIM, G. P. et al. Highly efficient supporting material derived from used cigarette filter for oxygen reduction reaction. **Catalysis Communications**, v. 78, p. 1-6, mar. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catcom.2016.01.030>.

KOROBUSHKIN, D. I. et al. The earthworm species *Eisenia fetida* accelerates the decomposition rate of cigarette butts on the soil surface. **Soil Biology And Biochemistry**, v. 151, p. 108022, dez. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108022>.

KUASNE, A.. **Fibras Têxteis**. Curso Têxtil em Malharia e Confecção. Notas de aula. Instituto Federal de Santa Catarina. 2008.

KURMUS, H.; MOHAJERANI, A. Energy savings, thermal conductivity, micro and macro structural analysis of fired clay bricks incorporating cigarette butts. **Construction And Building Materials**, v. 283, p. 122755, maio 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122755>.

KURMUS, H.; MOHAJERANI, A. The toxicity and valorization options of cigarette butts. **Waste Management**, v. 104, p. 104-118, mar. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.011>.

LAITANO, K. S. et al. Testes de toxicidade com *Daphnia magna*: uma ferramenta para

avaliação de um reator experimental UASB. **Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology**, v. 1, n. 1, p. 43-47, 2006. <http://dx.doi.org/10.5132/jbse.2006.01.009>.

LEE, M. et al. Preparation of energy storage material derived from a used cigarette filter for a supercapacitor electrode. **Nanotechnology**, v. 25, n. 34, p. 345601, ago. 2014. <http://dx.doi.org/10.1088/0957-4484/25/34/345601>.

LIMA, H. H.C. et al. Hydrochars based on cigarette butts as a recycled material for the adsorption of pollutants. **Journal Of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 6, p. 7054-7061, dez. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2018.11.012>.

LIU, Y. et al. Discarded cigarette butts regenerated hydrophobic-oleophilic materials for both immiscible and emulsified oil/water separation through a wettability reversal strategy. **Applied Surface Science**, v. 532, p. 147350, dez.2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147350>.

MACKAY, J.; ERIKSEN, M.; SHAFEY, O. **The Tobacco Atlas**. 2. ed. Atlanta: American Cancer Society, 2006.

MADERUELO-SANZ, R.; ESCOBAR, V. G.; MENESES-RODRÍGUEZ, J. M. Potential use of cigarette filters as sound porous absorber. **Applied Acoustics**, v. 129, p. 86-91, jan. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2017.07.011>.

MARINELLO, S. et al. A second life for cigarette butts? A review of recycling solutions. **Journal Of Hazardous Materials**, v. 384, p. 121245, fev. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121245>.

MEHTA, G. et al. Effect of fiber surface treatment on the properties of biocomposites from nonwoven industrial hemp fiber mats and unsaturated polyester resin. **Journal Of Applied Polymer Science**, v. 99, n. 3, p. 1055-1068, 2005. <http://dx.doi.org/10.1002/app.22620>.

MELO, D. L. A. **Avaliação da abertura de filtração de geotêxteis não tecidos sob diferentes esforços solicitantes**. 2018. 99 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

MENDES, M. J. A. **Comportamento carga-alongamento de geotêxteis não tecidos submetidos à tração confinada**. 2006 173f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geotecnia, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MENG, F. et al. Recent advances in membrane bioreactors (MBRs): membrane fouling and membrane material. **Water Research**, v. 43, n. 6, p. 1489-1512, abr. 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.12.044>.

MISU, M. et al. Influência do Cigarro no Crescimento de Plantas de Feijão. **Revista Ciências do Ambiente OnLine**, 2010. Disponível em: <<http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/view/235/181>>. Acesso em: 15 Jun. 2020.

MOERMAN, J. W.; POTTS, G. E. Analysis of metals leached from smoked cigarette litter. **Tobacco Control**, v. 20, n. 1, p. 30-35, abr. 2011. <http://dx.doi.org/10.1136/tc.2010.040196>.

MOHAJERANI, A. et al. Physico-mechanical properties of asphalt concrete incorporated with encapsulated cigarette butts. **Construction And Building Materials**, v. 153, p. 69-80, out. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.091>.

MOHAJERANI, A.; KADIR, A. A.; LAROBINA, L. A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: recycling in fired clay bricks. **Waste Management**, v. 52, p. 228-244, jun. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.012>.

MONDAL, N. K. et al. Cigarette Butt Waste and Its Effective Utilization towards Larvicidal Activity of Mosquito. **International Journal Of Scientific Research In Environmental Sciences**, v. 3, n. 1, p. 9-15, jan. 2015. <http://dx.doi.org/10.12983/ijres-2015-p0009-0015>.

MULLIGAN, C. N. et al. Filtration of contaminated suspended solids for the treatment of surface water. **Chemosphere**, v. 74, n. 6, p. 779-786, fev. 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.10.055>.

MURUGAN, K. et al. Managing wastes as green resources: cigarette butt-synthesized pesticides are highly toxic to malaria vectors with little impact on predatory copepods. **Environmental Science And Pollution Research**, v. 25, n. 11, p. 10456-10470, 2018. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-017-0074-3>.

NABIL, B. et al. Development of new multifunctional filter based nonwovens for organics pollutants reduction and detoxification: high catalytic and antibacterial activities. **Chemical Engineering Journal**, v. 356, p. 702-716, jan. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2018.08.166>.

NAKAMURA, K.; SUDA, T.; MATSUMOTO, K. Characterization of pore size distribution of non-woven fibrous filter by inscribed sphere within 3D filter model. **Separation And Purification Technology**, p. 289-294, jan. 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2018.01.012>.

NASUTION, B. A. H. Reuse of cigarette butts for pesticides in agriculture. **Master Plant Science**, p. 18-23, out. 2016. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.23653.19683>.

NIETO, R. Caracterização ecotoxicológica de efluentes líquidos industriais – ferramenta para ações de controle da poluição das águas. In: 17 Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais [...]**. Recife, 2007.

NOMURA, T. et al. Humidity Sensor Using Surface Acoustic Wave Delay Line with Hygroscopic Dielectric Film. **Japanese Journal Of Applied Physics**, v. 32, n. 19, p. 4205-4208, 30 set. 1993. <http://dx.doi.org/10.1143/jjap.32.4205>.

NOVOTNY, T. et al. Cigarettes Butts and the Case for an Environmental Policy on Hazardous Cigarette Waste. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 6, n. 5, p. 1691-1705, 2009. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph6051691>.

NOVOTNY, T. E.; SLAUGHTER, E. Tobacco Product Waste: an environmental approach to reduce tobacco consumption. **Current Environmental Health Reports**, v. 1, n. 3, p. 208-216, 6 maio 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s40572-014-0016-x>.

OGUNDARE, S. A.; MOODLEY, V.; VAN ZYL, W. E. Nanocrystalline cellulose isolated from discarded cigarette filters. **Carbohydrate Polymers**, v. 175, p. 273-281, nov. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.08.008>.

OU, J. et al. Superhydrophobic fibers from cigarette filters for oil spill cleanup. **Rsc Advances**, v. 6, n. 50, p. 44469-44474, 2016. <http://dx.doi.org/10.1039/c6ra01303a>.

PÁDUA, L. DI BERNARDO L. Análise da influência da variação dos gradientes de velocidade no desempenho das unidades de floculação. **Engenharia Ambiental e Sanitária**, p. 63-68, jun. 1997.

PÁDUA, V. L. Emprego de mantas sintéticas nos estudos de tratabilidade de água quimicamente coagulada. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. *In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais [...]*. Foz de Iguaçu. 14p, 1997.

PARKER, T. T.; RAYBURN, J. A comparison of electronic and traditional cigarette butt leachate on the development of *Xenopus laevis* embryos. **Toxicology Reports**, v. 4, p. 77-82, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.01.003>.

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

PEREIRA, S. P. **Tratamento de água com alta concentração de cianobactérias por meio da filtração lenta**. 2005. 104 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

PIZZOLATTI, B. S. **Influência da técnica de limpeza de filtros lentos e diâmetro dos grãos sobre a qualidade da água produzida, com destaque para remoção de carbamatos e oocistos de *Cryptosporidium* (simulados por microesferas)**. 2014. 225 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

POLARZ, S. et al. Hierarchical Porous Carbon Structures from Cellulose Acetate Fibers. **Chemistry Of Materials**, v. 14, n. 7, p. 2940-2945, 17 jun. 2002. <http://dx.doi.org/10.1021/cm011271r>.

PULS, J.; WILSON, S. A.; HÖLTER, D. Degradation of Cellulose Acetate-Based Materials: a review. **Journal Of Polymers And The Environment**, v. 19, n. 1, p. 152-165, 20 nov. 2010. <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-010-0258-0>.

RAHMAN, M. T.; MOHAJERANI, A. Thermal conductivity and environmental aspects of cigarette butt modified asphalt. **Case Studies In Construction Materials**, v. 15, dez. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00569>.

REN, X. et al. Novel membrane bioreactor (MBR) coupled with a nonwoven fabric filter for household wastewater treatment. **Water Research**, v. 3, n. 44, p. 751-760, fev. 2010. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.013>.

REWALD, F. G. **Tecnologia Dos Nãotecidos**: materias-primas, processos e aplicações finais.

São Paulo: Lctc, 2018. 207 p.

RODRIGUES, A. C. R. F. **Filtração de água usando conjuntamente materiais granulares e geotêxteis**. 131 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Urbana Ramo de Hidráulica Ambiental, Universidade do Minho, Braga, 2014.

ROY, R.; ISHTIAQUE, S. M.; DIXIT, P. Impact of fibre orientation on thickness and tensile strength of needle-punched nonwoven: optimization of carding parameters. **Journal Of Industrial Textiles**, p. 1-17, 18 mar. 2020. <http://dx.doi.org/10.1177/1528083720910706>.

RUSSEL S.J, **Handbook of nonwovens**. Woodhead Publishing Ltd e CRC Press. Washington, Cambridge, 2007.

SABZALI, A.; NIKAEEN, M.; BINA, B. Evaluation of cigarette filters rods as a biofilm carrier in integrated fixed film activated sludge process. **World Academy of Science, Engineering and Technology**, v. 75, n. 3, p. 101–106, 2011. <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.1069943>.

SALEM, Vidal. **Tingimento têxtil: fibras, conceitos e tecnologias**. São Paulo: ed. São Paulo. 300 p.

SANTOS, F. F. S. **Comparação entre os meios filtrantes areia e não tecido sintético na eficiência da filtração lenta para tratamento de água**. 2015. 182 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.

SATO, A. et al. Novel nanofibrous scaffolds for water filtration with bacteria and virus removal capability. **Journal of Electron Microscopy**, v. 3, n. 60, jun. 2011. <https://doi.org/10.1093/jmicro/dfr019>.

SENTHIL, KP; PUNITHA, V. An Overview of Nonwoven Product Development and Modelling of Their Properties. **Journal of Textile Science & Engineering**, v. 07, n. 04, 2017. <http://dx.doi.org/10.4172/2165-8064.1000310>.

SCHMITT, M. **Caracterização do Sistema Poroso de Rochas Selantes combinando-se Adsorção de Nitrogênio e Intrusão de Mercúrio**. 2009. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SCHUJMAN, O. S. **Estudo da viabilidade de utilização de geotêxteis não tecidos para filtração da água da chuva**. 2005. 15 f. TCC (Graduação) - Curso de Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SHEN, M. et al. Smoked cigarette butts: unignorable source for environmental microplastic fibers. **Science of The Total Environment**, v. 791, p. 148384, out. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148384>.

SILVA, A. L. O.; MOREIRA, J. C.; MARTINS, S. R. COVID-19 e tabagismo: uma relação de risco. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, n. 5, 2020. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-311x00072020>.

SOLTANI, S. M.; YAZDI, S. K.; HOSSEINI, S. Effects of pyrolysis conditions on the porous

structure construction of mesoporous charred carbon from used cigarette filters. **Applied Nanoscience**, v. 4, n. 5, p. 551-569, 15 maio 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s13204-013-0230-0>.

SOUZA, F. H. de. **Tratamento de água para abastecimento por meio de filtros lentos de fluxo ascendente com limpeza por retrolavagem e descarga de fundo**. 2015. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

SOUZA, J. C. de A.; CONEGERO, C. I. 1 Professor da Rede Estadual, participante do Programa de Desenvolvimento Educacional do Governo do Paraná (PDE). p. 34, 2009.

SUZUKI, T. et al. Removal of standard plate count bacteria from surface water with low turbidity via integrated M. oleifera seed coagulation pretreatment and two-layer cloth filtration process. **Journal of Water Process Engineering**, v. 38, p. 101648, dez. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101648>.

STRADER, P. M. **Front-End of Innovation to Inform the New Product Development Process: Identifying Opportunities for Cellulose Diacetate in Nonwoven Applications**. 2015. 146 f. Tese (Doutorado) - Curso de Têxtil, North Carolina State University, Carolina do Norte, 2015.

TAMMISSETTI, R. Research on the Effectiveness of Using Cloth as a Filter to Remove Turbidity from Water. **Cloth Filter And Turbidity Research**, p. 1-33, maio 2010.

TANG, X. et al. Introduction of amino and rGO into PP nonwoven surface for removal of gaseous aromatic pollutants and particulate matter from air. **Applied Surface Science**, v. 511, p. 145631, maio 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.145631>.

TAVARES, P. H. C. P. Detecção de Estireno em Resinas Acrílicas por FTIR. *In*: 32 Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2009. **Anais [...]**. : Sociedade Brasileira de Química. Fortaleza. 2009.

TOBACCO ATLAS. **Ambiente**. American Cancer Society. Disponível em: <<https://tobaccoatlas.org/topic/environment/> 2021>. Acesso em 20 de Jul de 2021.

TIAN, H. et al. Natural polypeptides treat pollution complex: Moisture-resistant multi-functional protein nanofabrics for sustainable air filtration. **Nano Research**, v. 11, n. 8, p. 4265-4277, ago. 2018. <https://doi.org/10.1007/s12274-018-2013-0>.

TORKASHVAND, J. et al. Effect of cigarette butt on concentration of heavy metals in landfill leachate : health and ecological risk assessment. **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v. 490, p. 483–490, 2021. <https://doi.org/10.1007/s40201-021-00621-0>.

URASHIMA, D. C; VIDAL D. Sistemas de filtração com produtos sintéticos: mecanismos, características e dimensionamento. *In*: Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 4. **Anais [...]**. São José dos Campos. 1999. p. 203-210. Disponível em: <<http://www2.ita.br/~delma/index/publicacoes.htm>>. Acesso em: 04 Jul. 2021.

URSINO, C. et al. Development of non-woven fabric-based ECTFE membranes for direct

contact membrane distillation application. **Desalination**, v. 500, p. 114879, mar. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2020.114879>.

VEETIL, D. P. et al. Filtration for improving surface water quality of a eutrophic lake. **Journal Of Environmental Management**, v. 279, p. 111766, fev. 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111766>.

VERTEMATTI, J. C.; **Manual Brasileiro de Geossintéticos**. São Paulo:, 2004. 413p. São Paulo: Edgard Blücher, 413 p. 2004.

VLASCEANU, A.M. et al. Evaluation of the toxicity of nicotine and its metabolite cotinine on crustacean *Daphnia magna*. **Toxicology Letters**. v. 238, n. 2, p. 329-345, out. 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.toxlet.2015.08.939>.

WADALKAR, S. et al. Design of precast concrete blocks for paving with the use of cigarette butts (Cellulose acetate). **International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology**. p. 2958-2965. jun. 2018. <http://dx.doi.org/10.22214/ijraset.2018.5482>.

WANG, H. et al. Fabrication and characterization of microcapsulated phase change materials with an additional function of thermochromic performance. **Solar Energy**, v. 139, p. 591-598, dez. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2016.10.011>.

WANG, W. et al. High efficiency pyrolysis of used cigarette filters for ester-rich bio-oil through microwave-assisted heating. **Journal Of Cleaner Production**, v. 257, p 1-7, jun. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120596>.

WINDOM, H.L. et al. Inadequacy of NASQUAN data for assessing metal trends in the nation's rivers. **Environmental Science and Technology**, 25, p. 1137-1142. 1991. <http://dx.doi.org/10.1021/es00018a019>.

XIONG, Q. et al. Cost-effective, highly and environmental friendly superhydrophobic adsorbent from cigarette filters for oil spillage cleanup. **Polymers**, 10, 1101. 2018a. <https://doi.org/10.3390/polym10101101>.

XIONG, Q. Nitrogen-doped hierarchical porous carbons from used cigarette filters for supercapacitors. **Journal Of The Taiwan Institute Of Chemical Engineers**, v. 15, n. 1, p. 315-323, fev. 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jtice.2018.07.019>.

XIONG, Q. et al. Cost-Effective, Highly Selective and Environmentally Friendly Superhydrophobic Absorbent from Cigarette Filters for Oil Spillage Clean up. **Polymers**, v. 10, n. 10, p. 1-16, out. 2018b. <http://dx.doi.org/10.3390/polym10101101>.

YASDI, S. K.; SOLTANI, S. M.; HOSSEINI, S. An Investigation into the Optimum Carbonization Conditions for the Production of Porous Carbon from a Solid Waste. **Advanced Materials Research**, v. 587 p. 89-92, nov. 2012. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.587.88>.

ZDRAVKOV, B. et al. Pore classification in the characterization of porous materials: a perspective. **Open Chemistry**, v. 5, n. 2, p. 385-395, jun. 2007.

<http://dx.doi.org/10.2478/s11532-007-0017-9>.

ZHANG, J. et al. Synergized Action of CuCl on Recycled Cigarette Butts as Corrosion Inhibitor for N80 Steel at 90 °C in 15% HCl. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 12, n. 50, p. 7264-7272, maio 2011. <http://dx.doi.org/10.1021/ie102288b>.

ZHANG, S. TANG, Y; VLAHOVIC, B. A Review on Preparation and Applications of Silver-Containing Nanofibers. **Nanoscale Research Letters**, v. 9, n. 1, p. 1-8, fev. 2016. <https://doi.org/10.1186/s11671-016-1286-z>.

ZHAO, J. et al. Cigarette Butts and Their Application in Corrosion Inhibition for N80 Steel at 90 °C in a Hydrochloric Acid Solution. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 49, n. 8, p. 3986-3991, mar. 2010. <https://doi.org/10.1021/ie100168s>.