



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE BLUMENAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA TÊXTIL

Giane Ramos Pereira

**Desenvolvimento de não-tecido produzido com fibras de poliéster e desfibrado
têxtil**

Blumenau
2023

Giane Ramos Pereira

**Desenvolvimento de não tecido produzido com fibras de poliéster e desfibrado
têxtil**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Têxtil.

Orientadora: Prof. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a.

Coorientadora Prof. Ana Julia Dal Forno, Dr^a.

Blumenau

2023

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

Ramos Pereira, Giane
Desenvolvimento de não-tecido produzido com fibras de
poliéster e desfibrado têxtil / Giane Ramos Pereira ;
orientador, Catia Rosana Lange de Aguiar, coorientador,
Ana Julia Dal Forno, 2023.
80 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Campus Blumenau, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Têxtil, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Sustentabilidade. 3. Resíduos
Têxteis. 4. Desfibrado Têxtil. 5. Não-tecido. I. Lange de
Aguiar, Catia Rosana . II. Dal Forno, Ana Julia . III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós
Graduação em Engenharia Têxtil. IV. Título.

Giane Ramos Pereira

**Desenvolvimento de não tecido produzido com fibras de poliéster e desfibrado
têxtil**

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 16 de agosto de 2023, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

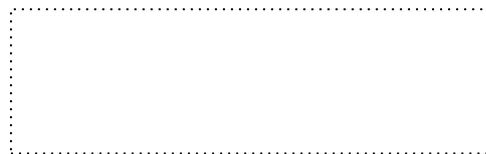
Prof^a. Dr^a. Fernanda Steffens Dr.a
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Brenno Henrique Silva Felipe Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

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



Prof^a. Dr^a. Fernanda Steffens
Coordenação do Programa de Pós-Graduação



Prof^a. Dr^a. Catia Rosana Lange de Aguiar Dr.a
Orientadora

Blumenau, 2023.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela minha vida, saúde e oportunidade de a cada novo dia fazer o meu melhor.

Ao meu pai pelos ensinamentos constantes, por prezar por minha educação, pelo amor.

A minha mãe pela dedicação não somente comigo, mas com todos de nossa família, um exemplo de doação constante.

À Mateus Henrique Tomaselli, meu filho amado que por muitas vezes entendeu a frase “a mamãe precisa estudar”, com compreensão e carinho.

A Edemilson Jerri Tomaselli, por me manter persistente, eu consegui!

À minha orientadora e amiga Dr.a Catia Rosana Lange de Aguiar, professora da UFSC, Campus Blumenau, que esteve ao meu lado em “todos” os momentos e me motivou na busca desse resultado.

Aos laboratórios e times responsáveis pela realização dos procedimentos experimentais; laboratório do Instituto de Inovação Biossintéticos e Fibras do CETIQT e SENAI, na cidade do Rio de Janeiro; laboratório de pesquisa GeMBac da UFSC (campus Trindade, Florianópolis), localizado no Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia (MIP) do Centro de Ciências Biológicas (CCB); laboratório de Tecnologia e Qualidade em Sistemas de Engenharia (TESIS) em São Paulo e o laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME), da UFSC, campus Florianópolis, minha gratidão por acreditarem ser possível inovar em processos e produtos têxteis.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia Têxtil da Universidade Federal de Santa Catarina e aos membros da banca Profa. Fernanda Steffens Dr.a, Prof. Brenno Henrique Silva Felipe Dr. e Prof. Miguel Angelo Granato Dr pela leitura e considerações ao trabalho.

À Eduardo Volkart da Rosa, diretor da Ecofiber Ltda. pelo constante apoio prestado.

A empresa Altenburg Têxtil Ltda. por proporcionar a oportunidade de realizar esse estudo e por manter as portas abertas mesmo após a minha saída da organização, viabilizando o acesso as informações.

Seja quem você for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá. (Ayrton Senna)

RESUMO

O segmento têxtil representa uma das maiores indústrias do mundo, que atualmente apresenta uma extensa produção de não-tecido, o que traz a necessidade de desenvolver soluções para a produção de não-tecidos que gerem menor impacto ambiental, tais como a diminuição de resíduos sólidos, demonstrando sua preocupação com o meio-ambiente. Diante disso, o objetivo desse estudo foi avaliar o comportamento de um não-tecido, desenvolvido com fibras de poliéster (PES) e desfiado têxtil (DT) em sua composição. Primeiramente, foi conduzido a caracterização das fibras de PES e DT utilizadas, por meio dos ensaios de densidade linear, realizada a identificação de bactérias mesófilas e empregada a técnica de microscopia eletrônica de varredura (MEV). Posteriormente, foram produzidas diferentes amostras de não-tecidos com distintos percentuais de DT (20%, 30% e 40%), bem como uma amostra com 100% fibras de PES (não-tecido padrão). Após a consolidação térmica dos não-tecidos as amostras foram submetidas a avaliação do comportamento por meio dos ensaios de resiliência, identificação de bactérias mesófilas e patogênicas (apenas na amostra padrão e a que apresentou melhor comportamento) e resistência a tração. Os resultados mostraram que a presença de até 30% de DT na composição do não-tecido não prejudicou a consolidação dos véus de fibras no não-tecido. As amostras com 20% e 30% de DT na sua composição apresentaram o melhor comportamento de recuperação de altura em comparação ao não-tecido padrão. O comportamento da resistência à tração mostrou que a adição de DT ao não-tecido permitiu um efeito positivo na resistência no sentido *machine direct* (MD). Os resultados da inoculação com $1,5 \times 10^5$ UFC/mL nas amostras padrão e com o não-tecido com 30% de DT mostraram uma redução significativa de 3 logs para *S. aureus* e 2 logs para *E. coli* ao longo do período de incubação. Baseado nesses resultados, pode-se concluir que a reutilização de resíduos sólidos industriais é uma abordagem sustentável e que ao empregar o DT na produção de não-tecidos, é uma alternativa possível de ser praticada para diminuir a geração de resíduos, e gerar novos produtos com valor agregado.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Resíduos Têxteis. Desfiado Têxtil. Não-tecido. Inovação.

ABSTRACT

The textile segment represents one of the largest industries in the world, which currently has an extensive production of nonwovens, which brings the need to develop solutions for the production of nonwovens that generate less environmental impact, such as reducing solid waste, demonstrating its concern for the environment. Therefore, the objective of this study was to evaluate the behavior of a nonwoven, developed with polyester fibers (PES) and textile defiber (TD) in its composition. First, the characterization of the PES and TD fibers used was carried out, through linear density tests, the identification of mesophilic bacteria was carried out and the scanning electron microscopy (SEM) technique was used. Subsequently, different samples of nonwovens with different percentages of TD (20%, 30% and 40%) were produced, as well as a sample with 100% PES fibers (standard nonwoven). After thermal bonding of the nonwovens, the samples were submitted to behavior evaluation through resilience tests, identification of mesophilic and pathogenic bacteria (only in the standard sample and the one that presented the best behavior) and tensile strength. The results showed that the presence of up to 30% of TD in the nonwoven composition did not harm the consolidation of the web, in the nonwoven. Samples with 20% and 30% TD in their composition showed the best height recovery behavior compared to the standard nonwoven. The behavior of tensile strength showed that the addition of TD to the nonwoven allowed a positive effect on strength in the machine direct (MD) direction. The results of inoculation with 1.5×10^5 CFU/mL in the standard samples and with the nonwoven with 30% TD showed a significant reduction of 3 logs for *S. aureus* and 2 logs for *E. coli* over the incubation period. Based on these results, it can be concluded that the reuse of industrial solid waste is a sustainable approach and that when using TD in the production of nonwovens, it is a possible alternative to be practiced to reduce waste generation and generate new products with value aggregate.

Keywords: Sustainability. Textile Waste. Textile shredded. Nonwoven. Innovation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura da cadeia produtiva têxtil no Brasil com ênfase em não tecido de fibras de PES e DT.....	21
Figura 2 – Classificação dos diferentes tipos de fibras associadas com a cadeia têxtil.	23
Figura 3 – Micrografias de superfície de diferentes fibras utilizadas para a formação de não tecidos.	25
Figura 4 – Técnicas de consolidação de fibras. a) Consolidação térmica por cilindros aquecidos; b) Consolidação mecânica; c) Consolidação química.....	30
Figura 5 – Carda, dobrador de véus e forno para consolidação.....	30
Figura 6 – Tecnologias de reciclagem de resíduos sólidos têxteis.....	33
Figura 7 – Etapas de produção do desfibrado têxtil.	36
Figura 8 – Fibras de PES e DT utilizadas para a produção de não tecidos. (a) Fibra B01; (b) Fibra 1; (c) Fibra2; (d) Fibra 3; (e) DT.....	40
Figura 9 – Resíduos empregados como DT. (a) refíles de tecido plano, (b) resíduos de microfibras, (c) resíduos de meia malha.	41
Figura 10 – Desfibrado têxtil (a) branco, (b) e (c) tonalidades distintas ou mil cores, (d) fardos.	42
Figura 11 – Fluxograma das atividades experimentais.	43
Figura 12 – Fardos de fibras 100% PES (a), (b), (c) e DT (d) para a fabricação das amostras experimentais na entrada dos carregadores.	47
Figura 13 – Fluxograma referente ao processo de fabricação do não tecido com fibras de PES e do não tecido com fibras de PES e diferentes percentuais de DT.	48
Figura 14 – Materiais utilizados para determinar a compressão e recuperação das amostras de não tecidos.	53
Figura 15 – Resultados de microbiologia das diferentes amostras de fibras. a) Fibra B01; b) Fibra 1; c) Fibra 2; d) Fibra 3.	59
Figura 16 – Resultados de microbiologia do DT.....	60
Figura 17 – Microfotografias das diferentes fibras empregadas no estudo. a) B01 têxtil; b) Fibra 1 c) Fibra 2; d) Fibra 3; e) DT amostra 1; f) DT amostra 2.	60
Figura 18 – Resultados de microbiologia das diferentes amostras de não tecidos. a) Amostra Padrão; b) Amostra A; c) Amostra B; d) Amostra C.	62

Figura 19 – Resultados de microscopia das diferentes amostras de nãotecidos. a) Amostra Padrão; b) Amostra A; c) Amostra B; d) Amostra C.....	62
Figura 20 – Microfotografias das diferentes amostras de nãotecidos. a) Amostra padrão (controle); b) Amostra A; c) Amostra B, d) Amostra C.....	64
Figura 21 – Valores médios da altura das estruturas empilhadas das diferentes amostras.....	66
Figura 22 – Resultados médios da altura da estrutura das diferentes amostras.....	67
Figura 23 – Resultados de resistência a tração das diferentes amostras. a) Amostra Controle (padrão); b) Amostra A; c) Amostra B; d) Amostra C.....	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Técnicas de formação, consolidação e acabamento de não tecidos.	28
Quadro 2 – Estudos desenvolvidos com não tecido de desfibrado têxtil.....	37
Quadro 3 – Classificação Internacional de Patentes (CIP).	38
Quadro 4 – Tipos de fibras utilizadas na fabricação do produto não tecido.	40
Quadro 5 – Descrição do substrato têxtil utilizado na fabricação do desfibrado têxtil.	41
Quadro 6 – Orientação das amostras para o ensaio de resistência a tração.	54
Quadro 7 – Identificação de bactérias mesófilas nas diferentes fibras avaliadas e desfibrado têxtil.	58
Quadro 8 – Identificação de bactérias mesófilas em não tecido de PES e não tecido com diferentes percentuais de DT.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fibras de PES e percentuais utilizados para fabricação da amostra de não-tecido padrão.....	46
Tabela 2 – Fibras e percentuais utilizados para fabricação das amostras experimentais com diferentes percentuais de DT.....	47
Tabela 3 – Valores médios da densidade linear das diferentes fibras utilizadas.....	56
Tabela 4 – Resultados da presença de <i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Escherichia coli</i> nas amostras de não-tecido padrão e com 30% de DT.	63
Tabela 5 – Alongamento médio das diferentes amostras de não-tecido avaliadas.	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIT	Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção
CCB	Centro de Ciências Biológicas
CD	Cross Direction
CONMETRO	Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
DT	Desfibrado Têxtil
EDANA	European trade association for the nonwovens industry
ESG	Environmental, Social, Governance
GEE	Gases de Efeito Estufa
GeMBac	Laboratório de Genética Molecular de Bactérias
IEMI	Instituto de Estudos e Marketing Industrial LTDA
LCME	Laboratório Central de Microscopia Eletrônica'
MD	Machine Direction
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
MIP	Microbiologia, Imunologia e Parasitologia
NBR	Associação Brasileira de Normas Técnicas
PES	Poliéster
PGETEX	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Têxtil
TESIS	Laboratório de Tecnologia e Qualidade em Sistemas de Engenharia
TSA	Triptona da Soja
UFC	Unidades Formadoras de colônias
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	18
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1	CADEIA PRODUTIVA TÊXTIL NO BRASIL.....	19
2.1.1	Importância da cadeia produtiva têxtil na economia brasileira	19
2.1.2	Etapas dos processos produtivos da cadeia têxtil	20
2.2	MATÉRIAS-PRIMAS EMPREGADAS NO SEGMENTO TÊXTIL.....	22
2.3	NÃOTECIDOS	25
2.3.1	Produção de não tecidos	26
2.3.1.1	<i>Fibras empregadas para a produção de não tecidos</i>	26
2.3.2	Fabricação de não tecidos	28
2.4	IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS GERADOS PELA INDÚSTRIA TÊXTIL	31
2.5	RECICLAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL.....	33
2.5.1	Reciclagem química	34
2.5.2	Reciclagem térmica	34
2.5.3	Reciclagem mecânica	35
2.6	DESFIBRADO TÊXTIL.....	35
2.7	A PRODUÇÃO DE NÃOTECIDO A PARTIR DE DESFIBRADO TÊXTIL ...	37
3	MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1	MATERIAIS.....	39
3.1.1	Fibras e desfibrado têxtil	39
3.2	MÉTODOS	42
3.2.1	Caracterização das fibras de PES e DT	44
3.2.1.1	<i>Determinação da densidade linear das fibras</i>	44
3.2.1.2	<i>Identificação de bactérias mesófilas nas fibras de PES e DT</i>	45
3.2.1.3	<i>Análise de microscopia eletrônica de varredura nas fibras de PES e DT</i> ...	46
3.2.2	Composição das amostras de não tecido para o processo de manufatura	46

3.2.3	Produção do não tecido	47
3.2.4	Comportamento das amostras de não tecido produzidas	50
3.2.4.1	<i>Análise de microscopia eletrônica de varredura nos não tecidos de PES e DT</i>	50
3.2.4.2	<i>Identificação de bactérias nas amostras de não tecido produzidas</i>	51
3.2.4.2.1	Identificação de bactérias mesófilas	51
3.2.4.2.2	Identificação de algumas bactérias que causam riscos à saúde humana	51
3.2.4.3	<i>Determinação da compressão e recuperação de não tecidos volumosos</i> ...	52
3.2.4.4	<i>Determinação da resistência à tração</i>	53
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1	CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS E DOS NÃO TECIDOS PRODUZIDOS	56
4.1.1	Determinação da densidade linear das fibras	56
4.1.2	Identificação de bactérias nas fibras de PES e DT	57
4.1.2.1	<i>Bactérias mesófilas em fibras de poliéster e no desfibrado têxtil</i>	57
4.1.3	Microscopia eletrônica de varredura nas fibras de PES e DT	60
4.2	COMPORTAMENTO DAS AMOSTRAS DE NÃO TECIDO PRODUZIDAS	.61
4.2.1	Identificação de bactérias mesófilas nas diferentes amostras de não tecido	61
4.2.2	Bactérias que causam riscos à saúde humana	63
4.2.3	Microscopia eletrônica de varredura nos não tecidos de PES e DT	64
4.2.4	Compressão e recuperação de não tecidos volumosos	65
4.2.5	Resistência à tração	67
5	CONCLUSÕES	70
	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS	72
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a indústria têxtil apresenta um papel fundamental na economia do país, pois é conhecida por ser a quinta maior indústria têxtil do mundo e a quarta no segmento de vestuário (CAVALCANTI et al., 2022,). Além disso, é autossuficiente em produção de algodão, e é a maior cadeia têxtil completa do ocidente, que produz desde a fibra até o varejo, e pode se tornar exportador mundial de fibras sintéticas com a descoberta do pré-sal (ABINT, 2021). Conforme dados informados pela Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção (ABIT), no Brasil o segmento têxtil é o segundo maior empregador, perdendo apenas para alimentos e bebidas juntos.

Apesar da indústria têxtil apresentar extrema relevância para a economia nacional, por demandar do uso intensivo de mão de obra e conseqüentemente gerar rendas e empregos ao longo da cadeia produtiva, o setor têxtil está associado com a geração de impactos ambientais negativos (GARG et al., 2017). Geração de efluentes e resíduos sólidos, produção de gases do efeito estufa, alto consumo de água e energia, são alguns dos aspectos causadores de impactos ambientais predominantes na indústria têxtil (MADHAV et al., 2018; ALLWOOD et al., 2006).

Nesse sentido, em ordem de minimizar os efeitos do crescimento produtivo gerado na cadeia têxtil, a adoção de alternativas que proporcionem, em paralelo, o desenvolvimento e a qualidade ambiental vem sendo incentivadas e utilizadas dentro desse segmento (CASTILLO-SUÁREZ et al., 2023). Ferramentas atreladas com a sustentabilidade, produção mais limpa, economia circular, bem como as práticas conhecidas mundialmente como *environmental, social, governance* (ESG) são altamente implementadas nessa cadeia produtiva (HALBRITTER; DORFLEITNER, 2015).

Dentro desse contexto, um dos impactos ambientais significativos produzidos pela indústria têxtil é alto volume de geração de resíduos sólidos (MADHAV et al., 2018). A quantidade de resíduos têxteis pode variar conforme a região do país, a densidade demográfica, o estilo de vida e a cultura da população (CASTILLO-SUÁREZ et al., 2023). Nos países como China, Estados Unidos da América e Reino Unido a produção de resíduos está estimada em cerca de 26, 15,1 e 1,7 milhões de

toneladas ao ano, respectivamente (HU et al., 2018). Já no Brasil esses valores estão na casa de 4 milhões de toneladas (SOUZA et al., 2022).

Diante desse cenário, o reuso e a reciclagem dos resíduos têxteis é uma prática bastante utilizada nas indústrias desse segmento. Dentre as diferentes alternativas tecnológicas de reciclagem passíveis de serem empregadas, a reciclagem mecânica apresenta muitas vantagens de aplicação e um dos produtos gerados por esse processo é o desfibrado têxtil (DT) (MADHAV et al., 2018).

O DT é um produto produzido a partir da passagem dos retalhos que são considerados resíduos para uma máquina desfibradora que transforma os mesmos em fibras descontínuas. Em um segundo momento, as fibras abastecem o setor de fiação onde produzem os fios reciclados, e os mesmos seguem para as empresas de tecelagem ou malharia, podendo ser elaborados produtos com tecidos totalmente reciclados ou mesclar sua produção com outros tecidos não reciclados (TALLINI; CEDOLA, 2018). Esse material é altamente empregado no mercado para a produção de produtos do ramo automobilístico, barbantes, produção de mantas geotêxteis para fins industriais, revestimentos, compostos utilizados na construção civil, enchimentos entre outros (CARVALHO, 2016).

No entanto, o DT além de ser utilizado para a produção de outros artigos, devido sua capacidade de retornar com características das fibras iniciais, pode ser utilizado para a confecção de nãotecidos (TALLINI; CEDOLA, 2018). A indústria de nãotecidos no Brasil está em constante crescimento e demanda de alto volume de matéria-prima como as fibras tanto originais como as recicladas (ABINT, 2021). Diferentes trabalhos disponíveis na literatura internacional apontam que é possível produzir nãotecido com DT (SHARMA et al., 2017; WAZNA et al., 2018; SADROLODABAEI et al., 2021). No entanto, até o momento não se conhece qual o real desempenho de um nãotecido quando fabricado com diferentes percentuais de DT em sua composição, tampouco quais os melhores critérios e parâmetros. Além disso, não se conhece se o DT pode favorecer no crescimento de bactérias que sejam prejudiciais à saúde humana, bem como os efeitos dessas bactérias no produto final. Nesse sentido, o objetivo desse estudo foi avaliar o comportamento de um produto nãotecido, produzido com diferentes quantidades de desfibrado têxtil e fibras de poliéster em sua composição.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o comportamento de um nãotecido produzido com fibras de poliéster e desfibrado têxtil em sua composição.

1.1.2 Objetivos específicos

- i. Avaliar a influência da composição de DT no comportamento de resistência mecânica, resiliência e consolidação das amostras de nãotecidos fabricadas;
- ii. Identificar a presença de bactérias mesófilas nas fibras e nãotecidos fabricados;
- iii. Identificar os riscos de contaminação por bactérias patogênicas na amostra de nãotecido padrão e na que apresentou melhor comportamento e consolidação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são abordadas as definições teóricas vinculadas com a cadeia têxtil no Brasil, aspectos relacionados com a produção de não tecido, os impactos ambientais gerados pela cadeia têxtil, bem como pesquisas sobre o processo de fabricação de não tecido com reuso de resíduos sólidos gerados pela cadeia têxtil.

2.1 CADEIA PRODUTIVA TÊXTIL NO BRASIL

2.1.1 Importância da cadeia produtiva têxtil na economia brasileira

O Brasil é a quinta maior indústria têxtil do mundo e a quarta no segmento de vestuário, cuja produção média, em toneladas, é da ordem de 1,91 milhão em 2020 (IEMI, 2021). A indústria têxtil promove 1,36 milhão de empregos diretos e em 2020, representou 19,8% do total de trabalhadores alocados na produção industrial e 5% do valor total da produção da indústria brasileira de transformação (IEMI, 2021).

Segundo o Instituto de Estudos e Marketing Industrial (2021), a cadeia têxtil brasileira abrange mais de 24,6 mil fábricas instaladas no país. Junto desses dados, o Brasil é o único país do ocidente que possui a cadeia têxtil totalmente verticalizada (ABIT, 2021). Essa abrangência resulta em um faturamento total do setor de mais de 161 bilhões em 2020 (IEMI, 2021).

Nesse sentido, à alta relevância da indústria têxtil na economia nacional demanda o uso intensivo de mão de obra, gerando renda e empregos. Esse fato está atrelado a grande produção per capita de têxteis no Brasil, que atingiu 9,9 kg/habitante, com um consumo na ordem de 13,3 kg/habitante, sendo que a referida diferença é atendida pelo mercado internacional (ABIT, 2021).

Especificamente para o segmento de não tecidos, a indústria têxtil vem mostrando crescimento com o passar dos anos. Uma comparação entre a produção de não tecidos mostra que ocorreu um aumento de 0,4% entre a produção dos anos de 2018 e 2019 a nível mundial. Já em relação ao consumo de não tecidos no ano de 2019, o Brasil alcançou 312.158 toneladas, uma aceleração em relação ao ano anterior, quando o crescimento estimado foi de 1,5%. Os segmentos conhecidos como duráveis (automotivos, construção civil, vestuário, geotêxtil, industrial, varejo e

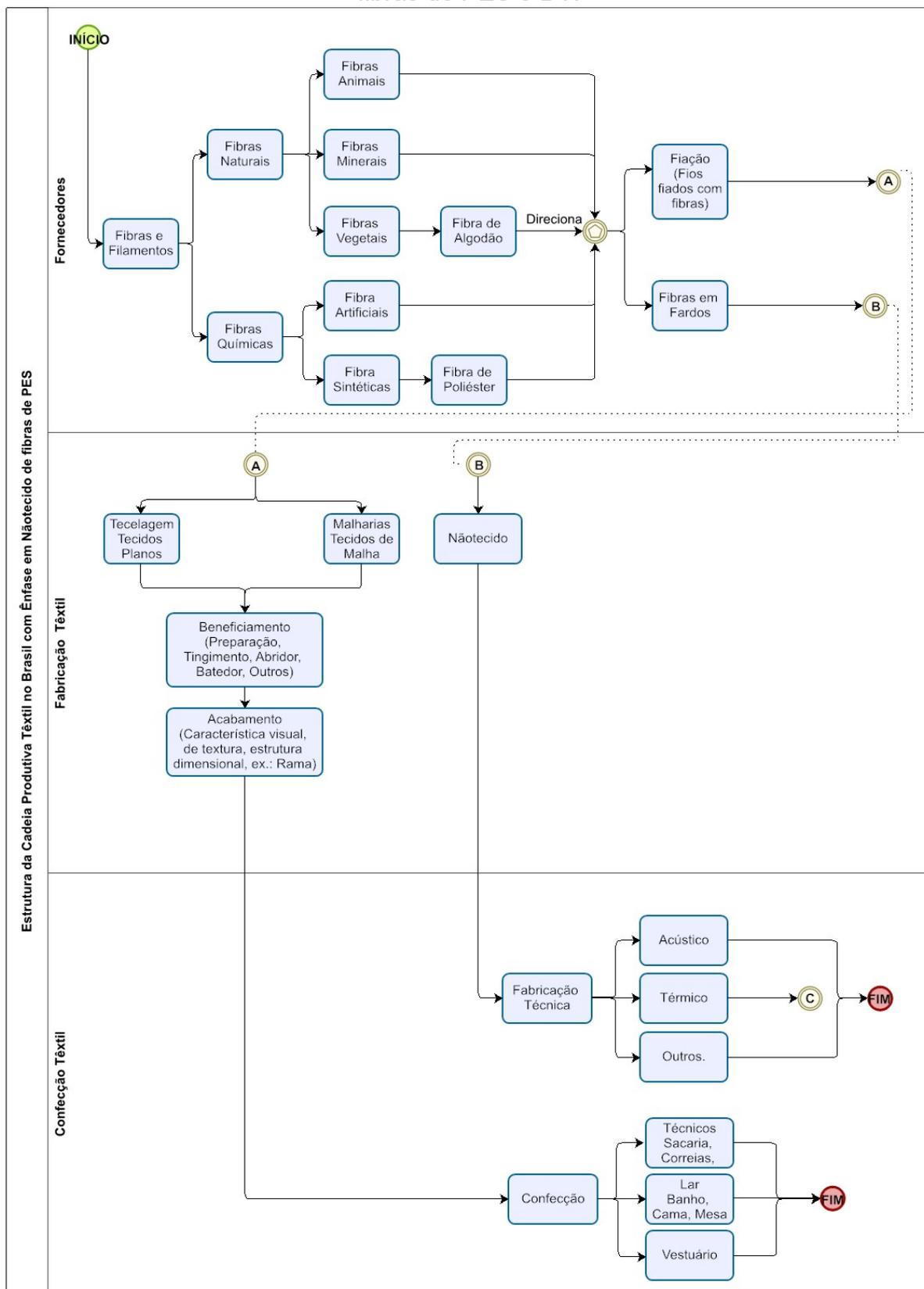
calçados), que representaram 40% do mercado total, apresentaram aumento nos pedidos na casa dos 3,6% em 2019, ante um aumento de 5% em 2018. Já os descartáveis (médico-hospitalar, higiênico, limpeza doméstica e filtração) cresceram 4,7% em 2019. O restante da demanda para esse mercado foi suprido por importação.

2.1.2 Etapas dos processos produtivos da cadeia têxtil

Em relação a cadeia produtiva têxtil, o início do processo produtivo é constituído primeiramente pelo processo de produção das fibras. Posteriormente, as empresas de fiação produzem os fios. Essas empresas apresentam um grande volume de capital e tecnologia, são automatizadas e apresentam um baixo índice de mão de obra. Na etapa seguinte da cadeia, estão as indústrias de tecelagem e malharia (GORIN; SIQUEIRA, 2002). No último elo da cadeia encontram-se as confecções, que apresentam como característica baixo uso de capital e tecnologias, porém, são muito intensas no uso de mão de obra. Por esses motivos são formadas em sua grande maioria, por micro e pequenas empresas, maior parte delas informais (REIKE et al., 2022).

Dentro da cadeia têxtil, o não-tecido é considerado como parte da indústria de tecidos técnicos. Essa indústria engloba uma ampla variedade de materiais têxteis com características especiais e desempenho específico para aplicações industriais ou técnicas. Na cadeia têxtil, o não-tecido está localizado na fase de produção de materiais têxteis antes da etapa de tecelagem (REIKE et al., 2022). Na Figura 1 é apresentada a estrutura da cadeia produtiva têxtil no Brasil com ênfase em não-tecido. Essa cadeia se inicia na produção ou cultivo das fibras, sendo direcionado à fiação, já o processo de fabricação têxtil, passa pela construção do tecido com diversas possibilidades de beneficiamentos e acabamentos que podem ser realizados. Nessa fase encontra-se também o não-tecido, ênfase desse trabalho. Em seguimento é apresentado o processo de confecção têxtil, aberto para o campo de vestuário, cama, banho e também para o técnico acústico e térmico, onde se encaixa o não-tecido.

Figura 1 – Estrutura da cadeia produtiva têxtil no Brasil com ênfase em nãotecido de fibras de PES e DT.



Fonte: O Autor, (2023).

Conforme apresentado na Figura 1 as principais etapas atreladas com a cadeia têxtil são: (i) plantio das fibras naturais ou a produção das fibras sintéticas (ii) o processamento e preparação das fibras naturais para remoção de impurezas e obtenção de fibras adequadas ao processamento têxtil; (iii) fiação; (iv) tecelagem; (v) beneficiamento ou acabamento (KÖKSAL et al., 2017).

Já em relação a produção de não tecidos as principais etapas são: (i) a seleção da matéria-prima a qual é considerada uma etapa primordial para a qualidade do produto final; (ii) a preparação das fibras por meio de um processo de preparação que envolve a limpeza, o alinhamento e a abertura das fibras. Isso pode ser feito através de máquinas de cardagem e outras técnicas de processamento; (iii) formação da estrutura, onde as fibras são depositadas em uma esteira ou tela de forma aleatória ou orientada. Isso pode ser feito através de diferentes métodos (*spunbond*, *meltblown*); (iv) consolidação, processo em que as fibras são consolidadas para formar um não tecido coeso. Isso pode ser feito por meio de diferentes processos, como calandragem, agulhagem, termo-ligação, colagem química, entre outros. A consolidação visa melhorar a resistência e a integridade do não tecido.; (v) acabamento após a consolidação, o não tecido pode passar por um processo de acabamento para melhorar suas propriedades finais. Isso pode incluir tratamentos de superfície, como revestimento, impressão, tingimento, entre outros (KÖKSAL et al., 2017).

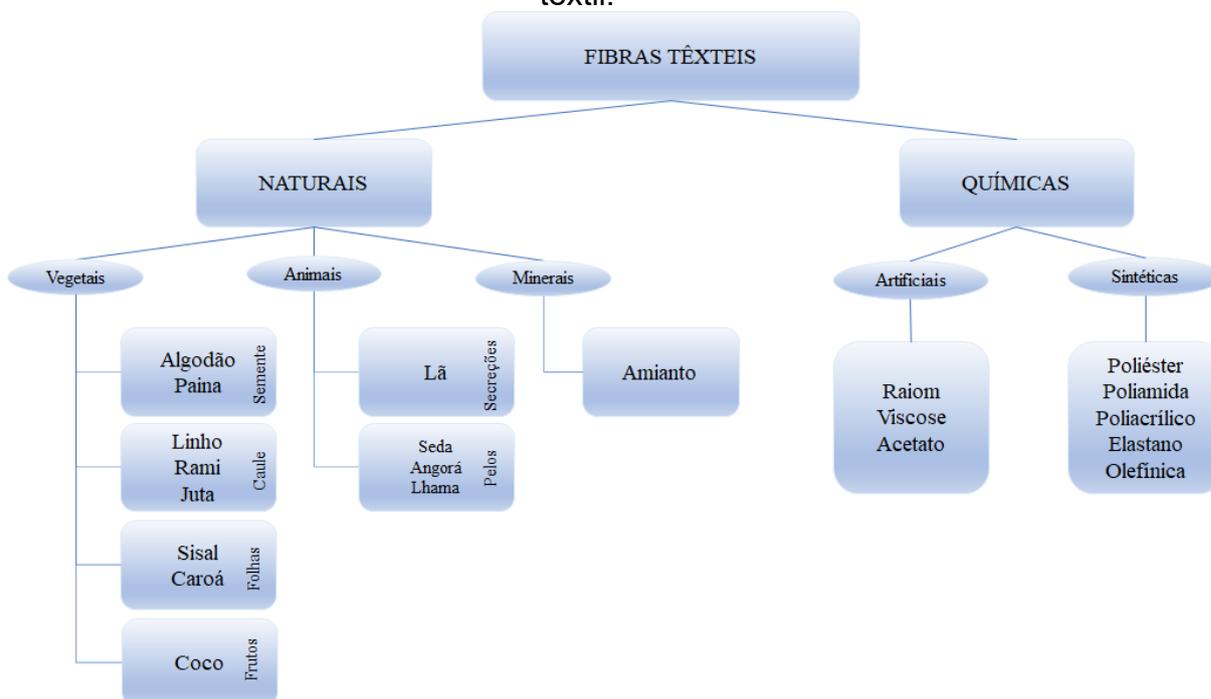
2.2 MATÉRIAS-PRIMAS EMPREGADAS NO SEGMENTO TÊXTIL

As fibras têxteis são submetidas a processos de fabricação e, podem ser transformadas em fios para serem utilizadas em diferentes produtos têxteis ou demais usos industriais. O regulamento do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) define as fibras têxteis como toda matéria de origem vegetal, animal ou mineral, assim como toda matéria artificial ou sintética, que por sua alta relação entre seu comprimento e seu diâmetro, e ainda, por suas características de flexibilidade, suavidade, elasticidade, resistência, tenacidade e finura está apta às aplicações têxteis.

Um grande número e variedade de fibras são utilizados na cadeia produtiva têxtil, e podem ser classificadas como químicas ou naturais. As fibras têxteis podem ser classificadas como: (i) naturais: aquelas encontradas na natureza (algodão de

origem vegetal, lã de origem animal e asbestos de origem mineral, bagaço de cana, serragem, durian, fibra de palma, folhas de abacaxi, arroz, espiga de milho); (ii) químicas: aquelas obtidas por processos industriais, que ainda são subdivididas em artificiais, obtidas por meio de processos que utilizam polímero natural (a celulose); e (iii) sintéticas: cujos processos produtivos utilizam polímeros sintetizados a partir de produtos petroquímicos de primeira geração (eteno, propeno, benzeno e paraxileno) (BARBOSA et al, 2004). (iv) artificial: as fibras artificiais são produzidas com polímeros naturais que, na sua forma original, não são aproveitados na indústria têxtil, mas que depois de modificados criam fibras úteis para a mesma. Nesta categoria de fibras têxteis fazem parte as fibras de base celulósica como o liocel, a viscose e o modal. Estas caracterizam-se pelo facto de terem uma textura suave, um brilho único e propriedades distintas de absorção/dessorção (SINCLAIR, 2014). A Figura 1, apresenta de forma simplificada, um fluxograma destacando a classificação das fibras.

Figura 2 – Classificação dos diferentes tipos de fibras associadas com a cadeia têxtil.



Fonte: Adaptado de Barbosa et al., (2004).

As fibras têxteis podem ser utilizadas de forma isolada na fabricação de não tecidos, e também aplicadas na produção de tecidos convencionais. No entanto, sua maior utilização acontece na área de fiação (BARBOSA et al., 2004).

Dos 113 milhões de toneladas de fibras têxteis produzidos em 2021, 72,2 milhões de toneladas correspondem a fibras sintéticas, sendo 60,5 milhões de toneladas de fibras de PES. Ao mesmo tempo, a participação de fibras naturais em relação à produção mundial caiu de 30% para 28% devido ao recuo da oferta de algodão. Já a utilização de fibras recicladas aumentou de 8% em 2020 para 8,9% em 2021 (FEBRATEX, 2021).

O consumo de fibra de algodão no Brasil corresponde a 84% do consumo total, ou 1.042 milhão de toneladas, seguido pelo de têxteis de fibras artificiais e sintéticas (13%) e de outras fibras naturais (3%). O Brasil é o terceiro país exportador de algodão, o quinto maior consumidor e o primeiro em produtividade em sequeiro (cultivo em terrenos de baixa pluviosidade) com volume médio próximo de 1,7 milhão de toneladas de pluma de algodão por safra, o que posiciona o país entre os cinco maiores produtores mundiais sendo a China, Índia, Estados Unidos da América e Paquistão (IEMI, 2021).

Posteriormente ao algodão, o poliéster é a fibra sintética mais consumida no setor têxtil, representando pouco mais de 50% da demanda total de fibras químicas e pode ser utilizada pura ou em mistura com outras fibras, em proporções variadas. Os tecidos resultantes prestam-se à fabricação de diversos artigos têxteis, empregados no vestuário, linha lar e tecidos técnicos, sendo uma das fibras de menor custo (ABIT, 2021).

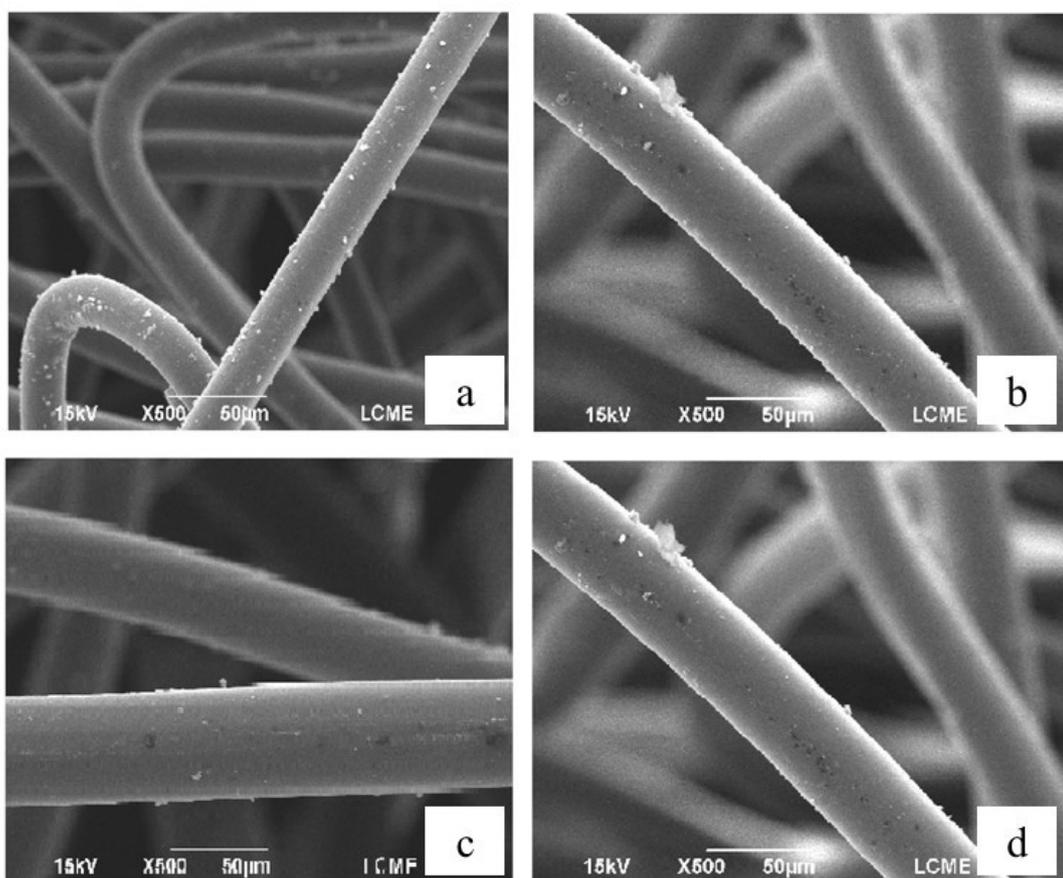
A poliamida é considerada a mais nobre das fibras sintéticas, apresenta uma elevada resistência mecânica, cerca de 3,5 vezes superior ao algodão, baixa absorção de umidade, possibilidade de texturização e boa aceitação de acabamentos têxteis, o que permite a obtenção de tecidos com aspectos diferenciados. A principal utilização da poliamida na área têxtil ocorre na fabricação de tecidos de malha para a confecção de meias, moda praia, moda íntima e artigos esportivos (MELO; CASTRO, 1986).

As fibras elastoméricas (elastano PUE) exercem um papel complementar em relação às demais fibras têxteis. Sua função específica é conferir elasticidade aos tecidos convencionais (de malha ou planos) o que permite confeccionar peças de vestuário que aderem ao corpo, acompanhando suas formas sem tolher os movimentos, podendo atingir até cinco vezes seu tamanho normal sem se romperem (MELO, CASTRO, 1986).

2.3 NÃTECIDOS

O termo nãotecido conhecido internacionalmente como nonwoven foi criado para designar um amplo grupo de têxteis produzidos por métodos não convencionais, como tecelagem e malharia, mas não o excluí da categoria de têxteis (COSTA, 2003). Segundo a NBR 13370 de 2017 (ABNT, 2017), nãotecido é conhecido como 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 diferentes mecanismos. Na Figura 3 são apresentadas micrografias das diferentes fibras utilizadas para a formação de nãotecidos cuja superfície apresenta-se lisa e sem rugosidades, proporcionando melhor consolidação e resistência ao naotecido, sendo a Figura 3(a) a fibra de 4,6 *denier* x 51 mm - branca, a Figura 3(b) a fibra de 13,5 *dtex*; x 64 mm, branca, a Figura 3(c) a fibra de 19,0 *denier* x 64 mm, semi-opaca e a Figura 3(d) da fibra de 11,1 *denier* x 64 mm, branca, respectivamente.

Figura 3 – Micrografias de superfície de diferentes fibras utilizadas para a formação de nãotecidos.



Fonte: Rosa, (2021).

Esta estrutura é, portanto, diferente do tecido plano, que conforme a NBR 12546/2017 (ABNT, 2017) se trata de uma estrutura produzida pelo cruzamento formado por dois elementos, sendo um conjunto de fios dispostos na direção longitudinal, chamado de urdume e outro conjunto de fios dispostos na transversal, chamado de trama, formando ângulo aproximadamente de 90°. 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.

A utilização de nãotecidos está envolvida em uma ampla cadeia associada com calçados, coletes a prova de bala, confecções em geral, embalagens de proteção em geral, filtração de ar e de água, barragens, estabilização de solos e subsolos, recapeamento, impermeabilização de lajes, piscinas e reservatórios, contenção de solos e arrimos, aterros mecânicos, reforço de concreto, impermeabilização de subcoberturas, redes de proteção e contenção e outros, revestimentos, reforços de estrutura (ABIT, 2021).

2.3.1 Produção de nãotecidos

O processo de fabricação de nãotecido está relacionado principalmente com as características requeridas do produto final. Nesse sentido, a fibra utilizada e o processo de fabricação empregado influenciam nas características finais do nãotecido produzido (gramatura, espessura e consolidação das fibras) (RUSSEL, 2007). A seguir, o tipo de fibras, bem como os processos utilizados para a produção de nãotecidos, são apresentados.

2.3.1.1 *Fibras empregadas para a produção de nãotecidos*

O regulamento do CONMETRO define as fibras têxteis ou filamentos têxteis como toda matéria natural, de origem vegetal, animal ou mineral, assim como toda matéria sintética, que por sua alta relação entre seu comprimento e seu diâmetro, e ainda, por suas características de flexibilidade, suavidade, elasticidade, resistência, tenacidade e finura está apta às aplicações têxteis (CONMETRO, 2008).

Dentre as fibras disponíveis no mercado para a produção de não tecido, no Brasil, o consumo de fibra de algodão corresponde a 84% do consumo total, ou 1.042 milhão de toneladas, seguido pelo de têxteis de fibras artificiais e sintéticas (13%) e de outras fibras naturais (3%) (IEMI, 2021).

O poliéster (PES) é a fibra sintética mais consumida no setor têxtil, representando pouco mais de 50% da demanda total de fibras químicas e pode ser utilizada pura ou em mistura com outras fibras, em proporções variadas, sendo uma das fibras de menor custo. Os tecidos resultantes prestam-se à fabricação de diversos artigos têxteis, empregados no vestuário, linha lar e tecidos técnicos (GILENO et al., 2021). As primeiras fibras de PES surgiram em 1941 e são formadas a partir de ácidos aromáticos sintéticos e glicóis. A seção transversal da fibra de PES pode ser modificada para criar tecidos com inúmeras características especiais, alterando seu brilho, toque e caimento. A grande vantagem dessa fibra é a sua alta estabilidade dimensional quando sofre um processo de termofixação (RUSSEL, 2007).

Na produção de não tecidos, são utilizadas diferentes fibras, cada uma com suas características e propriedades específicas. Conforme Gileno et al. (2021), alguns dos tipos de fibras comumente empregadas nesse processo encontram-se descritas a seguir:

- Fibras de polipropileno: O polipropileno é um polímero sintético amplamente utilizado na fabricação de não tecidos. Essas fibras são leves, duráveis, resistentes à umidade e possuem boa capacidade de retenção de líquidos. Elas são amplamente utilizadas em produtos descartáveis, como fraldas, lenços umedecidos, roupas hospitalares, entre outros.
- Fibras de poliéster: O poliéster é outro polímero sintético que é frequentemente utilizado na produção de não tecidos. Essas fibras são conhecidas por sua resistência transversal e longitudinal (tração), durabilidade, baixa absorção de umidade e boa capacidade de resistência a rasgos. Elas são empregadas em produtos como estofados automotivos, filtros, materiais de isolamento, entre outros.
- Fibras de viscose: A viscose é uma fibra artificial obtida a partir da celulose. Ela é macia, absorvente e confortável ao toque. As fibras de viscose são frequentemente utilizadas na fabricação de produtos para cuidados pessoais, como lenços umedecidos, absorventes higiênicos, roupas íntimas descartáveis, entre outros.

- Fibras de algodão: O algodão é uma fibra natural amplamente conhecida por sua maciez, conforto e capacidade de absorção. Essas características tornam as fibras de algodão ideais para produtos de cuidados pessoais, roupas íntimas, lençóis hospitalares, entre outros produtos de uso diário.

Além dessas fibras mencionadas, outros tipos de fibras, como poliamida, acrílico e fibras biodegradáveis, também podem ser empregados na produção de não tecidos, dependendo das necessidades específicas do produto final. Nesse sentido, as fibras utilizadas na produção de não tecidos abrangem uma ampla gama de materiais, desde fibras sintéticas como polipropileno e poliéster, até fibras naturais como algodão e viscose. A escolha da fibra depende das propriedades desejadas para o produto final e das necessidades da aplicação específica (RUSSEL, 2007).

2.3.2 Fabricação de não tecidos

Existem quatro etapas primárias atreladas a produção de não tecidos. Essas etapas incluem a seleção e o preparo da fibra, a formação, a consolidação dos véus de manta e o acabamento final (RUSSEL, 2007). O Quadro 1 apresenta de forma resumida os métodos de formação, consolidação e acabamento dos véus no processo de produção do não tecido.

Quadro 1 – Técnicas de formação, consolidação e acabamento de não tecidos.

Formação do véu	Consolidação do véu	Acabamento
Via seca	Térmico	Tratamento mecânico
Via úmida	Mecânico	Modificação da superfície
Fundido	Químico	Revestimento

Fonte: Adaptado de EDANA, (2020).

Na primeira etapa é realizada a escolha adequada da fibra em função do produto que se pretende produzir, do custo e benefício e da necessidade do consumidor final (REWALD, 2016). Posteriormente, ocorre a formação do véu por meio da disposição das fibras para formar a manta constituída por um ou mais véus. A formação pode ocorrer via seca, via úmida ou fundida. O sistema de formação por via seca refere-se ao transporte das fibras por meios mecânicos conhecido como cardagem ou por meio de sistemas de formação pneumáticos/aerodinâmicos (RUSSEL, 2007).

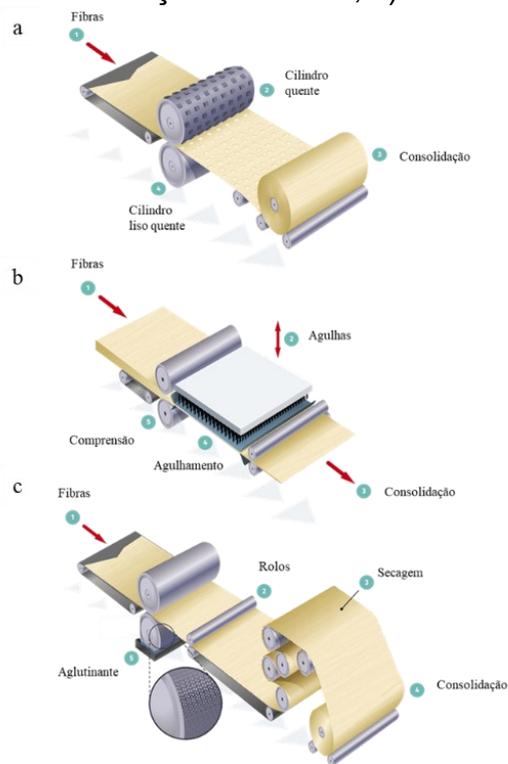
(i) Formação de véu via sistema *airlay*: Esse método consiste basicamente na utilização de ar formando um véu randômico com propriedades isotópicas. Ao final do processo a fibra é alocada em uma esteira, removido o ar e formando o não tecido, não existindo sobreposição de camadas (RUSSELL, 2007).

(ii) Formação do véu via cardagem: consiste na abertura das fibras formando véu fino e homogêneo com fibras paralelas na direção do equipamento. Nesse processo é utilizado uma carda e um dobrador de véus. O dobrador de véus faz a transferência contínua do véu a partir de um sistema de correias transportadoras que apresentam um movimento de vaivém com o propósito de sobrepor o véu resultante da carda em várias camadas em uma esteira (RUSSEL, 2007). (iii) Já o processo de formação via úmida utiliza água durante o processo, onde as fibras depositadas são transformadas em uma massa fibrosa, a partir da qual parte do fluido é retirado mecanicamente e o restante através de calor, para criar uma ligação de hidrogênio com a pasta celulósica, ou secar e polimerizar o ligante aplicado ocorrendo a seguir a consolidação (RUSSEL, 2007).

No processo fundido incluímos os não tecidos produzidos via extrusão, que são os de fiação contínua e por via sopra. Esses processos trabalham com matéria-prima na forma de polímeros, onde os mesmos são fundidos através de feiras resfriado e estirado, e posteriormente é depositado sobre uma esteira em forma de véu de manta (RUSSEL, 2007).

Após a formação do véu ou da manta ocorre a etapa de consolidação. Essa etapa pode ser conduzida baseada em três métodos distintos responsáveis pelas propriedades do produto final: (i) mecânico: por intermédio da fricção das fibras e de agulhas; por meio de jatos d'água de elevada pressão, ou, ainda, pela técnica de costura, com ou sem linha; (ii) químico: a união das fibras ocorre pela adição de agentes ligantes, ocorrendo a adesão; (iii) térmicos: a consolidação das fibras ocorre por meio da elevação da temperatura proporcionando sua coesão (CUMBI, 2013). Na Figura 4 é possível visualizar as diferentes técnicas de consolidação das fibras em não tecidos.

Figura 4 – Técnicas de consolidação de fibras. a) Consolidação térmica por cilindros aquecidos; b) Consolidação mecânica; c) Consolidação química.



Fonte: Adaptado de EDANA, (2020).

A Figura 5 apresenta os equipamentos empregados para a consolidação térmica por forno de aquecimento e resfriamento.

Figura 5 – Carda, dobrador de véus e forno para consolidação.



Nota: Carda (1); Dobrador de véus (2); Forno para a consolidação térmica (3).
Fonte: Rosa, (2022).

2.4 IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS GERADOS PELA INDÚSTRIA TÊXTIL

Apesar da indústria têxtil apresentar grande importância para a economia e geração de empregos, ao mesmo tempo, os processos da cadeia de suprimentos são caracterizados por sistemas fragmentados e de tecnologia relativamente baixa. Esse fator gera impactos ambientais significativos, como o uso de grande quantidade de água e produtos químicos, emissões de gases de efeito estufa e geração de resíduos tanto sólidos como líquidos (LEAL FILHO et al., 2022). A seguir os principais impactos ambientais negativos atrelados pela indústria têxtil são descritos:

- **Geração de efluentes:** As características dos efluentes têxteis variam de acordo com as diversas características dos processos produtivos. Os setores de tinturaria, estamparia e engomagem são os principais geradores de efluentes com altas concentrações. Além disso, a indústria têxtil utiliza diversos tipos de corantes que ao serem processados produzem efluente líquido com características específicas (CARVALHO, 2016).

- **Odores:** Os óleos de enzimação são utilizados para a lubrificação dos equipamentos para impedir o acúmulo de cargas estáticas nas fibras, auxiliar o deslizamento dos fios nas guias e maquinários e aumentar a coesão das fibras. No entanto, durante o processo de termofixação em rama, devido ao aquecimento, ocorre a volatilização do óleo. Esses vapores ao serem descartados a atmosfera geram forte odor, podendo gerar incômodo à população do entorno (CARVALHO, 2016).

- **Geração de resíduos sólidos:** Diversas operações unitárias geram resíduos dentro da cadeia têxtil (desde o descaroçamento do algodão até restos de fios e tecidos nas confecções). A quantidade de resíduos varia de acordo com a produção das empresas. Além dos resíduos convencionais do processo produtivo, existe também os resíduos perigosos procedentes de embalagens ou do uso de produtos químicos (CARVALHO, 2016).

- **Ruído e vibração:** Os equipamentos utilizados nas diferentes etapas da cadeia têxtil podem ser fonte potencial de emissões de ruídos e de vibração que se não controladas podem provocar incômodo acerca da indústria (CARVALHO, 2016).

- **Consumo de energia:** O consumo de energia está associado ao combustível fóssil no setor da agricultura, nos maquinários utilizados, bem como na

geração de energia para esquentar caldeiras de lavagens e tingimento em geral, e na produção e manufatura de fibras artificiais e sintéticas (CARVALHO, 2016).

- **Consumo de água:** O consumo de água está diretamente atrelado com o tingimento, acabamento e beneficiamento têxtil e com o uso de água para o cultivo de plantas que produzem as fibras naturais (CARVALHO, 2016).

Um estudo conduzido pela fundação Ellen Mac Arthur em 2017 buscou avaliar os impactos ambientais causados pelo setor têxtil. A pesquisa mostrou que ao longo de um ano estimou-se emissões de gases de efeito estufa (GEE) na ordem de 1.200.000,00 toneladas, 93 bilhões de m³ de água utilizadas, 8 milhões de toneladas de fertilizantes e 200.000 toneladas de pesticidas utilizados para o cultivo de algodão, bem como 1 milhão de toneladas de corantes. Além disso, foi comparado a emissões GEE para a produção de diferentes fibras. O algodão apresentou o menor valor de emissão de GEE (4,7 kg CO₂ /kg fibra produzida). As fibras produzidas a base de plástico apresentaram o maior valor de GEE (11,9 kg CO₂ /kg fibra produzida). Em relação ao uso de água, o valor para a produção do algodão foi estimado em 4.600 L/kg de fibra, enquanto que para a produção de fibra à base de plástico encontrou-se o valor de 38 L/kg de fibra (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

A geração de resíduos sólidos oriundos da cadeia têxtil é significativa em muitos países. A cadeia têxtil é conhecida por apresentar uma geração de resíduos sólidos na ordem de 16. milhões de toneladas por ano, sendo que muitos desses resíduos são incinerados ou dispostos em aterros sanitários, envolvendo um custo adicional para realizar a disposição final (KIM; KIM, 2016). Nos Estados Unidos da América, em 2014, esses resíduos têxteis representavam cerca de 6% do total dos resíduos sólidos urbanos do país. Ao mesmo tempo na Coreia do Sul o volume de resíduos aumentou cerca de 17% quando comparado os anos de 2008 até 2010 (KIM; KIM,2016).

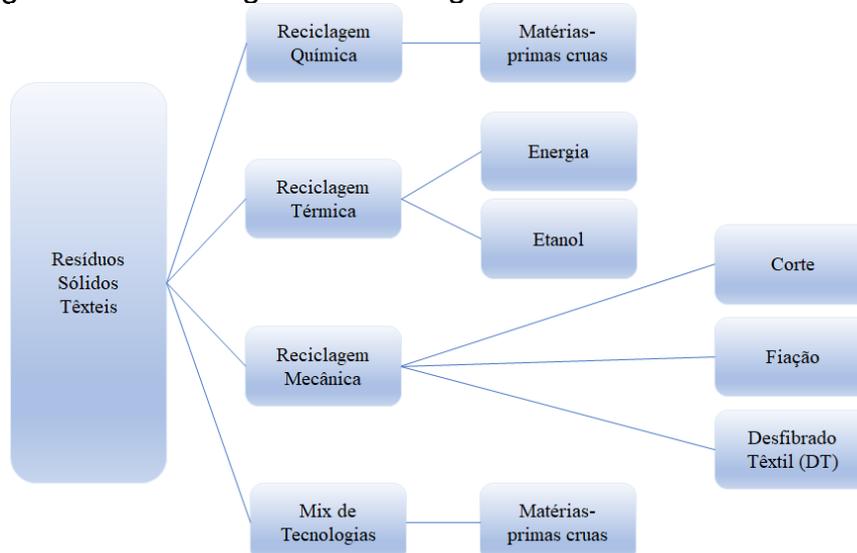
Devido à alta geração de resíduos sólidos gerados na cadeia têxtil, alternativas de reciclagem da matéria-prima vem sendo um mecanismo bastante utilizado (LEAL FILHO et al., 2022).

2.5 RECICLAGEM DOS RESÍDUOS SÓLIDOS PROVENIENTES DA INDÚSTRIA TÊXTIL

Devido ao grande volume de geração de resíduos sólidos oriundos da indústria têxtil, diferentes tipos de reciclagem podem ser aplicados nessa cadeia produtiva. Em linhas gerais, as tecnologias de reciclagem são divididas em abordagens primárias, secundárias, terciárias e quaternárias, sendo que todas elas são aplicadas para a reciclagem de fibras têxteis (LEAL FILHO et al., 2022). No caso da reciclagem primária, ocorre a reciclagem de um produto na sua forma original. Para a reciclagem secundária ocorre o processamento e a fusão de um produto plástico para um novo produto, o qual possui um nível mais baixo de propriedades físicas, mecânicas ou químicas. Em relação a reciclagem terciária ocorrem reações químicas, como pirólise e hidrólise, as quais convertem os resíduos plásticos em produtos químicos de base e combustíveis. Já para a reciclagem quaternária ocorre a queima dos resíduos gerados e a utilização do calor (ZONATTI, 2016).

Especificamente para a indústria têxtil a classificação do tipo de reciclagem está associada ao tipo de matéria-prima a ser reprocessada e dos processos ínsitos para obtenção dos produtos finais, podendo ser divididas em reciclagem química, térmica, mecânica e mix de tecnologias (LEAL FILHO et al., 2022). Na Figura 6 é possível visualizar as diferentes tecnologias de reciclagem utilizadas na indústria têxtil, a partir de seus resíduos sólidos.

Figura 6 – Tecnologias de reciclagem de resíduos sólidos têxteis.



Fonte: Adaptado de Groupe CTT; ITS, (2004).

2.5.1 Reciclagem química

A reciclagem química das fibras artificiais puras ocorre por meio da degradação da celulose através de uma reação de hidrólise enzimática ou hidrólise ácida, sendo transformadas em glucose e sacarídeos. Já no caso do polipropileno ocorre a dissolução em xileno e posterior filtração, limpeza, precipitação na forma de acetona, filtragem, transformação da acetona em grânulos e a fiação do material novamente (KIM; KIM,2016).

Em materiais com fibras de poliéster e poliamida é realizado a despolimerização do material, transformando-as em monômeros. Após esse processo ocorre uma nova polimerização e a utilização da matéria-prima em forma de pasta para ser extrudada e fiada novamente. Para o caso da reciclagem química do poliéster, existem processos utilizados mundialmente em empresas como OXID, TBI RENEW, Repete, Broccatelli, Eastman Chemical, Teijin, DuPont e o processo dos fluídos supercríticos e dissolução do PET (ZONATTI, 2016).

Na mistura de poliéster e algodão, podem ocorrer a degradação do poliéster por dissolução e posteriormente a despolimerização, separando-o da celulose. Por outro lado, pode ocorrer também a degradação da celulose e posteriormente a recuperação do poliéster (ZONATTI, 2016).

2.5.2 Reciclagem térmica

Para materiais têxteis produzidos a base de algodão, que é considerando uma matéria orgânica, o mesmo pode ser reciclado e produzir indiretamente uma fonte de energia por combustão ou biogás. No primeiro caso, utilizando-se uma mistura composta de 80% de aparas de fibras de algodão com 20% de resíduos de madeira, é obtido um excelente combustível para as caldeiras. No último caso, utiliza-se esse material para a produção do biogás. Esse processo inicia-se com a picotagem do material e posteriormente a desfibragem. Sequentemente, ocorre a hidrólise, a filtragem deste material através de osmose reversa, processo de separação, fermentação e produção do biogás (GROUPE CTT; ITS, 2014).

2.5.3 Reciclagem mecânica

Na reciclagem mecânica, tanto as fibras virgens quanto as recicladas podem ser aplicadas nesse processo. Os resíduos têxteis podem ser separados por cor e/ou composição e posteriormente processados em um maquinário específico que faça a desfibrilação, uma vez que o material já se apresenta na forma de tecido, artigos ou aparas (ZONATTI, 2016).

Em uma segunda etapa, esse material já em tamanhos menores é triturado por um equipamento tipo cortadeira, o qual realiza a uniformização aproximada do tamanho do material. Depois de uniformizados, os retalhos são novamente picotados e vão para um depósito dentro de uma linha de produção, para depois serem desfibrados, dando origem a um material conhecido como DT (ZONATTI, 2016).

Devido à grande variedade de matérias-primas dos resíduos que muitas vezes são misturados, é importante identificar a composição dos mesmos, pois com a mistura de diferentes tipos de fibras presentes no maquinário de desfibragem, pode ocorrer a fundição das fibras plásticas em função da alta temperatura, devido aos processos mecânicos, comprometendo a qualidade do processo final (GULICH, 2006).

2.6 DESFIBRADO TÊXTIL

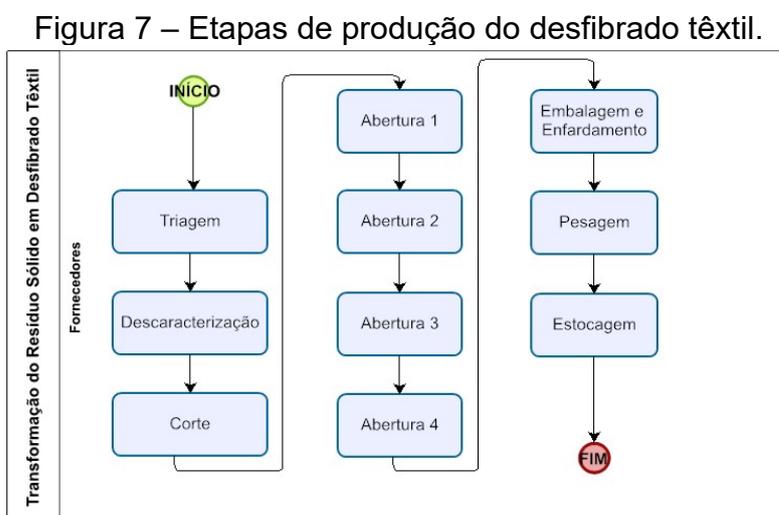
Durante todo o processo de produção do DT não se utiliza água e tingimento das fibras. Conforme os resíduos são utilizados, os mesmos permanecem até o estado de fibra em que será formado um novo produto, como um não-tecido (LAZARIN, 2009). Ao produzir novos produtos oriundos do DT o ciclo produtivo se encerra trazendo para a indústria abordagens de economia circular, que é conhecido por ser o tipo de prática que parte do desenvolvimento sustentável, que une economia e sustentabilidade (LEAL FILHO et al., 2022).

O DT possui capacidade de retornar as condições de fibras com comprimento cerca de 20% menor em relação à fibra original utilizada no primeiro processo de industrialização. Esse fato está associado aos processos de industrialização, dos cortes e do processo de reciclagem. Nesse sentido, dependendo da utilização final da

fibra, o processo de reciclagem deverá ser mais ou menos intenso em termos de abertura, produzindo um produto final com maior ou menor qualidade (GULICH, 2006).

A produção do DT consiste na passagem dos retalhos que são considerados resíduos para uma máquina desfibradora que transforma os mesmos em fibras descontínuas novamente. Em um segundo momento as fibras descontínuas abastecem o setor de fiação onde produzirão os fios reciclados, e os mesmos poderão seguir para as empresas de tecelagem ou malharia, para fabricação de produtos com 100% tecidos reciclados ou mesclar sua produção com outros tecidos não reciclados (TALLINI; CEDOLA, 2018). Na Figura 7 são apresentadas as principais etapas de produção do desfibrado têxtil, composto inicialmente pela triagem, onde os resíduos são separados por cores e tipo de material. Em seguida, inicia-se o processo de descaracterização, que é realizada por um equipamento que coleta pequenas porções do material e o submete a batimentos para a remoção das impurezas, que consistem em cascas, folhas, resíduos de confecção como linhas, zíperes. Na sequência, o DT segue para o processo de corte, seguida da abertura, embalagem, enfardamento, pesagem e estocagem.

A abertura corresponde a trituração do material, de forma a se tornar novamente uma fibra descontínua (DT), essa trituração pode ser mais ou menos intensa, dependendo do uso em um processo posterior. Portanto dependendo do tipo de DT que se deseja obter e, do tipo de resíduo sólido que é triturado, o material pode passar por um ou mais processos de abertura.



Fonte: O autor, (2022).

2.7 A PRODUÇÃO DE NÃOTECIDO A PARTIR DE DESFIBRADO TÊXTIL

Diferentes estudos foram conduzidos utilizando DT para a produção de não tecido. No Quadro 2, é apresentado uma descrição de algumas pesquisas desenvolvidas utilizando DT.

Quadro 2 – Estudos desenvolvidos com não tecido de desfibrado têxtil.

Autor	Objetivo	Principal resultado
Sharma et al., (2017)	Avaliar diferentes propriedades de DT produzidos com fibra de algodão e poliéster reciclada.	Identificou-se maior resistência a tração das amostras produzidas com não tecido reciclado.
Wazna et al., (2019)	Avaliar diferentes tipos de não tecidos produzidos com DT no desempenho térmico.	Todos os não tecidos desenvolvidos mostram um excelente desempenho de isolamento, e condutividade térmica.
Sadrolodabae et al., (2021)	Utilizar não tecido produzido com DT para aumentar a durabilidade e o controle de rachaduras do cimento.	A utilização de não tecidos proporcionou uma melhoria notável na capacidade de suporte e tenacidade do cimento.
Rubino et al., (2021)	Avaliar o desempenho de um não tecido produzido com DT de lã na permeabilidade da argamassa.	A amostra de argamassa produzida com não tecido apresentou baixa permeabilidade, fornecendo mais resistência a amostra.
Arafat; Uddin (2022)	Avaliar o desempenho de camisas de malhas desenvolvidas com um não tecido composto por fibras virgem e fibras recicladas de algodão	25% das fibras de algodão recicladas podem ser utilizadas como alternativa ao algodão virgem para fabricar fios de contagem média (30 N) para produzir peças de vestuário de malha.

Fonte: O autor, (2022).

Além do número reduzido de pesquisas utilizando o DT na composição de não tecido uma busca realizada no Instituto Nacional de propriedade industrial (INPI) com os termos “Desfibrado Têxtil” e Não tecido com “Desfibrado Têxtil” não foi identificado. Nesse sentido, a produção de um produto não tecido com DT torna-se algo inovador no segmento têxtil. Já para o termo “DT” como expressão aproximada no campo título, apenas um resultado foi encontrado para a seção D que corresponde a seção de têxteis e papéis. Além disso, observa-se no Quadro 3 que mesmo a categoria Têxtil sendo uma específica (Seção D), identificou-se que existem processos de patentes relacionadas ao segmento têxtil em outras categorias, como a B (Operações de Processamento e Transporte). A Classificação Internacional de Patentes de Patentes (CIP) prevê 8 seções para a classificação das patentes, sendo elas: Seção A (Necessidades Humanas); Seção B (Operações de Processamento e

Transporte); Seção C (Química e Metalúrgica); Seção D (Têxteis e Papel); Seção E (Construções Fixas); Seção F (Engenharia Mecânica, iluminação, Aquecimento, Armas, Explosão); Seção G (Física); Seção H (Eletricidade) (INPI, 2022).

Quadro 3 – Classificação Internacional de Patentes (CIP).

Consulta ao INPI	Resultados encontrados	International Patent Classification
Desfibrado Têxtil no título	Têxtil não-tecido para bloqueio de chamas.	D04H 1/42
Não-tecido no título ou no resumo	Composição química para não-tecido, para incorporação de revestimento fixador de impressão por impressora jato de tinta.	D21H 21/22
	Fibra bicomponente composta de uma resina à base de polietileno e uma resina de alto ponto de fusão, não-tecido, produto têxtil, produtos de meio de filtragem e produtos separadores de bateria.	D01F 8/06
	Não-tecido auto-adesivo.	B32B 7/12
	Pano não-tecido.	D04H 1/40
	Método de produzir um material não-tecido por hidroenlaçamento.	D04H 5/02
	Mistura de fibras, material têxtil elástico não-tecido, laminado e material de higiene compreendendo o mesmo e processo de produção para o material têxtil elástico não-tecido.	D04H 3/00
	Processo para produção de tecido não-tecido fiado a partir de filamentos multicomponentes	D04H 3/08
	Método para a formação de uma folha de não-tecido e folha de não-tecido estirável.	D06N 3/00
	Método para produção de pano não-tecido tramado, método para produção de pano não tecido tramado com elemento detectável por raio-x e pano não-tecido tramado com elemento detectável pelo raio-x produzido neste processo.	D04H 1/02

Fonte: Instituto Nacional da Propriedade Industrial, (2022).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento desse estudo foram empregadas fibras 100% compostas de PES para a produção dos nãotecidos, cuja composição está descrita no Quadro 4, e diferentes percentuais de DT que compõem a fabricação das amostras experimentais, cuja composição está descrita no Quadro 5.

As amostras experimentais desenvolvidas compreendem a adição de diferentes percentuais de DT em um produto nãotecido, cujo padrão é comercialmente bem estabelecido no mercado para a confecção de edredons leves, sendo o nãotecido padrão manufaturado com 100% fibras de PES.

A análise estatística dos dados foi realizada por meio do teste de Tukey, o qual foi utilizado para determinar as diferenças significativas no título das fibras com probabilidade de 5% ($p < 0,05$). Foi utilizado o programa computacional SAS System (SAS Institute Inc., EUA).

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Fibras e desfibrado têxtil

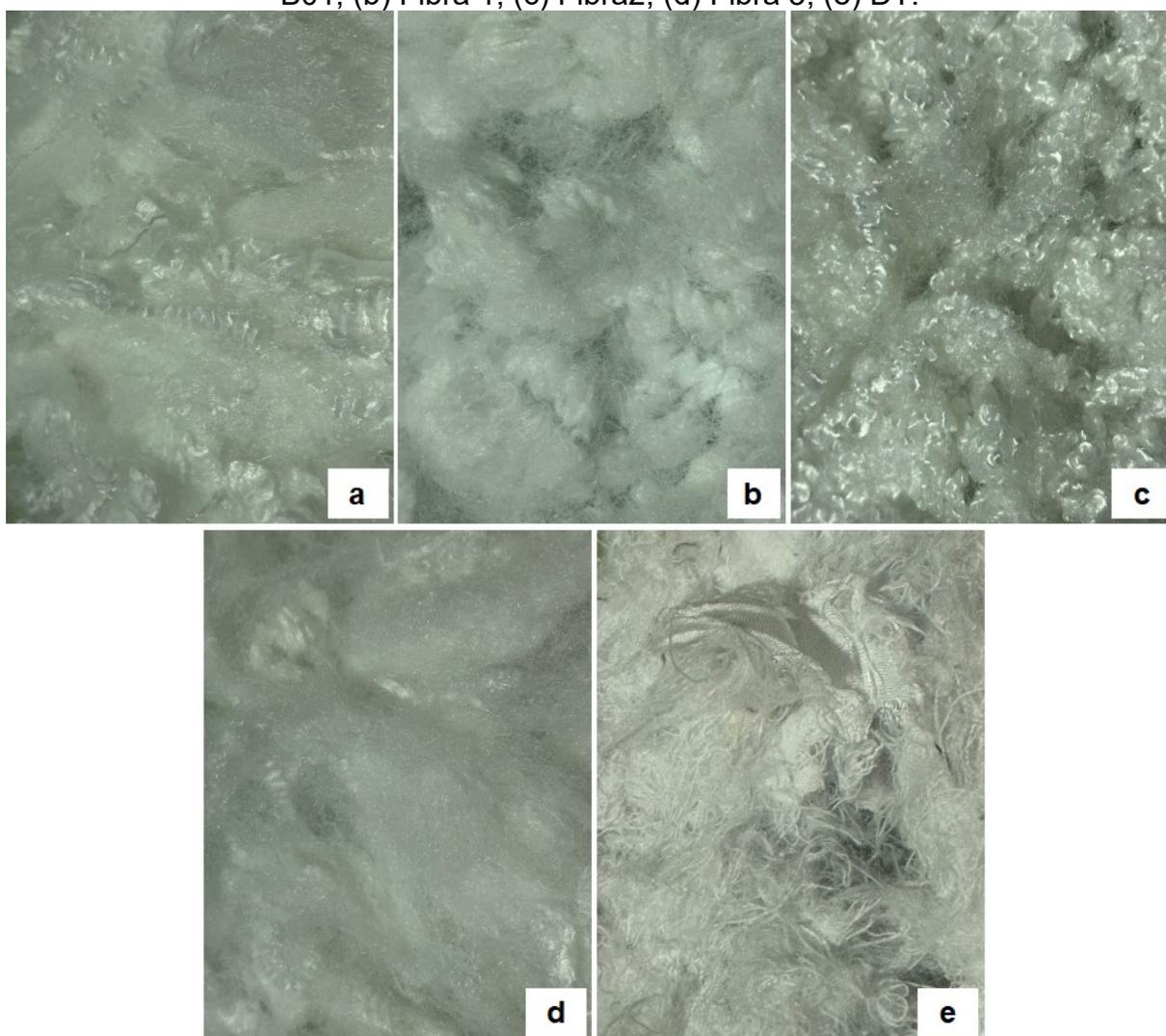
No Quadro 4 são apresentados os tipos de fibras de PES utilizadas para a fabricação dos nãotecidos, assim como sua descrição. Além disso, na Figura 8 é apresentada uma foto das fibras de PES e DT utilizadas na produção de nãotecidos dessa pesquisa. Ressalta-se que a fibra *Bicomponente é uma fibra composta por dois polímeros, sendo o núcleo da fibra em PES e a sua capa em poliéster modificada, com ponto de fusão em aproximadamente 110°C. São utilizadas na fabricação de nãotecidos termoconsolidados, em que as fibras bicomponentes são misturadas às fibras de PES convencionais e, após a fusão das fibras bicomponentes, estas funcionam como elemento adesivo entre todas as fibras. Uma das principais aplicações está associada a fabricação de mantas de enchimento para colchas e edredons.

Quadro 4 – Tipos de fibras utilizadas na fabricação do produto não-tecido.

Nomenclatura	Tipos de Fibras	Descrição
B01	*Bicomponente, 100% Virgem	4,4 dtex, 51 mm, cor Branca
1	Fibra de PES 100% Reciclada	16,0 dtex, 64 mm, HR - Oca Regular
2	Fibra de PES 100% Reciclada	8,0 dtex, 64 mm, HR - Oca Regular, Semi Opaca
3	Fibra de PES 100% Reciclada	10,0 dtex, 64 mm, SR - Sólida Regular, Semi Opaca
DT	Fibra de DT	Fibra Descontínua, Corte Irregular, Branca

Fonte: O autor, (2022).

Figura 8 – Fibras de PES e DT utilizadas para a produção de não-tecidos. (a) Fibra B01; (b) Fibra 1; (c) Fibra2; (d) Fibra 3; (e) DT.



Fonte: O autor, (2023),

O DT foi oriundo da confecção de artigos de cama que provém de tecidos planos percal 150 fios, percal 180 fios, percal 200 fios, percal 300 fios, meia-malha, *plush coral fleece*, *plush flanel fleece*, microfibra e microfibra para travesseiro, instituído como resíduo sólido gerado pela indústria Altenburg Têxtil Ltda. em estudo. A composição do resíduo utilizado na fabricação do não-tecido com DT encontra-se descrito no Quadro 5. Além disso, a Figura 9 apresenta uma foto dos principais resíduos empregados para a produção do não-tecido com diferentes percentuais de DT.

Quadro 5 – Descrição do substrato têxtil utilizado na fabricação do desfibrado têxtil.

Substrato têxtil	Fios	Composição
Tecido plano tinto e estampado	150 fios	100% algodão
Tecido plano tinto e estampado	180 fios	100% algodão
Tecido plano tinto e estampado	180 fios	50% algodão e 50% poliéster
Tecido plano tinto e estampado	200 fios	100% algodão
Tecido plano tinto e estampado	300 fios	100% poliéster
Meia malha	-	100% algodão
*Tecido Plush Coral Fleece	-	100% poliéster
*Tecido Plush Flanel Fleece	-	100% poliéster
*Tecido Microfibra	-	100% poliéster

*Nota: Fleece refere-se à caracterização do tecido plush, porém ele pode ter espessura e acabamentos variados; Coral plush é o tecido mais popular, sendo mais texturizado com um acabamento mais fosco, compondo uma coleção mais nobre; Flanel é um tecido tosquiado, ou seja, ele é nivelado por uma faca que o deixa com aspecto de brilho e toque aveludado. Produtos em alto relevo geralmente são fabricados com o tecido plush flanel fleece.

Figura 9 – Resíduos empregados como DT. (a) refis de tecido plano, (b) resíduos de microfibra, (c) resíduos de meia malha.



Fonte: O autor, (2022).

Para obter o DT, uma empresa terceirizada realiza o processo de desfibragem mecânica deste resíduo, com o custo aproximado de R\$ 2,20 por kg de resíduo. Os fardos de DT retornam à indústria com a finalidade de compor novos produtos com aproximadamente 295 kg cada, sendo que o cálculo de perda na transformação de resíduo sólido para desfibrado têxtil está em aproximadamente 5%. O DT é entregue em fardos e são caracterizados como desfibrado têxtil branco ou desfibrado têxtil multicolorido com tonalidades distintas, de acordo com a Figura 10.

Figura 10 – Desfibrado têxtil (a) branco, (b) e (c) tonalidades distintas ou mil cores, (d) fardos.



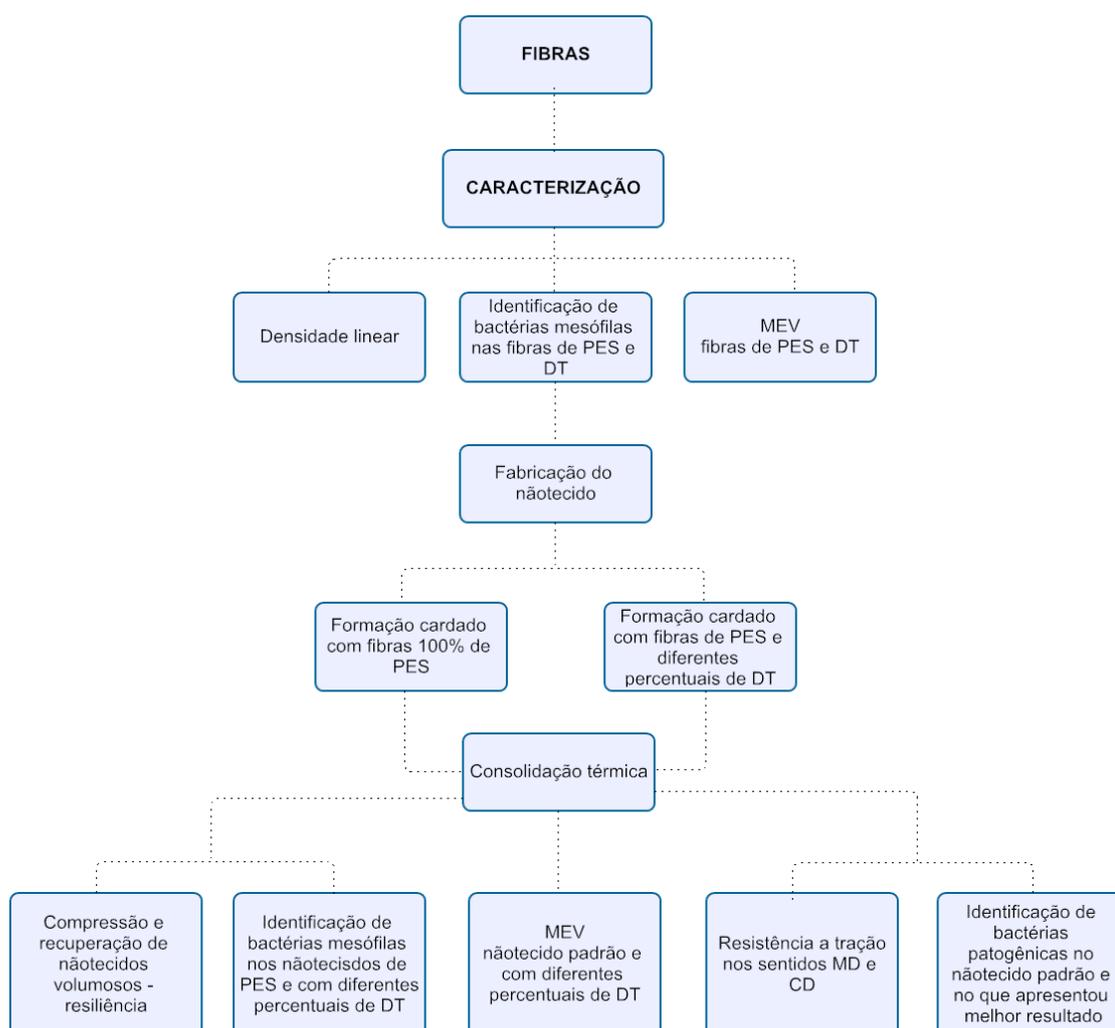
Fonte: O autor, (2021).

3.2 MÉTODOS

Esse estudo foi desenvolvido em etapas que antecedem o processo de manufatura do não-tecido, seguido da fabricação das amostras experimentais e com

etapas posteriores ao processo de produção das amostras experimentais. A etapa antecedente compreende a caracterização das fibras de PES e DT utilizadas, por meio dos ensaios de densidade linear, identificação de bactérias mesófilas e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Por conseguinte, foi realizado o processo de manufatura das amostras experimentais que compreende a fabricação de um nãotecido com 100% fibras de PES (nãotecido padrão) e a fabricação de três amostras experimentais de nãotecido utilizando de diferentes percentuais de DT em sua composição (nãotecido DT). Após a consolidação térmica, ambas as amostras (nãotecido padrão e nãotecido DT), foram submetidas a avaliação de comportamento por meio dos ensaios de resiliência, identificação de bactérias mesófilas e patogênicas, MEV, resistência a tração. A Figura 11 apresenta um fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.

Figura 11 – Fluxograma das atividades experimentais.



Fonte: O autor, (2023).

Os procedimentos experimentais realizados foram conduzidos em diferentes laboratórios de distintas instituições, tais como: Laboratório do Instituto de Inovação Biossintéticos e Fibras do CETIQT e SENAI, na cidade do Rio de Janeiro para o ensaio de determinação da densidade linear; laboratório de pesquisa GeMBac (Laboratório de Genética Molecular de Bactérias) da UFSC (campus Trindade, Florianópolis), localizado no Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia (MIP) do Centro de Ciências Biológicas (CCB) para o ensaio de microbiologia e para a análise microbiológica; o Laboratório de Tecnologia e Qualidade em Sistemas de Engenharia (TESIS) do Instituto Nacional de Metrologia para o ensaio de tração; o Laboratório de Engenharia e Qualidade para Ensaio de Produtos Acabados, empresa Altenburg Têxtil Ltda. - Ecofiber, localizada em Blumenau, no bairro Badenfurt para o ensaio de resiliência e o Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME), da UFSC, campus Florianópolis para análise morfológica das fibras e dos nãotecidos fabricados por meio de MEV.

3.2.1 Caracterização das fibras de PES e DT

Com o objetivo de comprovar a densidade linear (título) das fibras de PES utilizadas na produção das diferentes amostras de nãotecido, foi empregada a técnica de determinação da densidade linear. Para constatar características morfológicas e possíveis diferenças nas superfícies dos distintos tipos de fibras e DT foi realizada a MEV das fibras de PES e DT e, para identificar a presença de bactérias mesófilas nas fibras de PES e no DT, foram realizadas técnicas de cultivo e plaqueamento.

3.2.1.1 *Determinação da densidade linear das fibras*

Esse ensaio foi conduzido seguindo recomendações da norma ASTM D1577-07/2018 no Laboratório do Instituto de Inovação Biossintéticos e Fibras do CETIQT e SENAI, na cidade do Rio de Janeiro. O ensaio de densidade linear foi realizado apenas para as fibras B01, 1, 2 e 3. O DT não foi avaliado devido ao pequeno comprimento do mesmo.

Devido a densidade do nãotecido ser influenciada pela quantidade de fibras por volume, pode-se determinar o título médio das fibras. Esse resultado pode ser

obtido por meio de uma ponderação do título e o percentual de fibra utilizado na blenda conforme mostrado por Rosa, (2021), por meio da Equação 1.

$$n = \sum_{x=1}^x (d_x \times \%_x) \quad (1)$$

Onde:

n = Título médio ponderado das fibras (*denier*);

d = Título da fibra (*denier*);

x = Quantidade de fibras;

$\%$ = Percentual da fibra na composição da blenda.

Ressalta-se que para o cálculo da ponderação média das fibras foi desconsiderado o DT, por não ser identificado o título da fibra devido ao seu curto comprimento.

3.2.1.2 Identificação de bactérias mesófilas nas fibras de PES e DT

As análises foram realizadas pelo laboratório de pesquisa GeMBac (Laboratório de Genética Molecular de Bactérias) da UFSC (campus Trindade, Florianópolis), localizado no Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia (MIP) do Centro de Ciências Biológicas (CCB).

Essa análise foi conduzida para identificar a presença de bactérias mesófilas, as quais apresentam uma temperatura ideal de crescimento em média de 20 a 45 °C e podem causar alterações estéticas como manchas, descoloração, odores e diminuição de resistência do produto têxtil.

Cada amostra de fibra foi colocada dentro de um erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de caldo Mueller Hinton (MHB) estéril. As amostras foram manipuladas em cabine de segurança biológica e com auxílio de pinças estéreis. Os frascos foram incubados a 37 °C por 24 h sob agitação de 150 RPM. Após incubação, os frascos foram manipulados ao redor da chama do bico de bunsen. Uma alçada (alça microbiológica) do MHB é semeada pela técnica do esgotamento em placa de petri contendo ágar Triptona da Soja (TSA). As placas foram incubadas por 24 h à 37 °C. Posteriormente, as unidades formadoras de colônias (UFC) que cresceram foram

observadas a olho nu e visualizadas por microscopia óptica após coloração de Gram em objetiva de 100X e óleo de imersão. Cada amostra foi testada em duplicata em todas as etapas.

3.2.1.3 Análise de microscopia eletrônica de varredura nas fibras de PES e DT

Para o estudo da estrutura fina e da morfologia das fibras utilizadas na fabricação e das diferentes amostras de não tecido, foi utilizada a técnica de MEV.

A análise morfológica nas fibras de PES e DT, foi conduzida no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME), da UFSC, campus Florianópolis. O equipamento utilizado foi o microscópio eletrônico de varredura JEOL, modelo JSM-6390LV. Essa análise foi empregada para todas as fibras (Tabela 1). As amostras foram, inicialmente, depositadas em um stub e recobertas com ouro, por meio da técnica de “*sputtering*” em uma recobridora modelo EM SCD 500, da marca LEICA. As amostras foram ampliadas em 500 vezes.

3.2.2 Composição das amostras de não tecido para o processo de manufatura

A primeira etapa deste trabalho compõe a fabricação do não tecido denominado como amostra de não tecido padrão, não tecido aceito comercialmente e empregado na confecção de colchas matelassadas. Na Tabela 1 são apresentadas as fibras de PES e os percentuais utilizados para fabricação da amostra padrão.

Tabela 1 – Fibras de PES e percentuais utilizados para fabricação da amostra de não tecido padrão.

Não tecido padrão	Fibra B01 Bicomponente	Fibra poliéster 1	Fibra poliéster 2	Fibra poliéster 3	Largura	Gramatura	Espessura
	20%	30%	30%	20%	1,00m	180g/m ²	30mm

Fonte: O autor, (2022).

A segunda etapa deste trabalho compreende a fabricação do não tecido com diferentes percentuais de DT em sua blenda de poliéster, mantendo a largura, gramatura e espessura constantes, de acordo com a amostra padrão. A Tabela 2

contempla o percentual de DT acrescentado às amostras experimentais fabricadas para este trabalho.

Tabela 2 – Fibras e percentuais utilizados para fabricação das amostras experimentais com diferentes percentuais de DT.

Propostas	Fibra B01 Bicomponente	Fibra poliéster 1	Fibra poliéster 2	Fibra poliéster 3	DT	Largura	Gramatura	Espessura
Amostra A	20%	30%	30%	0%	20%	1 m	180 g/m ²	30 mm
Amostra B	20%	30%	20%	0%	30%			
Amostra C	20%	30%	10%	0%	40%			

Fonte: O autor, (2022).

3.2.3 Produção do não-tecido

Para a fabricação das amostras do não-tecido padrão e com diferentes percentuais de DT foi utilizada a blenda descrita nas Tabelas 1 e 2. A Figura 12 apresenta os fardos de fibras 100% de PES e DT, em preparação, na entrada dos carregadores para a produção das amostras experimentais.

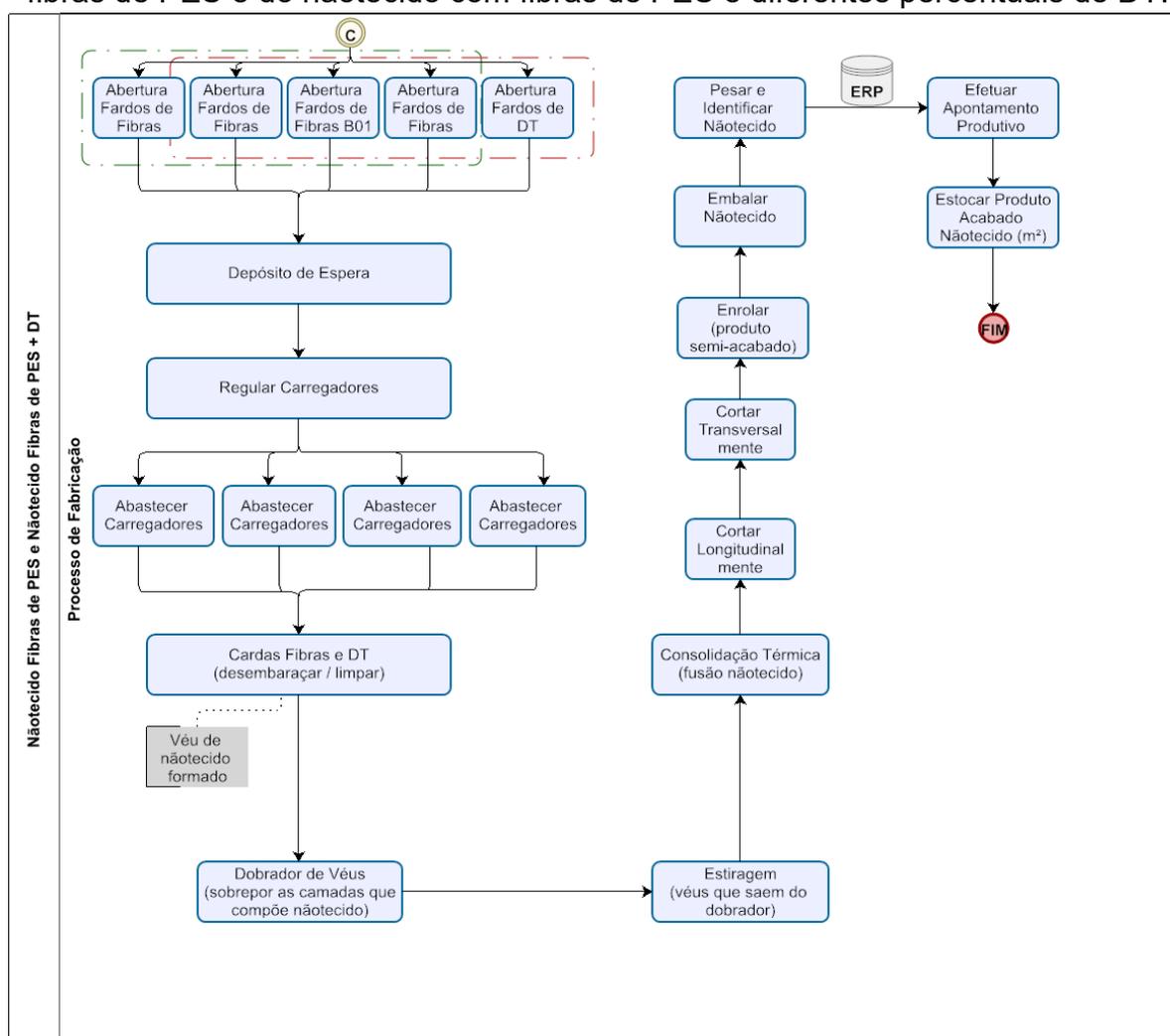
Figura 12 – Fardos de fibras 100% PES (a), (b), (c) e DT (d) para a fabricação das amostras experimentais na entrada dos carregadores.



Fonte: O autor, (2021).

Para a produção das amostras foi utilizado o processo de cardagem a seco utilizando uma carda da marca *Spinnbau - Houget Duesberg Bosson*, modelo 7031, ano de fabricação 1988, de corpo duplo (duplo *doffer*), largura de 2,5 m, seguido de um dobrador de véus horizontal da marca *Reisky & Schlese*, modelo *Maschinen Nr 200034*, largura de entrada 2,5 m com velocidade entrada de $75 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ e largura de saída máxima de 3,8 m. A velocidade varia de 2,0 a 25,0 m/min. Acoplado a este equipamento um forno da marca *Shoot & Meisser* com 4,0 m de zona quente e 2,0 m de zona fria, sistema dupla esteira (superior e inferior), largura máxima útil de 3,8 m, velocidade de 25m/min, altura mínima entre esteira de 5,0 mm e máxima de 150,0 mm, sendo o aquecimento do ar feito por queimador a gás natural. Os processos aplicados industrialmente podem ser observados na Figura 13.

Figura 13 – Fluxograma referente ao processo de fabricação do não-tecido com fibras de PES e do não-tecido com fibras de PES e diferentes percentuais de DT.



Fonte: O autor, (2023)

A Figura 13 apresenta de forma detalhada o processo antecedente a fabricação do não tecido de fibras de PES e percentuais de DT, que conta com um depósito de espera, onde as fibras ainda em fardos são abertas e permanecem em descanso, visando retomar sua estrutura original. Após este período, são regulados os carregadores, estes por sua vez são alimentados de forma automática, realizando a pesagem da quantidade percentual de fibras correspondente a receita (formulação industrial) em fabricação. Com os carregadores abastecidos, inicia-se o processo de cardagem, responsável em abrir, desembaraçar e limpar as fibras. Na saída dos cilindros de cardagem é possível visualizar o véu de não tecido em formação, que então segue para o dobrador, etapa do processo de fabricação responsável em sobrepor as camadas do não tecido. Em sequência inicia-se a estiragem. O estirador é composto por trios de cilindros guarnecidos com velocidade maior que a saída do dobrador, sendo responsáveis pelo estiramento dos véus de não tecido que saem do dobrador. Essa fase antecede a etapa de consolidação, onde acontece a fusão da fibra bicomponente a aproximadamente 110 °C. Para isto, o ar circulante interno está a temperaturas superiores a 185°C. A etapa de consolidação é composta por duas cabines de aquecimento e uma cabine de resfriamento. Após o resfriamento (choque térmico), o não tecido segue para o corte longitudinal, que define a largura do material e na sequência, é enrolado e efetuado o corte transversal, que define a quantidade de material em cada rolo. Aqui o não tecido está pronto, as demais etapas descritas compreendem a embalagem e controles internos antecedente a estocagem do produto acabado.

Com o objetivo de avaliar a variação da estrutura do não tecido fabricado com fibras de PES e DT em comparação ao não tecido padrão fabricado com 100% fibras de PES, foram fabricadas amostras com diferentes percentuais de DT. Nesse sentido, as amostras de não tecido do grupo A contam com 2 amostras independentes de 15 m linear cada e 20% de desfibrado têxtil. Para o grupo B foram produzidas 2 amostras de não tecido com 15 m linear cada e 30% de desfibrado têxtil, e por fim, as amostras do grupo C, compõem 2 amostras de 15 m linear cada com 40% de desfibrado têxtil em sua composição.

3.2.4 Comportamento das amostras de nãotecido produzidas

Para avaliar o comportamento das amostras produzidas com diferentes percentuais de DT, distintos ensaios foram conduzidos, conforme descrito abaixo:

- (I) Para identificar características morfológicas e comprovar a consolidação das amostras experimentais foi empregado a técnica de MEV;
- (II) A identificação da presença de bactérias mesófilas foi realizada por meio de técnicas de cultivo e plaqueamento. Posteriormente, na amostra padrão e na amostra de nãotecido com DT que apresentou o melhor comportamento de resiliência e tração foi realizado a identificação de algumas bactérias que causam risco a saúde humana;
- (iii) A compressão e recuperação, bem como a resistência a tração dos nãotecidos foi avaliada para todas as amostras desenvolvidas.

3.2.4.1 *Análise de microscopia eletrônica de varredura nos nãotecidos de PES e DT*

Para o estudo e comprovação da consolidação das diferentes amostras de nãotecidos fabricados, foi utilizada a técnica de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

A análise morfológica nos nãotecidos foi conduzida no Laboratório Central de Microscopia Eletrônica (LCME), da UFSC, campus Florianópolis. O equipamento utilizado foi o microscópio eletrônico de varredura JEOL, modelo JSM-6390LV. Essa análise foi empregada para todas as amostras de nãotecido experimentais (Tabela 2). As amostras foram, inicialmente, depositadas em um stub e recobertas com ouro, por meio da técnica de “sputtering” em uma recobridora modelo EM SCD 500, da marca LEICA. As amostras foram ampliadas em 500 vezes.

3.2.4.2 Identificação de bactérias nos nas amostras de nãotecido produzidas

3.2.4.2.1 Identificação de bactérias mesófilas

Essa análise foi conduzida para identificar a presença de bactérias mesófilas, as quais apresentam uma temperatura ideal de crescimento em média de 20 a 45 °C e podem causar alterações estéticas como manchas, descoloração, odores e diminuição de resistência do produto têxtil.

As análises foram realizadas pelo laboratório de pesquisa GeMBac (Laboratório de Genética Molecular de Bactérias) da UFSC (campus Trindade, Florianópolis), localizado no Departamento de Microbiologia, Imunologia e Parasitologia (MIP) do Centro de Ciências Biológicas (CCB).

Cada amostra de nãotecido foi colocada dentro de um erlenmeyer de 250 mL contendo 100 mL de caldo Mueller Hinton (MHB) estéril. As amostras foram manipuladas em cabine de segurança biológica e com auxílio de pinças estéreis. Os frascos são incubados a 37 °C por 24 h sob agitação de 150 RPM. Após incubação, os frascos são manipulados ao redor da chama do bico de *bunsen*. Uma alçada (alça microbiológica) do MHB é semeada pela técnica do esgotamento em placa de petri contendo ágar Triptona da Soja (TSA). As placas são incubadas por 24 h à 37 °C. Posteriormente, as unidades formadoras de colônias (UFC) que cresceram são observadas a olho nu e visualizadas por microscopia óptica após coloração de Gram em objetiva de 100X e óleo de imersão.

Cada amostra é testada em duplicata em todas as etapas. Este procedimento favorece o crescimento de bactérias mesófilas, não fastidiosas e de crescimento em meios de cultura simples.

3.2.4.2.2 Identificação de algumas bactérias que causam riscos à saúde humana

Para avaliar o potencial risco à saúde humana por meio da presença de algumas bactérias patogênicas (*Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*) foram conduzidos procedimentos adaptados de acordo com norma técnica AATCC Test Method 100-2004. Ressalta-se que essa análise foi conduzida na amostra de nãotecido padrão e na amostra de nãotecido produzido com PES e DT que apresentou melhor comportamento frente aos ensaios de resiliência e tração.

Os nãotecidos foram cortados de maneira circular com $4,8 \pm 0,1$ cm de diâmetro, para caber dentro da placa de petri e esterilizados por luz UV. Foram utilizadas as cepas *Staphylococcus aureus* (ATCC6538) e *Escherichia coli* (ATCC25922) para a análise microbiológica. As cepas microbianas foram semeadas pela técnica do esgotamento no ágar Mueller Hinton (Kasvi®) e incubadas a 37°C por 20h. Para cada cepa microbiana testada, o inóculo microbiano foi padronizado para $1,5 \times 10^5$ UFC/ml em um único tubo contendo solução salina estéril (NaCl 0,85%; p/v). 1mL do inóculo microbiano foi inoculado em cada tecido teste. Os tecidos foram analisados em duplicata. Adicionou-se um controle negativo para cada tipo de tecido, que corresponde ao tecido sem inóculo microbiano, que passou pelos mesmos procedimentos dos tecidos teste. Posteriormente, os tecidos foram transferidos para frascos estéreis contendo solução salina estéril. Os frascos foram vigorosamente homogeneizados por um minuto. A solução contida em cada um dos frascos foi diluída pela técnica de diluição seriada em solução salina estéril e, em seguida, plaqueada em triplicata em MHA.

As placas foram incubadas por cerca de 20 horas a uma temperatura de 37°C. A contagem das células microbianas nos tecidos foi realizada considerando unidades formadoras de colônias (UFC) por mL.

3.2.4.3 *Determinação da compressão e recuperação de nãotecidos volumosos*

Segundo a norma ABNT NBR 15050 de 2004, recuperação é o ato de restabelecimento ou estado de ser recuperado após a compressão. Compressão é o ato de comprimir ou o estado de ser comprimido (Figura 14). Este método foi utilizado para a determinação da compressão e recuperação de nãotecidos volumosos à temperatura ambiente, utilizando pesos e pratos, de acordo com uma adaptação da norma ABNT NBR 15050, e foi realizado em parceria com o Laboratório de Engenharia e Qualidade da empresa Altenburg. As análises foram conduzidas em duplicatas.

O objetivo deste ensaio é demonstrar a capacidade do nãotecido fabricado com diferentes percentuais de DT, em resistir a compressão e após a compressão com posterior relaxamento, emitir a recuperação de volume em comparação aos resultados do nãotecido fabricado com 100% fibra PES cuja finalidade é a fabricação de edredons leves.

Figura 14 – Materiais utilizados para determinar a compressão e recuperação das amostras de nãotecidos.



Fonte: O autor, (2022).

3.2.4.4 *Determinação da resistência à tração*

Conforme norma NBR16832/2020 (ABNT, 2020), os nãotecido de PES devem apresentar uma resistência à tração longitudinal mínima equivalente a quatro vezes o valor médio do peso de três trechos de lã de PES com área igual a 1,50 m². Nesse sentido, com intuito de demonstrar essa resistência em nãotecidos fabricados com distintos percentuais de DT, este ensaio foi conduzido.

Para a determinação da resistência à tração das amostras, o ensaio foi realizado no Laboratório da empresa Tesis – Tecnologia e Qualidade de Sistemas em Engenharia Ltda., localizada no município de São Paulo. O equipamento empregado foi o universal EMIC, com capacidade máxima de 20.000 kg e célula de carga marca KRATTOS, com capacidade de 5 kN, capaz de aplicar esforços de tração juntamente com a célula de carga compatível com a grandeza da força a ser aplicada.

Todos os ensaios foram conduzidos em quintuplicata para cada amostra (padrão, A, B e C). As amostras apresentaram gramatura de 180g cada. Os ensaios foram realizados em duas direções distintas, uma denominada Machine Direction (MD) que é a mesma direção da orientação das fibras que formam o véu na saída da carda; a outra direção é denominada Cross Direction (CD) que é a direção perpendicular à da saída das fibras/véu da carda, representando a direção de saída do dobrador (RUSSELL, 2007). No Quadro 6 apresenta-se a orientação em que as amostras de nãotecido foram submetidas para o ensaio de resistência a tração.

Quadro 6 – Orientação das amostras para o ensaio de resistência a tração.

Amostra	Quantidade	Orientação	Corpo de provas
Padrão	5	MD	CPLP1
			CPLP2
			CPLP3
			CPLP4
			CPLP5
Padrão	5	CD	CPLP1
			CPTP2
			CPTP3
			CPTP4
			CPTP5
A	5	MD	CPL20%1
			CPL20% 2
			CPL20% 3
			CPL20% 4
			CPL20% 5
A	5	CD	CPT20% 1
			CPT20% 2
			CPT20% 3
			CPT20% 4
			CPT20% 5
B	5	MD	CPL30% 1
			CPL30% 2
			CPL30% 3
			CPL30% 4
			CPL30% 5
B	5	CD	CPT30% 1
			CPT30% 2
			CPT30% 3
			CPT30% 4
			CPT30% 5
C	5	MD	CPL40% 1
			CPL40% 2
			CPL40% 3
			CPL40% 4
			CPL40% 5
C	5	CD	CPT40% 1
			CPT40% 2
			CPT40% 3
			CPT40% 4
			CPT40% 5

Fonte: O autor, (2022).

Cada corpo de prova amostral foi preparado (cortado) conforme gabarito normativo NBR16832/2020 (ABNT, 2020) de 50 cm, ou seja, 500 mm, o que conferiu a possibilidade de realizar o cálculo do percentual de alongamento das amostras experimentais após o ensaio. Esses resultados foram obtidos a partir do alongamento do corpo de prova (mm) dividido pelo tamanho das amostras (mm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados conforme os diferentes ensaios conduzidos nas distintas amostras de nãotecidos produzidas.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS E DOS NÃOTECIDOS PRODUZIDOS

4.1.1 Determinação da densidade linear das fibras

Na Tabela 3 apresenta-se os resultados da densidade linear das fibras utilizadas nas amostras fabricadas. A densidade linear das fibras é um parâmetro importante, pois afeta diretamente a distribuição e o arranjo das fibras no nãotecido, bem como a resistência, a durabilidade e o desempenho do material final (XIAO et al., 2020).

Tabela 3 – Valores médios da densidade linear das diferentes fibras utilizadas.

Amostra	Fibra Nomenclatura 3 (den)	Fibra Nomenclatura 2 (den)	Fibra Nomenclatura 1 (den)	Fibra Nomenclatura B01 (den)
1	9,14	8,47	18,29	4,45
2	9,94	6,30	13,43	3,91
3	10,23	8,92	18,55	5,25
4	12,25	8,71	16,63	5,38
5	12,62	9,56	17,64	4,80
Média	10,84	8,39	16,91	4,76
Desv. Pad.	1,52	1,24	2,08	0,60

Fonte: O autor, (2023).

A densidade linear das fibras variou de 4,76 *denier* até 16,91 *denier* (Tabela 3). Uma menor densidade linear de fibras pode resultar na produção de um nãotecido mais leve e com maior volume de ar retido entre as fibras. Isso pode conferir ao produto propriedades como maciez, isolamento térmico e capacidade de absorção de líquidos. No entanto, um nãotecido com densidade linear muito baixa pode ter menor resistência mecânica e capacidade de retenção de forma. Por outro lado, um maior valor de densidade linear de fibras está vinculado com a produção de um nãotecido mais denso e com menor volume de ar retido. Isso pode conferir ao material

propriedades como resistência mecânica, rigidez e estabilidade dimensional. No entanto, um não tecido com alta densidade linear pode ser menos flexível e ter menor capacidade de absorção (LESHCHENKO et al., 2023).

Em linhas gerais, a escolha dos valores de densidade linear de fibras para a produção de não tecidos depende da aplicação específica e das propriedades desejadas para o material final. Não há um valor único ou específico de densidade linear que seja universalmente recomendado, pois diferentes aplicações requerem diferentes características do não tecido (LESHCHENKO et al., 2023).

Não tecidos leves, fabricados para serem empregados em processos de confecção de vestuários e têxteis domésticos (camisa, lençóis, roupas leves) a densidade das fibras podem variar entre 1,5 e 3 dtex. Já a aplicação de não tecidos para filtragem e geotêxteis (filtros de ar, filtros de líquidos) a densidade linear das fibras geralmente varia de 3 a 6 dtex. Entretanto, para a aplicação de não tecidos como reforço estrutural recomenda-se utilizar fibras com densidade linear variando de 6 a 20 dtex (XIAO et al., 2020).

Já em relação ao título médio ponderado, foi possível confirmá-lo após o ensaio realizado para as respectivas amostras experimentais fabricadas e com a aplicação da Equação 1. Identificou-se um título de 11,794 *denier* para a amostra não tecido padrão e 8,542 *denier*, 7,703 *denier* e 6,864 *denier* para as amostras experimentais A, B e C. Ressalta-se também que não verificou-se diferença estatística entre os valores de títulos médios entre as amostras analisadas. Valores similares foram identificados por Rosa, (2021), onde o valor de título médio em *denier* encontrado foi de 10,93 *denier* para as fibras de PES empregadas na produção de não tecidos.

4.1.2 Identificação de bactérias nas fibras de PES e DT

4.1.2.1 *Bactérias mesófilas em fibras de poliéster e no desfibrado têxtil*

O desenvolvimento de bactérias em produtos têxteis é dependente de fatores ambientais e das propriedades dos têxteis como a composição química, tipo de fibra e porosidade. Os fatores ambientais ideais para a sua proliferação são a luz, umidade, temperatura e poluição (SZOSTAK-KOTOWA, 2004). No Quadro 7 apresenta-se uma

síntese dos resultados encontrados nas diferentes amostras de fibras avaliadas. Além disso, nas Figuras 15 e 16 apresentam-se os resultados de microbiologia para as diferentes fibras avaliadas.

Em todas as amostras das fibras o meio de cultura utilizado apresentou-se turvo após incubação, indicando crescimento de bactérias. O crescimento de bactérias mesófilas gram-positivas com diferentes formatos (cocus e bacilos) foi identificado em todas as amostras (Figura 15). As principais bactérias normalmente encontradas nas fibras têxteis são *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *S. aureus* e *P. aeruginosa*, todas bactérias gram negativas (MURRAY et al., 2017). Essas bactérias podem tanto estar associadas com alterações estéticas como manchas ou nódoas, descoloração, odores e diminuição de resistência das fibras. Além disso, o crescimento dessas bactérias, também podem causar consequências na saúde do consumidor final, pela possibilidade de causarem infecções (PUWAR; JOSHI, 2004).

Quadro 7 – Identificação de bactérias mesófilas nas diferentes fibras avaliadas e desfiado têxtil.

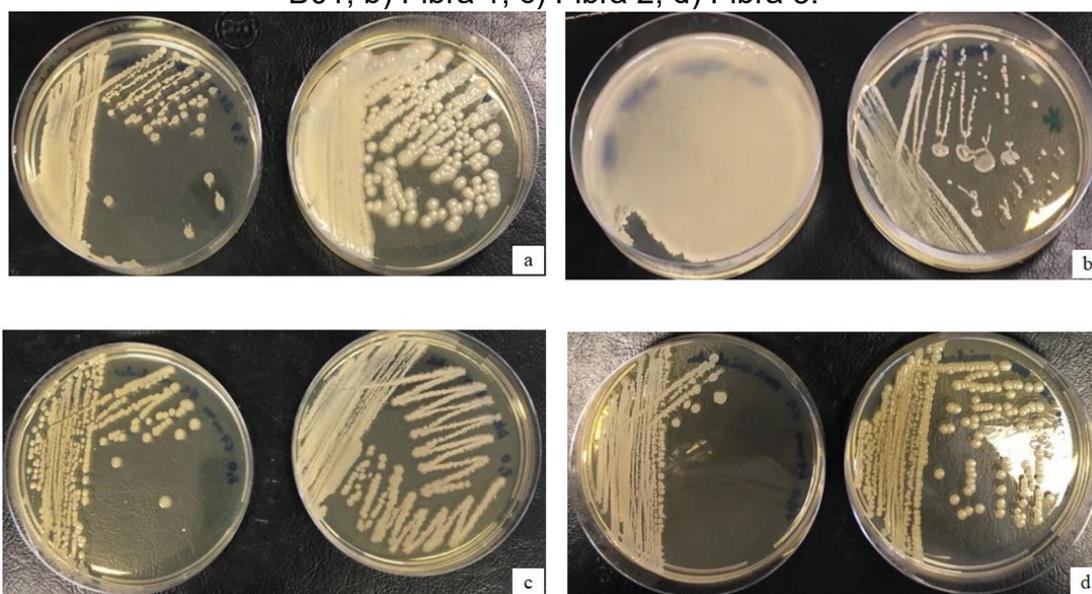
Fibra	Resultados encontrados
B01	Identificação de bactéria gram-positiva em forma de bacilo/bastonete, sendo a da esquerda um bacilo menor e sem arranjo bem definido e o da direita um bacilo maior em arranjo estreptobacilos. Não apresenta valor quantitativo.
1	Identificação de crescimento confluyente, exibindo bacilos gram-negativos na placa da esquerda, sem arranjo definido. Placa da direita contendo cocos gram-positivos em arranjo predominante estafilococos.
2	Identificação de bactéria gram-positiva em forma de bacilo/bastonete, com a presença de bactérias filamentosas e bacilos. Presença de células em diplobacilos e estreptobacilos Ausência de arranjo bem definido, embora seja possível observar bacilos agrupados Além disso, a placa da direita exibiu uma coloração mais fraca (esmaecida), que pode ser sugestiva de formação inicial de endósporos.
3	Identificação de bactéria gram-positiva em forma de bacilo/bastonete, sendo a da esquerda um bacilo menor e sem arranjo definido e o da direita um bacilo maior em arranjo estreptobacilos; alguns diplobacilos podem ser encontrados.
DT	Identificação de bactéria gram-positiva exibindo bacilos em arranjo predominante estreptobacilos. Pode-se observar estruturas compatíveis com endosporos também estruturas transparentes dentro da célula. Microscopia da direita exibindo bacilos gram-negativos sem arranjo definido.

Fonte: O autor, (2022).

Cabe ressaltar também, que identificou-se uma turbidez visualmente menor na fibra de poliéster 3 (Figura 15d). Esse comportamento é resultante de um menor crescimento bacteriano. Nesse sentido, torna-se evidente que a estrutura física da fibra pode ter influenciado na colonização bacteriana. A fibra 3 é uma fibra sólida

regular, enquanto que as demais fibras, são ocas e regulares. Essa morfologia das fibras está relacionada diretamente com a área superficial disponível para o desenvolvimento bacteriano. Como a fibra 3 possui menos área superficial de contato, devido ela não ser oca, quando comparada com as demais fibras, menor será o desenvolvimento bacteriano.

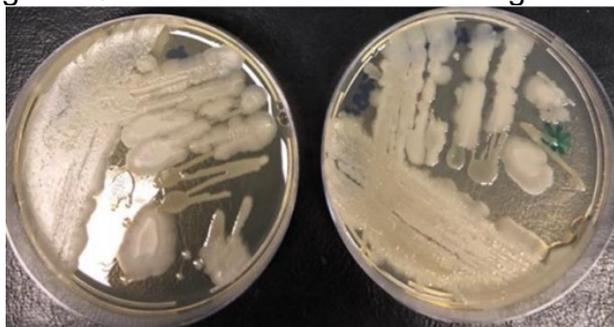
Figura 15 – Resultados de microbiologia das diferentes amostras de fibras. a) Fibra B01; b) Fibra 1; c) Fibra 2; d) Fibra 3.



Fonte: O autor, (2022).

Ademais, destaca-se que nas amostras das fibras de DT identificou-se um odor característico de esgoto. Essas características podem estar associadas ao crescimento de bactérias gram-negativas com populações das enterobactérias (Figura 16). Essas bactérias possuem preferência em habitar o trato gastrointestinal. Provavelmente o crescimento dessas bactérias apenas nas fibras de DT pode estar relacionado com o maior processo de manuseio devido ao fato de se tratar de fibras já utilizadas (SZOSTAK-KOTOWA, 2004).

Figura 16 – Resultados de microbiologia do DT.

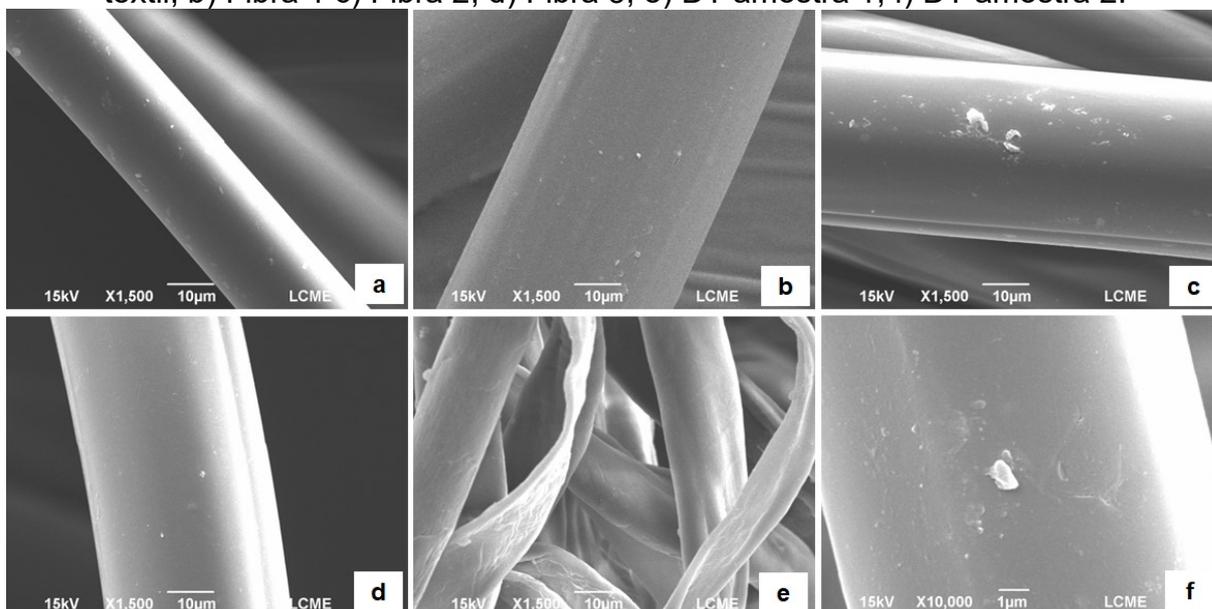


Fonte: O autor, (2022).

4.1.3 Microscopia eletrônica de varredura nas fibras de PES e DT

Na Figura 17 podem ser observadas as microfotografias das diferentes amostras de fibras avaliadas. Pode-se observar que tanto as fibras de PES, representadas nas Figuras 17 (a), (b), (c) e (d) quanto de DT representado nas Figuras 17 (e) e (f) apresentaram superfícies lisas sem rugosidades favorecendo o processo de consolidação das mesmas, o que pode resultar em um não tecido mais uniforme e com melhor resistência mecânica.

Figura 17 – Microfotografias das diferentes fibras empregadas no estudo. a) B01 têxtil; b) Fibra 1 c) Fibra 2; d) Fibra 3; e) DT amostra 1; f) DT amostra 2.



Fonte: O autor, (2023).

A rugosidade das fibras pode ter influência no processo de consolidação do não tecido, afetando a aderência e a interação entre as fibras durante a formação do material final. As características da superfície das fibras podem afetar diretamente na

interação entre as fibras, no empacotamento das fibras, na resistência das fibras, e as propriedades funcionais (KUNDU et.al, 2013).

4.2 COMPORTAMENTO DAS AMOSTRAS DE NÃOTECIDO PRODUZIDAS

4.2.1 Identificação de bactérias mesófilas nas diferentes amostras de nãotecido

No Quadro 8 apresenta-se a caracterização bacteriana identificada nas diferentes amostras de nãotecido. Além disso, na Figura 18 apresenta-se os resultados de microbiologia para cada amostra avaliada. Identificou-se o crescimento de bactérias mesófilas em todas as amostras de nãotecido, inclusive na amostra padrão. Esse fato já era esperado, pois como mostrado anteriormente, as fibras já possuíam presença de bactérias, ocasionando consequentemente o crescimento bacteriano nas amostras de nãotecido.

Quadro 8 – Identificação de bactérias mesófilas em nãotecido de PES e nãotecido com diferentes percentuais de DT.

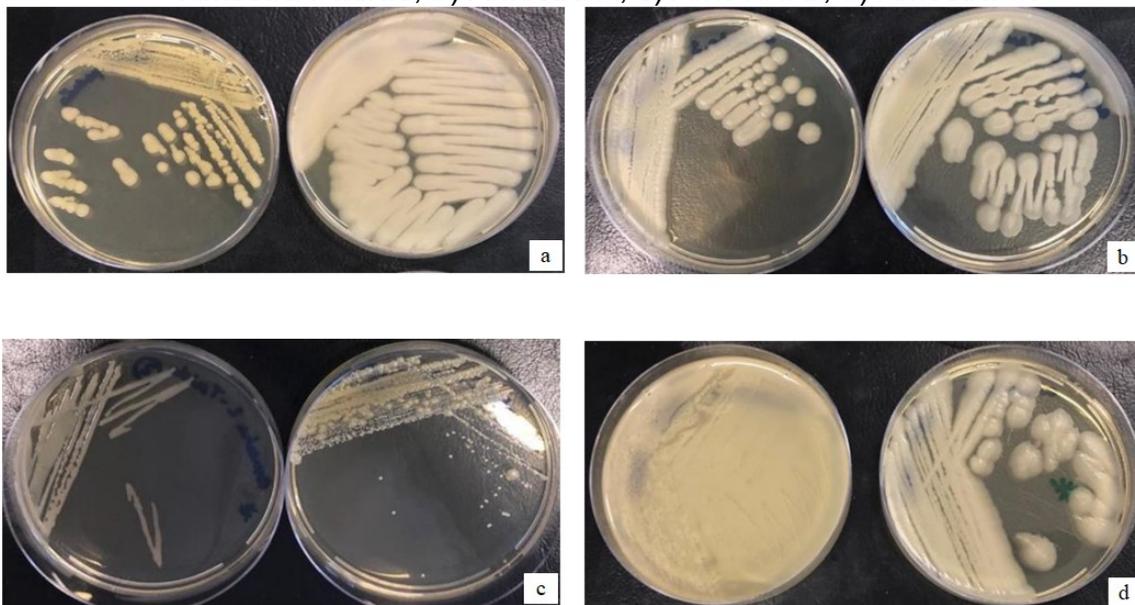
Amostra	Resultados encontrados
Padrão	A microscopia realizada na amostra padrão (blenda oficial), da esquerda sugestiva de bactéria gram-positiva ambiental filamentosa com tamanho grande para bactéria e sem arranjo bem definido. Microscopia da direita sugestiva de bactéria Gram-positiva em forma de bacilo/bastonete em arranjo estreptobacilos. Não apresenta valor quantitativo.
Amostra A	A microscopia da esquerda e da direita, sugestivas de bactéria gram-positiva em forma de bacilo/bastonete em arranjo estreptobacilos. Não apresenta valor quantitativo.
Amostra B	A microscopia da esquerda, sugestiva de bactéria gram-positiva em forma de bacilo/bastonete em arranjo estreptobacilos. Microscopia da direita, sugestiva de bactéria gram-positiva em forma de cocos em arranjo estafilococos. Não apresenta valor quantitativo.
Amostra C	A microscopia da esquerda, apresenta uma mistura de bacilos gram-negativos e cocobacilos gram-positivos, ambos sem arranjo bem definido. Microscopia da direita, exhibe bacilos gram-positivos em arranjo estreptobacilos. Não apresenta valor quantitativo.

Fonte: O autor, (2022).

Um comportamento interessante pode ser observado na amostra C, onde identificou-se uma maior turbidez (Figura 18 e Figura 19). A amostra C apresenta uma porcentagem de 40% de DT na sua composição ocasionando maior crescimento bacteriano. Provavelmente esse comportamento esteja associado com o maior

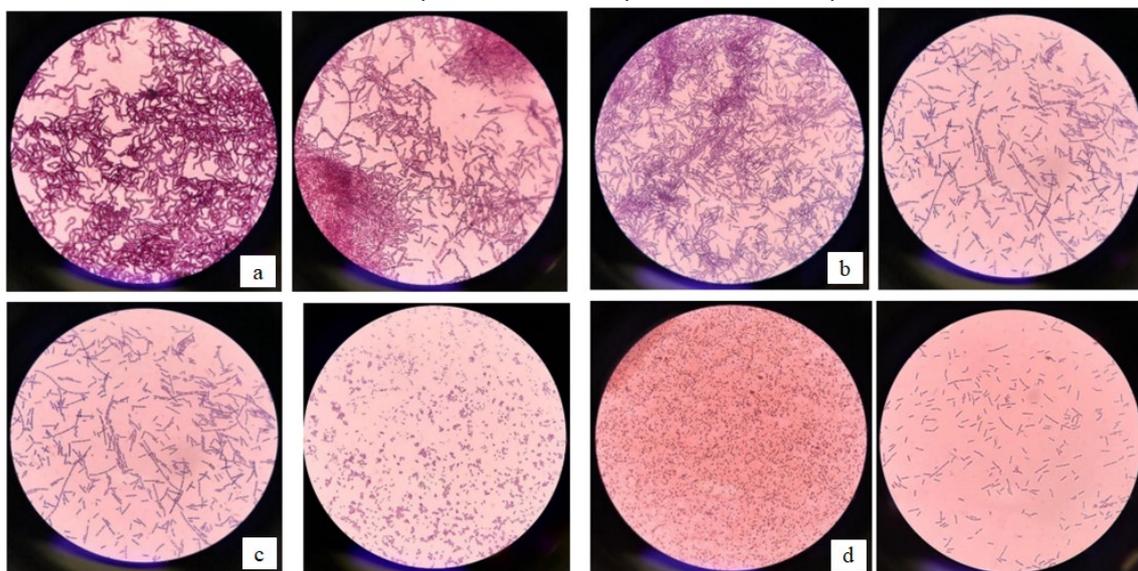
número (processos) de operações unitárias nas fibras de DT, quando comparadas as fibras de PES.

Figura 18 – Resultados de microbiologia das diferentes amostras de nãotecidos. a) Amostra Padrão; b) Amostra A; c) Amostra B; d) Amostra C.



Fonte: O autor, (2022).

Figura 19 – Resultados de microscopia das diferentes amostras de nãotecidos. a) Amostra Padrão; b) Amostra A; c) Amostra B; d) Amostra C.



Fonte: O autor, (2022).

Em linhas gerais, bactérias gram-positivas foram identificadas em todas as amostras. Apenas na amostra C foi identificado *cocobacilos* gram-positivos e uma mistura de bacilos gram-negativos.

4.2.2 Bactérias que causam riscos à saúde humana

A Tabela 4 apresenta-se os resultados da presença de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* na amostra de nãotecido padrão e na amostra com 30% de DT. Ambas as bactérias são comumente encontradas no ambiente e também no trato gastrointestinal de seres humanos. Embora essas bactérias possam ser parte da microbiota normal do corpo humano, elas podem causar doenças quando presentes em quantidades excessivas ou quando certas cepas patogênicas estão envolvidas. Populações de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* podem originar diferentes infecções como gastrointestinais, do trato gastro urinário, respiratórias e no sanguíneas (GOUYAU et al., 2021).

Tabela 4 – Resultados da presença de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* nas amostras de nãotecido padrão e com 30% de DT.

Amostra	<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC6538	<i>Escherichia coli</i> ATCC25922
Padrão	1,0 x10 ² UFC/mL	7,0 x 10 ³ UFC/mL
B	1,2 x 10 ³ UFC/mL	1,3 x 10 ⁴ UFC/mL

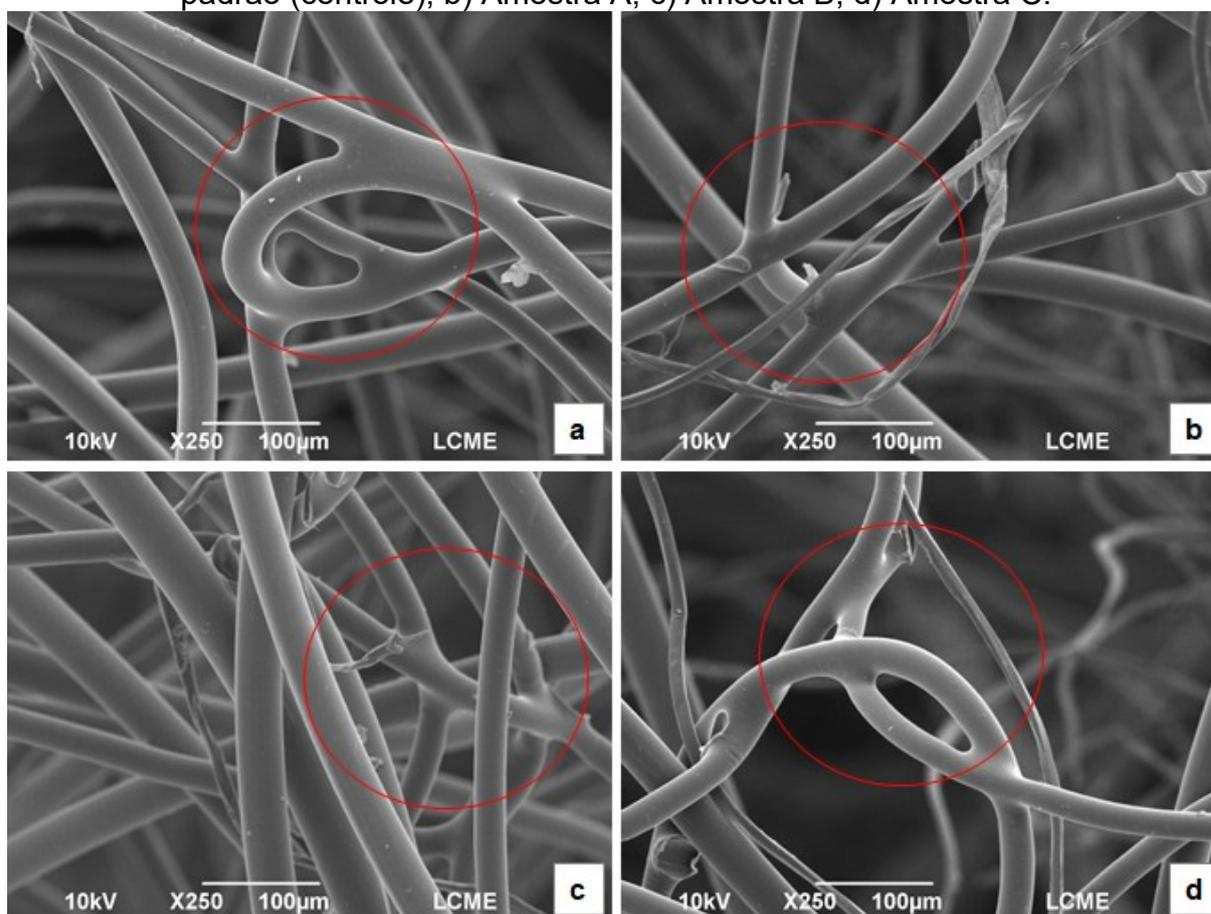
Considerando que foi realizado uma inoculação com 1,5x10⁵ UFC/mL em todas as amostras estudadas, não identificou-se potencialidade de crescimento para ambas as bactérias avaliadas. Esse comportamento está associado ao fato de ocorrer uma redução de 3 e 2 logs para *S. aureus* e *E. coli*, respectivamente. Essas populações bacterianas perderam viabilidade celular ao longo do período de incubação das amostras.

Conforme Xin et al. (2023) a redução na viabilidade celular de ambas as bactérias pode ser resultado de vários fatores, incluindo a falta de nutrientes adequados, condições desfavoráveis de pH, falta de oxigênio ou a presença de substâncias antimicrobianas ou estressantes na amostra. Além disso, as bactérias podem estar sujeitas a efeitos de competição entre as bactérias, limitação de nutrientes, estresse ambiental ou ação de substâncias antimicrobianas presentes nas amostras estudadas.

4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura nos nãotecidos de PES e DT

A Figura 20 apresenta as fotos do MEV das diferentes amostras de nãotecido. Na maior parte das amostras, identificou-se a consolidação de algumas amostras de nãotecido por meio da presença de forquilha, conhecidas como Y (NETO et al., 2019).

Figura 20 – Microfotografias das diferentes amostras de nãotecidos. a) Amostra padrão (controle); b) Amostra A; c) Amostra B, d) Amostra C.



Fonte: O autor, (2023).

Cabe ressaltar que a presença de DT influenciou na consolidação das fibras da amostra C (40% de DT), pois é a amostra que demonstrou maior alongamento após a realização do ensaio de tração, descrito no item 4.2.5, em ambos os sentidos. Provavelmente esse comportamento esteja associado com a grande quantidade de DT presente na amostra dificultando a consolidação. Apesar desse comportamento, as demais amostras com concentrações menores de DT (até 30%) também apresentaram a consolidação das mesmas.

Segundo Kundu et al. (2013) o processo de consolidação de fibras de DT apresenta algumas dificuldades a serem superadas como por exemplo, a baixa coesão entre as fibras, a distribuição, a interação e o tamanho das mesmas, e a dificuldade no controle da porosidade e da superfície.

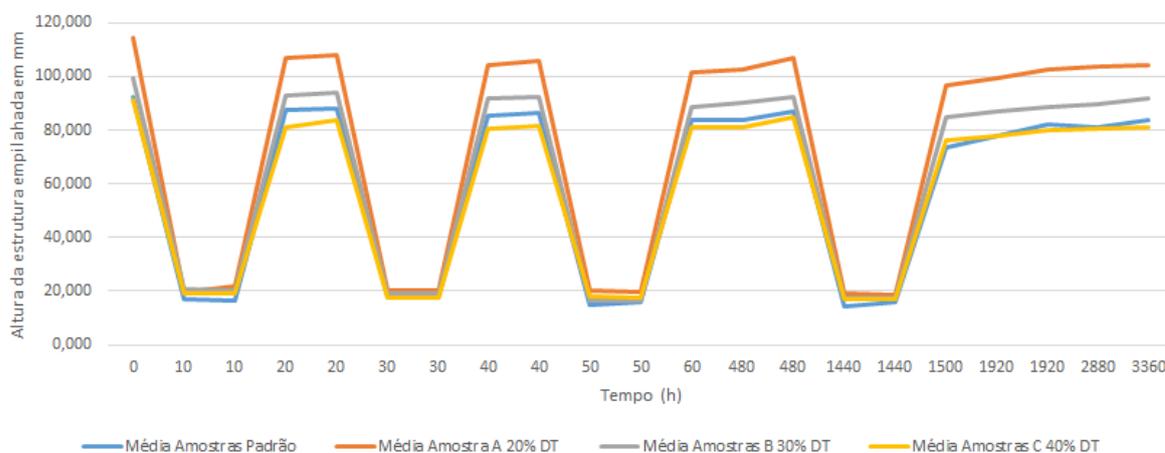
No entanto, apesar dos desafios apontados para a produção de não tecido com DT vale ressaltar que em amostras com concentrações de até 30% de DT, a presença desse material nas amostras não prejudicou a consolidação das fibras formando o não tecido. Esse comportamento indica que a utilização de DT na fabricação de um não tecido pode ser mais uma alternativa de reutilização do resíduo sólido da indústria.

A consolidação tanto da amostra padrão como das amostras experimentais com diferentes percentuais de DT é visível por meio da presença de forquilhas que demonstram a união entre os componentes: fibra B01 (responsável pela fusão), fibra 1, fibra 2, fibra 3 ou DT.

4.2.4 Compressão e recuperação de não tecidos volumosos

Na Figura 21 são apresentados os valores médios da compressão e recuperação das diferentes amostras de não tecido. Em linhas gerais, foi possível identificar que as estruturas de não tecido com DT em comparação ao não tecido padrão, se mantem ao longo do ensaio, sendo que as amostras de não tecido A e B (20% e 30% de DT, respectivamente) demonstraram um melhor desempenho de recuperação da altura, quando comparado ao padrão. Esse comportamento demonstrou que o DT proporcionou maior resiliência na amostra. A presença dessas fibras de DT nas amostras de não tecido pode conferir maior capacidade de deformação elástica, permitindo que o material se recupere mais eficientemente após ser comprimido. Essa resiliência é vantajosa em aplicações onde o não tecido precisa resistir a deformações e manter sua integridade estrutural (GULICH, 2006).

Figura 21 – Valores médios da altura das estruturas empilhadas das diferentes amostras.



Fonte: O autor, (2022).

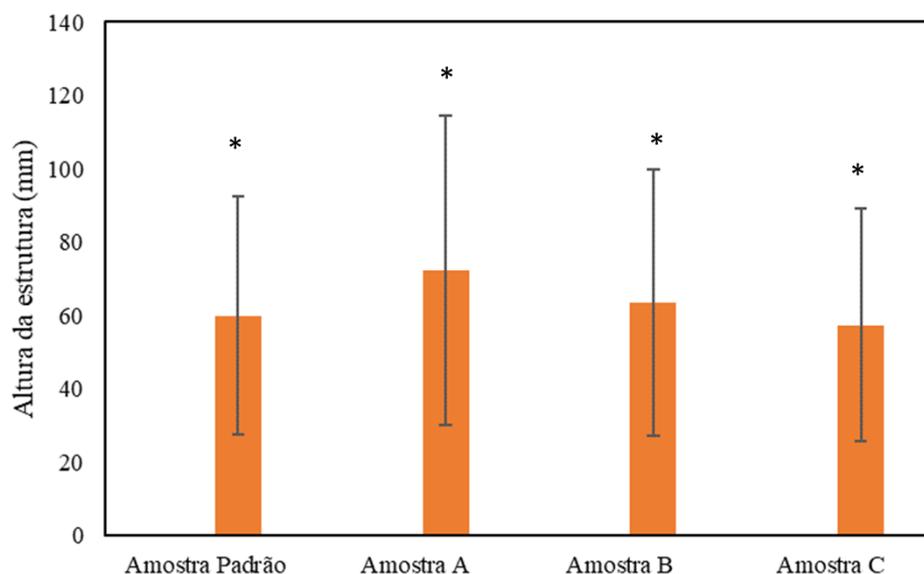
A amostra padrão apresentou uma altura média de $59,90 \pm 32,50$ mm de altura (Figura 22), enquanto que as amostras A e B apresentaram valores superiores ($72,26 \pm 42,18$ mm; $63,52 \pm 36,31$ mm, respectivamente). Provavelmente esse comportamento esteja atrelado com o dtex das fibras de PES. Quanto maior for o dtex maior é o suporte que a fibra proporciona ao não tecido, gerando este aumento de volume. Ao mesmo tempo, o menor desempenho da amostra C está atrelado a concentração de DT na sua composição. O DT é conhecido por ser uma fibra curta sem *crimp* e de baixo dtex; impactando na resiliência do produto conforme quantidade (CARVALHO, 2016). Além disso, esses resultados mostraram que as fibras de DT possuem uma maior capacidade de preencher o espaço entre as fibras de PES, resultando em uma estrutura mais volumosa e, conseqüentemente, com maior recuperação da altura mesmo após a compressão nas amostras A e B. Por outro lado, a amostra C apresentou o menor valor médio do ensaio ($57,44 \pm 31,85$ mm). Esses resultados podem indicar que a composição dessa amostra não é tão adequada para promover a formação de uma estrutura mais volumosa.

Yang et al. (2019) conduziram um estudo para avaliar o potencial de compressão e recuperação de não tecidos produzidos com fibras de PES. As amostras avaliadas atingiram uma altura média de 59,00 mm e concluíram que não tecidos com maior densidade linear geralmente apresentam melhores propriedades de compressão.

Baseado nos resultados obtidos identificou-se que as amostras A e B (apresentaram um comportamento superior na altura da estrutura quando

comparadas as amostras padrão e C. Além disso, diferenças estatísticas foram observadas em todas as amostras comparadas (padrão, A, B e C) (Figura 22).

Figura 22 – Resultados médios da altura da estrutura das diferentes amostras.



Nota: *Diferença estatística identificada entre todas as amostras ($p > 0,05$).
Fonte: O autor, (2023).

Nesse sentido, as variações nos resultados podem ser atribuídas a diferentes fatores, incluindo a composição do nãotecido, a estrutura das fibras, a densidade do material e as condições de ensaio.

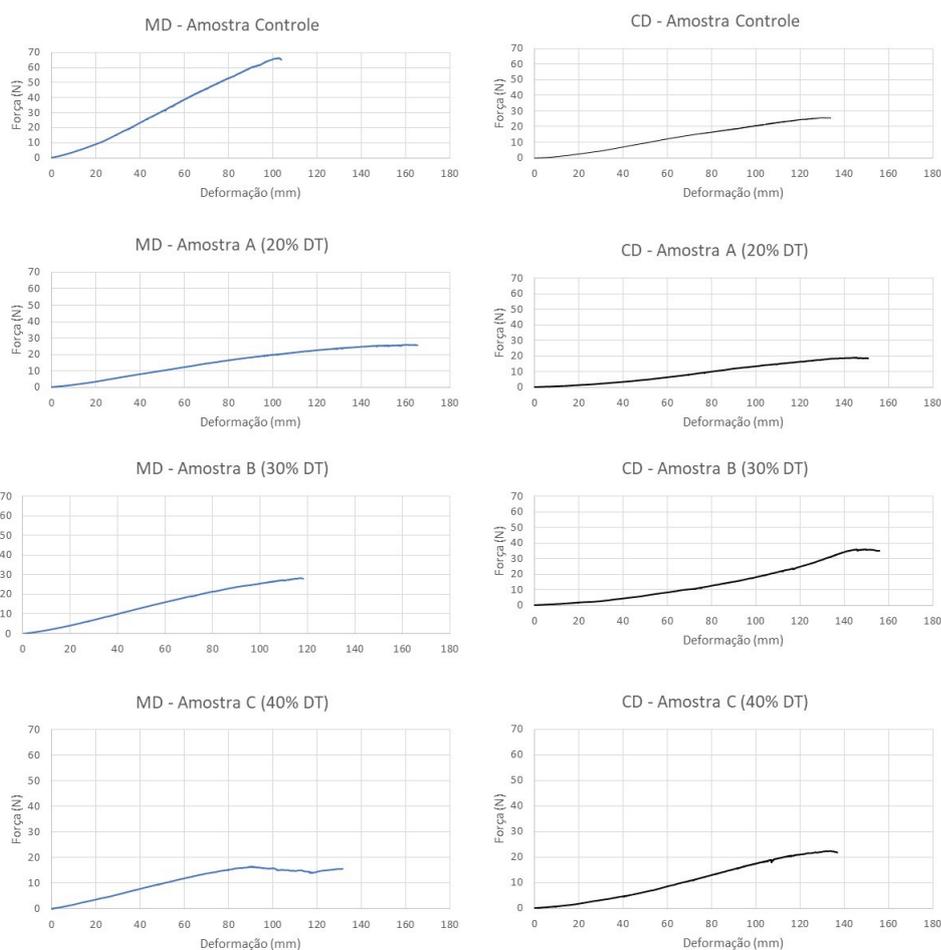
4.2.5 Resistência à tração

Na Figura 23 apresentam-se os resultados de resistência à tração no sentido MD (*machine direction*) e CD (*cross direction*) das diferentes amostras. Considerando o sentido MD, a amostra controle apresentou força superior de 66 N quando comparada ao sentido CD, enquanto que as amostras A, B, e C apresentaram uma força de 25, 28 e 17 N, respectivamente. Esse comportamento mostrou uma influência da presença de DT nesse sentido, com a perda da resistência a tração do nãotecido. Esse resultado está atrelado ao pequeno comprimento das fibras que compõem o DT.

Já em relação ao sentido CD, na amostra controle, a tensão máxima identificada foi de 26 N. E nas amostras A, B, e C foram identificados valores na ordem de 18, 36 e 22 N, respectivamente. Esses resultados mostraram que a adição de DT no nãotecido apresentou uma leve melhora na resistência à tração para a amostra

experimental com adição de 30% de DT. Porém para as amostras experimentais com adição de 20% de DT e 40% de DT foi apresentado uma significativa queda na resistência frente a amostra controle, com perda de 8 N a 4 N respectivamente.

Figura 23 – Resultados de resistência a tração das diferentes amostras. a) Amostra Controle (padrão); b) Amostra A; c) Amostra B; d) Amostra C.



Fonte: o autor, (2023).

A adição do DT mostrou influenciar fortemente no alongamento elástico do nãotecido, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Alongamento médio das diferentes amostras de nãotecido avaliadas.

Sentidos	Amostra Controle	Amostra A	Amostra B	Amostra C
Sentido MD	105 mm	162 mm	118 mm	135 mm
Percentual de alongamento	21%	32%	24%	27%
Sentido CD	138 mm	150 mm	158 mm	138 mm

Percentual de alongamento	28%	30%	32%	28%
---------------------------	-----	-----	-----	-----

Fonte: o autor, (2023).

Quando comparada a amostra controle (padrão), o seu alongamento elástico no sentido MD foi de aproximadamente 105 mm. Já as demais amostras apresentam alongamentos elásticos superiores, isto é devido as fibras curtas do DT que possibilitam um maior rearranjo na estrutura dos nãotecidos, com menor ponto de amarração pela fibra bicomponente (B01) - (menos pontos de contato por fibra), proporcionando um maior alongamento por ter menos pontos de interação. O mesmo ocorre no sentido CD, onde a amostra controle (padrão) apresentou um alongamento elástico de aproximadamente 138 mm, sendo que as amostras A e B também apresentaram alongamentos elásticos superiores. Já na amostra C, a quantidade de DT adicionada a blenda (40%) demonstra influenciar na redução do alongamento, trazendo o resultado próximo ao apresentado na amostra controle (padrão), o que pode estar associado ao entrelaçamento, com mais pontos de contato à fibra bicomponente (B01), ou seja, quanto maior o entrelaçamento entre as fibras, menor é o grau de liberdade na estrutura do nãotecido (menor o deslizamento das fibras).

5 CONCLUSÕES

Baseado na produção de nãotecidos com diferentes percentuais de DT, e no comportamento dos mesmos, pode-se concluir que:

Embora a produção de nãotecidos com DT apresente desafios, esse estudo mostrou que a presença de até 30% de DT na composição do nãotecido não prejudicou a consolidação das fibras e a formação do nãotecido. Esse resultado indicou que a utilização do DT na fabricação de nãotecidos pode ser uma alternativa viável e promissora para a reutilização desse resíduo como matéria-prima no processo de confecção têxtil de edredons leves.

As estruturas de nãotecido com DT mantiveram sua integridade ao longo do ensaio, e as amostras com 20% e 30% de DT apresentaram um melhor comportamento de recuperação de altura em comparação ao nãotecido padrão. Isso indica que a adição de DT proporcionou uma maior resiliência às amostras de nãotecido.

Os resultados da inoculação com $1,5 \times 10^5$ UFC/mL nas amostras padrão e com o nãotecido com 30% de DT mostraram uma redução significativa de 3 logs para *S. aureus* e 2 logs para *E. coli* ao longo do período de incubação. Isso indica que ambas as bactérias perderam viabilidade celular e não apresentaram potencialidade de crescimento nas condições avaliadas. Esses resultados são relevantes no contexto da segurança microbiológica, pois indicam que as amostras estudadas possuem propriedades ou características que impedem o crescimento dessas bactérias patogênicas. Essa informação é importante para garantir a qualidade e a segurança de produtos ou materiais que possam entrar em contato com alimentos, medicamentos, artigos de vestuários ou serem utilizados em ambientes sensíveis à contaminação bacteriana.

Em relação a força, no sentido MD, a adição de DT afetou a resistência à tração do nãotecido. Já no sentido CD a adição de DT no nãotecido apresentou uma leve melhora na resistência à tração para a amostra experimental com adição de 30% de DT. Já para as amostras experimentais com adição de 20% de DT e 40% de DT foi apresentado uma significativa queda na resistência frente a amostra controle, com perda de 8 N a 4 N respectivamente.

A adição do DT mostrou influenciar também no alongamento elástico do nãotecido, quando comparada a amostra controle (padrão), o seu alongamento

elástico no sentido MD, apresentou um resultado inferior quando comparado as demais amostras A, B e C respectivamente, isto é devido as fibras curtas do DT que possibilitam um maior rearranjo na estrutura dos não tecidos, com menor ponto de amarração pela fibra bicomponente (B01) - (menos pontos de contato por fibra), proporcionando um maior alongamento por ter menos pontos de interação. O mesmo ocorre no sentido CD, onde a amostra controle (padrão) apresentou um alongamento elástico também inferior quando comparado as amostras A e B que apresentaram alongamentos elásticos superiores. Já na amostra C, para o sentido CD, demonstra influencia com a quantidade de DT adicionada a blenda (40%), apresentando uma redução do alongamento, o que pode estar associado ao entrelaçamento, com mais pontos de contato à fibra bicomponente (B01), ou seja, quanto maior o entrelaçamento entre as fibras, menor é o grau de liberdade na estrutura do não tecido (menor o deslizamento das fibras).

A reutilização de resíduos sólidos industriais é uma abordagem sustentável que contribui para a redução do impacto ambiental e a promoção da economia circular. Ao empregar o DT na produção de não tecidos, não apenas é possível evitar a disposição inadequada desse material, mas também se abre a possibilidade de criar novos produtos com valor agregado.

SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

- Comprovar a aplicabilidade do não tecido produzido com DT na sua composição;
- Avaliar a viabilidade econômica da produção de não tecido com DT na sua composição.

REFERÊNCIAS

ABINT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE NÃOTECIDOS (São Paulo). **Números do setor de nãotecido mostram pequeno crescimento em 2019**. 2020. Disponível em: <https://www.abint.org.br/>. Acesso em: 25 fev. 2021.

ABINT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE NÃOTECIDOS E TECIDOS TÉCNICOS (São Paulo). Classificação, Identificação e Aplicações de Nãotecidos. 1999.

ABIT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E CONFECÇÃO. Relatório de Atividades 2013. 74p. Disponível em: <<http://www.abit.org.br/Publicacao.aspx>> Acesso em: 24 nov. 2021.

ALKAYA, E.; DEMIRER, G.N. Sustainable textile production: a case study from a woven fabric manufacturing mill in Turkey. **Journal Clean Production**, 65, p.595-603,2014.

ALLWOOD, J. M.; LAURSEN, S. E.; RODRIGUEZ, C. M. de; BOCKEN, N. M. P. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS **ASTM D1577-07(2018)**: Standard Teste Methods for Linear Density of Textile Fibers. 2018.

ANDRES L. F. **A gestão ambiental em indústrias do vale do taquari: vantagens com o uso das técnicas de produção mais limpa**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Administração. UFRGS, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 12546**: Materiais Texteis – Ligamentos fundamentais de tecidos planos - Terminologia. 1 ed. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 16832**: Sistemas construtivos em chapas de gesso para drywall- Lãs de PET para isolamento térmico e acústico – Requisitos e métodos de ensaio. 1 ed. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13462**: Tecido de malha por trama – Estruturas fundamentais. 1 ed. Rio de Janeiro, 1995.

ARAFAT, Y.; UDDIN, A. J. Recycled fibers from pre- and post-consumer textile waste as blend constituents in manufacturing 100% cotton yarns in ring spinning: a sustainable and eco-friendly approach. **Heliyon**, [S.L.], v. 8, n. 11, p. 11275-11285, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11275>.

BABAN, A., YEDILER, A., CILIZ, N.K. Integrated water management and CP implementation for wool and textile blend processes. **Clean. - Soil, Air, Water** 38(1), p. 84-90, 2010.

BARBOSA, G.S. O desafio do desenvolvimento sustentável. **Revista Visões**,v. 4, p 1 – 11, 2008.

BARBOSA, M.C.; ROSA, S.E.S.; CORREA, A.R.; DVORSAK, P.; GOMES, G.L. Setor de fibras sintéticas e suprimento de intermediários petroquímicos. **BNDES Setorial (Rio de Janeiro)**, n. 20, p. 77-126, set. 2004.

BOYLE, C. Education, sustainability and cleaner production. **Journal of Cleaner Production**, v.7(1), p.83- 87, 1999. .

BUSCIO, V.; LÓPEZ-GRIMAU, V.; ÁLVAREZ, M.D.; GUTIÉRREZ-BOUZÁN, C. Reduzindo o Impacto ambiental da indústria têxtil com a reutilização de sais residuais e água: sistema ECUVal. **Chem. Eng. J.** v.373, p.161-170, 2019. doi:10.1016 / j.cej.2019.04.146.

CARVALHO, A. T. **A utilização de resíduos sólidos do setor de manufatura do vestuário da moda na reciclagem em anel fechado e em anel aberto.** 2016. 161 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós Graduação em Têxtil e Moda, Artes Visuais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

CASADESUS-MASANELL, R.; CROOKE, M.; REINHARDT, F.; VASISHTH, V. Households vontade de pagar por “verde” produtos: evidências da introdução de roupas esportivas de algodão orgânico na Patagônia. **J. Econ. Manag. Strateg**, v.18 (1), p.203-233, 2009.

CASTILLO-SUÁREZ, L. A.; SIERRA-SÁNCHEZ, A. G.; LINARES-HERNÁNDEZ, I.; MARTÍNEZ-MIRANDA, V.; TEUTLI-SEQUEIRA, E. A.. A critical review of textile industry wastewater: green technologies for the removal of indigo dyes. **International Journal Of Environmental Science And Technology**, [S.L.], p. 235-248, 27 mar. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13762-023-04810-2>.

CAVALCANTI, A. M.; SANTOS, G. F. d. A indústria têxtil no BRASIL: uma análise da importância da competitividade frente ao contexto mundial. **Exacta**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 706-726, 30 jun. 2022. University Nove de Julho. <http://dx.doi.org/10.5585/exactaep.2021.17784>.

CENTRO NACIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPAS – CNTL. Implementação de Programas de Produção mais limpa. Porto Alegre: SENA-RS/UNIDO/INEP, 2003.
CHEN, C.; MONAHAN, G. E. Environmental safety stock: The impacts of regulatory and voluntary control policies on production planning, inventory control, and environmental performance. **European Journal of Operational Research**, v.207(3), p.1280-1292, 2010. [http:// dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2010.06.028](http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2010.06.028).

COSTA, M. I. **Transformação do nãotecido - uma abordagem do design têxtil em produtos de moda.** 2003. 200 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **CONMETRO:** Dispõe sobre a aprovação do Regulamento Técnico Mercosul Sobre Etiquetagem de Produtos Têxteis. 1 ed. Rio de Janeiro, 2008. 5 p.

CUMBI, H. A. **Avaliação do desempenho de mantas sintéticas não tecidas no tratamento de água para consumo humano visando utilização em comunidades rurais - ensaio em escala piloto**. 2013. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pósgraduação em Saneamento, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

DE OLIVEIRA, C.; MULINARI, J.; REICHERT, F.; JÚNIOR, A. Sistemas de nano-entrega de pesticidas agentes ativos para aplicações agrícolas - uma visão geral. In: **Ciência, Tecnologia e Inovação: Do Campo à Mesa. Instituto Internacional Despertando Vocações**. Recife / PE, p. 1–20, 2020. doi:10.31692 / ICIAGRO.2020.0051.

DE OLIVEIRA, C.R.S.; BATISTELLA, M.A.; DE SOUZA, S.M.; DE SOUZA, A.A.U. Desenvolvimento de sensores flexíveis utilizando malhas com revestimento condutor de polianilina e eletrodos de grafite. **J. Appl. Polym. Sci.v.** 134, p.1–10, 2017. doi:10.1002 / app. 44785.

DUARTE, A. **Proposta de integração entre ferramentas de avaliação de ciclo de vida do produto e Indústria 4.0 (Industrie 4.0): estudo de caso da indústria têxtil e de confecção**. [s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 2017, 87p.

EDANA - ASSOCIAÇÃO EUROPEIA DE DESCARTÁVEIS E NÃOTECIDOS.

Disponível em: <<https://www.edana.org/nw-related-industry/nonwovens-markets>>. Acesso em: 10 mai. de 2020.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. A new textiles economy: redesigning fashion's future. 2017. Disponível em:

<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/anew-textiles-economy-redesigning-fashions-future>. Acesso em 24 dez.2021.

FEBRATEX. Diminui produção de fibras naturais. 2021. Disponível em: <https://gbljeans.com.br/mercado/economia/diminui-producao-mundial-de-fibras-naturais/>. Acesso em: 28 jun. 2022.

FERREIRA, J. V. R. **Gestão ambiental: análise de ciclo de vida dos produtos**. Instituto Politécnico de Viseu. 2004.

GARDETTI, M.A., TORRES, A.L. **Sustentabilidade em Moda e Têxteis: Valores, Design, Produção e Consumo**. Greenleaf Publishing, Sheffcampo Reino Unido, 2013, 20p.

GARG, S.; TRIPATHI, M. Microbial Strategies for Discoloration and Detoxification of AzoDyes from Textile Effluents. **Research Journal Of Microbiology**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 1-19, 15 dez. 2017. Science Alert. <http://dx.doi.org/10.3923/jm.2017.1.19>.

GILENO, Luciano Antonio; TURCI, Luiz Felipe Ramos. Life cycle assessment for PET-bottle recycling in Brazil: b2b and b2f routes. **Cleaner Environmental Systems**, [S.L.], v. 3, p. 100057, dez. 2021. Elsevier BV. .

GORIN, A. P. F.; SIQUEIRA, S. H. G. d. **O SEGMENTO DE FIAÇÃO NO BRASIL**. São Paulo: Bnds, 2002. 22 p.

GOSWAMI, P. O consumidor indiano urbano está pronto para roupas eco-la-bels? **Int. J. Consum. Viga**, v.32 (5), p.438 -446, 2008.

GOUYAU, J.; DUVAL, R. E.; BOUDIER, A.; LAMOUREUX, E. Investigation of Nanoparticle Metallic Core Antibacterial Activity: gold and silver nanoparticles against escherichia coli and staphylococcus aureus. **International Journal Of Molecular Sciences**, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 1905, 14 fev. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijms22041905>.

GULICH, B.. Designing textile products that are easy to recycle. **Recycling In Textiles**, [S.L.], p. 25-37, 2006. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1533/9781845691424.1.25>.

GRUPE CTT – CENTRE MULTISERVICES POUR L'INDUSTRIE TEXTILE E ITS- INSTITUTE OF TTEXTILE SCIENCE. **Textile Recyncling: An Overview on Technologies and Tendencies Application**. 2125 p, 2004.

HAGUENAUER, L.; BAHIA, L. D.; CASTRO, P. F.; RIBEIRO, M. B. Evolução das Cadeias Produtivas Brasileiras na Década de 90. **IPEA/INPES**, Brasília, 2001.

HALBRITTER, G.; DORFLEITNER, G. The wages of social responsibility — where are they? A critical review of ESG investing. **Review Of Financial Economics**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 25-35, 2 abr. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rfe.2015.03.004>.

HALLSTEDT, S. I.; THOMPSON, A. W.; LINDAHL, P. Key elements for implementing a strategic sustainability perspective in the product innovation process. **Journal of Cleaner Production**, v.51(1), p.277-288, 2013. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.01.043>.

HORROCKS, A. Richard; ANAND, Subhash C. **Handbook of Technical Textiles**. 2. ed. Estados Unidos: Elsevier, 2000. 394 p. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2013.10.062>.

HU, Y.; DU, C.; PENSUPA, N.; LIN, C. S. K. Optimisation of fungal cellulase production from textile waste using experimental design. **Process Safety And Environmental Protection**, [S.L.], v. 118, p. 133-142, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.009>.

INSTITUTO DE ESTUDOS E MARKETING INDUSTRIAL LTDA - IEMI. Brasil têxtil: relatório setorial da indústria têxtil brasileira 2017. São Paulo, v.17, n.17, 2021.

INSTITUTO NACIONAL DA PROPRIEDADE INDUSTRIAL – INPI. **PePI - Pesquisa em Propriedade Industrial**. 2022. Disponível em:

<https://busca.inpi.gov.br/pePl/jsp/patentes/PatenteSearchBasico.jsp>. Acesso em: 17 abr. 2022.

KIM, C.S.; KIM, K.R. A case study comparing textile recycling systems of Korea and the UK to promote sustainability. **J. Textile Apparel, Technol. Manage.** v. 10, p. 1-11, 2016.

KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K.; KALID, R.; SALES, E.; OLIVEIRA, G. Rationalizing the Use of Water in Industry. Part 1: summary of the instruments Developed by the Clean Technology Network in the State of Bahia and Main Results Obtained. **Journal of Environmental Protection**, v.4(5), p.486-496, 2013. <http://dx.doi.org/10.4236/jep.2013.45057>.

KÖKSAL, D.; STRÄHLE, J.; MÜLLER, M.; FREISE, M. Social Sustainable Supply Chain Management in the Textile and Apparel Industry—A Literature Review. **Sustainability**, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 100, 12 jan. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su9010100>.

KUNDU, D.; BHATTACHARYA, S. C.; ADHIKARI, B. Effects of fibre surface roughness on consolidation of nonwoven fabric. **Journal of Industrial Textiles**, v. 42, no. 4, 2013, pp. 390-414.

LEAL FILHO, W.; ELLAMS, D.; HAN, S.; TYLER, D.; BOITEN, Valérie J.; PAÇO, A.; MOORA, H.; BALOGUN, A. A review of the socio-economic advantages of textile recycling. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 2018, n. 1, p. 10-20, 2019.

LESHCHENKO, T. A.; CHERNOUSOVA, N. V.; DEDOV, A. V.; KOMAROVA, L. Yu.; NAZAROV, V. G.. Mechanical Properties of Moistened Needle-Punched Nonwoven Fabric Based on Blend of Fibers with Various Linear Densities. **Fibre Chemistry**, [S.L.], v. 54, n. 5, p. 321-324, jan. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10692-023-10400-2>.

LOPES, GUILHERME BRETZ. **Práticas do gerenciamento de resíduos nas indústrias de confecções da região da rua Teresa – Petrópolis**. 2013. 99f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 2013.

LUO, Y., SONG, K., DING, X., WU, X. Sustentabilidade ambiental dos têxteis e vestuário: uma revisão dos métodos de avaliação. **Revista de Avaliação de impacto**, v. 86, p.106497, 2021. doi:10.1016 / j.eiar.2020.106497.

MADHAV, S.; AHAMAD, A.; SINGH, P.; MISHRA, P. K. A review of textile industry: wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods. **Environmental Quality Management**, [S.L.], v. 27, n. 3, p. 31-41, mar. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/tqem.21538>.

MELO, A.; CASTRO, E.M. **Manual de Engenharia Têxtil**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, v.1 e 2, 1986, 1648p.

MICHAUD, J.; FARRANT, L.; JAN, O.; KJÆR, B.; BAKAS, I. **Environmental Benefits of Recycling**. EUA. 2010.

MOORS, E.H.M.; MULDERB, K.F.; VERGRAGT, P.J. Towards cleaner production: barriers and strategies in the base metals producing industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, p.657 – 668, 2005.

MURRAY P, ROSENTHAL KS, PFALLER MA. **Microbiologia Médica**. Brasil: Elsevier; 2017.423p.

NETO, G.C.O.; CORREIA, J.M.F.; SILVA, P.C.; SANCHES, A.G.O; LUCATO, W.C. Cleaner Production in the textile industry and its relationship to sustainable development goals. **Journal of Cleaner Production**, v.228, p.1514e1525.2019.

NUNES, L.J.R ; GODINA, R. ; MATIAS, J.C.O.; CATALAO, J.P.S. Economic and environmental benefits of using textile waste for the production of thermal energy. **J. Clean. Prod.** 171, p. 1353-1360,2018.

OLIVEIRA, M.H. Análise conjuntural da indústria confeccionista brasileira. **Informe Setorial:BNDES**, Rio de Janeiro, 1996.

OZTURK, E., KARABOYACI, M., KOSEOGLU, H., YIGIT, N.O., YETIS, U., KITIS, M. Water and chemical management studies for cleaner production in a textile industry. **Chem. Eng. Trans.**v. 39, p.493-498, 2014.

PEREIRA, GISLAINE DE SOUZA. **Materiais e Processos Têxteis**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia / SC, p. 6, 2009.

PUWAR R, JOSHI M. Recent Developments in Antimicrobial Finishing of Textiles - A Review. **Academic jornal**, 4(3), 2004, 22–6.

REIKE, D.; HEKKERT, M, P.; NEGRO, S, O. Understanding circular economy transitions: the case of circular textiles. **Business Strategy And The Environment**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 1032-1058, 8 jul. 2022. Wiley.
<http://dx.doi.org/10.1002/bse.3114>.

REMY, N.; SPEELMAN, E.; SWARTZ, S. **Style that's sustainable: a new fast-fashion formula**. <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability-andresource-productivity/our-insights/style-thats-sustainable-a-new-fast-fashion-formula?cid=1/sustainability-eml-alt-mip-mck-oth-1610>, 2016. Acesso em 20 dez.2021.

RESEARCH, EULER HERMES ECONOMIC (org.). **Global Sector Report e Têxtil**. 2016. Disponível em: <http://www.eulerhermes.com/economic-research/sector-risks/GlobalTextileReport/Pages/default.aspx>.. Acesso em: 20 nov. 2021.

REWALD, Freddy Gustavo. **Tecnologia Dos Naotecidos - Matérias-Primas, Processos E Aplic. Finais**. São Paulo: Lcte, 2016. 207 p.

RIBEIRO ROSA, M. **Circular Economy in the Clothing Industry: Challenges and Strategies**. Dissertação de mestrado. Universidade Politécnic da Catalunya, Barcelona, 2016, 86f.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. GOING. Backwards: reverse logistics trends and practices. Reno: University of Nevada. An examination of reverse logistics practices. **Journal of Business Logistics**, v. 22(2), p.129-148, 2001
<http://dx.doi.org/10.1002/j.2158-1592.2001.tb00007.x>.

ROSA, E. V. d. **Estudo da influência das camadas de não tecido formada pelo dobrador de véus horizontal na absorção acústica**. 2021. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2021.

RUBINO, Chiara; LIUZZI, Stefania; MARTELLOTTA, Francesco; STEFANIZZI, Pietro. Textile wastes in building sector: A review. **Modelling, Measurement And Control B**, [s. l.], v. 87, n. 3, p. 172-179, 2018.

RUSSELL, S.J. **Handbook of Nonwovens**. Florida: Woodhead Publishing Limited 2007, 234p.

SADROLODABAE, P.; CLARAMUNT, J.; ARDANUY, M., FUENTE, A. Characterization of a textile waste nonwoven fabric reinforced cement composite for non-structural building components. **Construction and Building Materials**, v.276, p. 1-17, 2021.

SANDIN, G.; PETERS, G.M. Environmental impact of textile reuse and recycling – a review. **J. Clean. Prod.** v. 184 p. 353-365, 2018.

SHARMA, R.; GOEL, A. Development of Nonwoven Fabric from Recycled Fibers. **Journal of Textile Science & Engineering**, n.7(2), p.1-3,2017.
 SINCLAIR, R. **Textiles and Fashion: materials, design and technology**. Eua: Elsevier, 2014. 328 p.

SOUZA, E.; CORRÊA, A.; SANTOS, M.; COSTA, M.; NADALETI, W. Diagnóstico dos resíduos sólidos industriais têxteis: plano de gerenciamento de resíduos sólidos (pgrs) como forma de gerenciamento dos resíduos de uma malharia no município de farroupilha/rs. **Anais - 5º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade**, [S.L.], p. 26-32, 18 maio 2022. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e de Saneamento. <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.5.22.v-007>.

SZOSTAK-KOTOWA, Jadwiga. Biodeterioration of textiles. **International Biodeterioration & Biodegradation**, [S.L.], v. 53, n. 3, p. 165-170, abr. 2004. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0964-8305\(03\)00090-8](http://dx.doi.org/10.1016/s0964-8305(03)00090-8).

TALLINI, A.; CEDOLA, L. A review of the properties of recycled and waste materials for energy refurbishment of existing buildings towards the requirements of NZEB. **Energy Procedia**, [S.L.], v. 148, p. 868-875, ago. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2018.08.108>.

TSENG, M.L.; LIN, R.J.; LIN, Y.H.; CHEN, R.H.; TAN, K. Close-loop or open hierarchical structures in green supply chain management under uncertainty. **Expert Systems with Applications**, v. 41(7), P.3250-3260,2014.

WAZNA, M. EI; WAZNA, Mohamed EI; BOUARI, A. EI; A., M. EI; CHERKAOUI, Omar. Development, characterization and thermal performance of insulating nonwoven fabrics made from textile waste. **Journal Of Industrial Textiles**, [s. l.], v. 48(7), p. 1167-1183, 2018

Well dressed? The present and future sustainability of clothing and textiles in the United Kingdom. 1 ed. Cambridge. University of Cambridge. 2006. Disponível em:

https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/uploads/Resources/Other_Reports/UK_textiles.pdf

XIAO, Y.; SAKIB, N.; YUE, Z.; WANG, Y.; CHENG, S.; YOU, J.; MILITKY, J.; VENKATARAMAN, M.; ZHU, G. Study on the Relationship Between Structure Parameters and Filtration Performance of Polypropylene Meltblown Nonwovens. **Autex Research Journal**, [S.L.], v. 20, n. 4, p. 366-371, 19 nov. 2020. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.2478/aut-2019-0029>.

XIN, Wei-Gang; WU, Gang; YING, Jian-Ping; XIANG, Yi-Zhou; JIANG, Yu-Hang; DENG, Xian-Yu; LIN, Lian-Bing; ZHANG, Qi-Lin. Antibacterial activity and mechanism of action of bacteriocin LFX01 against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* and its application on pork model. **Meat Science**, [S.L.], v. 196, p. 109045, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109045>.

YANG, T.; XIONG, X.; MISHRA, R.; NOVÁK, J.; MILITKÝ, J. Sound absorption and compression properties of perpendicular-laid nonwovens. **Textile Research Journal**, [S.L.], v. 89, n. 4, p. 612-624, 18 jan. 2018. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/004051751775363>

ZONATTI, W. F. **Geração de resíduos sólidos da indústria brasileira têxtil e de confecção: materiais e processos para reuso e reciclagem.** 2016. 236 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, 2016. Cap. 214.