



Sérgio Leite **Desenvolvimento de um substrato têxtil através da utilização de resíduos têxteis**

UMinho | 2023



Universidade do Minho

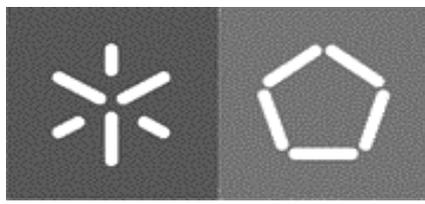
Escola de Engenharia

Sérgio Diogo Soares Leite

**Desenvolvimento de um substrato têxtil
através da utilização de resíduos têxteis**

Dezembro de 2023





Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Sérgio Diogo Soares Leite

**Desenvolvimento de um substrato têxtil
através da utilização de resíduos têxteis**

Dissertação de Mestrado

Mestrado em Engenharia Têxtil

Área de Especialização em Materiais e Tecnologias
Avançadas

Trabalho efetuado sob orientação do

**Professor Doutor António Manuel Dinis Ribeiro
Marques**

Dezembro de 2023

DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

Licença concedida aos utilizadores deste trabalho



**Atribuição-NãoComercial
CC BY-NC**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Agradecimentos

Para a realização desta tese foi necessário a colaboração de diversas pessoas, desde orientador e colaboradores das empresas, até pessoas mais próximas como os meus pais, familiares e amigos.

Por isso gostaria de agradecer ao meu supervisor e orientador da Universidade do Minho, António Dinis Ribeiro, por todo o auxílio e conselhos durante a realização do projeto, e por toda a disponibilidade para que esta ideia de projeto se pudesse concretizar.

Agradecer aos orientadores de empresa José Abreu, Sr. José e Sra. Eduarda, por me ajudar na concretização das etapas do processo prático e fornecimento dos materiais necessários a produção do produto final.

Gostaria também de agradecer ao engenheiro José Morgado, ao engenheiro Filipe, ao João e a todos os participantes do instituto Citeve pela disponibilidade e auxílio na realização do processo de reciclagem.

Gostaria de agradecer ao engenheiro Diogo Dotti e à engenheira Ana Silva e ao Filipe da empresa Cleverfil, pela disponibilidade para auxiliar e fabricar os fios reciclados, e todo o serviço prestado.

Gostaria de agradecer ao engenheiro Joaquim Jorge por toda a ajuda para a realização dos processos de caracterização.

Por fim gostaria de agradecer aos meus pais e amigos por me apoiarem e permitirem que a realização deste projeto pudesse ser feita com mais ânimo e dedicação.

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração. Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

Universidade do Minho, Dezembro de 2023

Nome: Sérgio Diogo Soares Leite

Assinatura: Sérgio Diogo Soares Leite

Resumo

A indústria têxtil é uma das indústrias com mais produção a nível global, afetando uma das necessidades do ser humano, vestuário. A principal causa deste grande avanço a nível de produção deveu-se principalmente à passagem do vestuário como uma necessidade para um instrumento de moda e afirmação social, o que fez com que as pessoas adquirissem vestuário em demasia.

O principal problema deveu-se ao fim de ciclo de vida desses produtos que fez com que se tornasse impossível armazenar tantos resíduos sem função e utilidade, levando a indústria têxtil a ser uma das mais poluentes a nível mundial.

Com o problema presente e irreparável resta apenas não cometer o mesmo erro e levar a indústria têxtil para um caminho sustentável para assim obter uma melhor pegada ecológica. As soluções podem ser várias, mas a principal será a redução do consumo, impregnando aos mesmos a necessidade de minimizar os desperdícios. Uma outra solução passa por reutilizar os produtos e subprodutos resultantes dos processos de fabrico, permitindo recorrer a menos recursos e matérias-primas como também diminuir os resíduos que teriam como fim aterros e incinerações.

Perante esse problema é necessário procurar soluções. Com isso a empresa Suerba decidiu fazer algo a respeito, e para isso decidiu utilizar desperdícios para criar um produto.

Perante isso este projeto irá se basear no desenvolvimento de um substrato têxtil com recurso a resíduos de malha provenientes da produção de peúgas desportivas, em contexto empresarial. Neste sentido todo os resíduos obtidos nos processos de tricotagem de malha para meias irá obter um novo propósito, dando assim início a um novo ciclo, ou seja, uma nova vida.

No desenvolver deste artigo são apresentadas várias perspetivas de reciclagem de resíduos têxteis, descrito o processo de reciclagem, fiação e tricotagem para assim criar peúgas a partir de resíduos. Por fim é feita a caracterização dessas peúgas assim com os substratos fabricados durante o processo.

Palavras-chave: Têxtil, tecidos, resíduos, pré-consumo, reciclagem mecânica, sustentabilidade.

Abstract

The textile industry is one of the industries with the highest production globally, measuring one of the needs of human beings, clothing. The main cause of this great advance in terms of production was mainly due to the transition from clothing as a necessity to an instrument of fashion and social affirmation, that take people to acquire too much clothing.

The main problem was due to the end of the life cycle of these products, which made it impossible to store so much waste without function and utility, leading the textile industry to be one of the most polluting in the world.

With the problem present and irreparable, the only thing left to do is don't make the same mistake, and take the textile industry towards a sustainable path to obtain a better ecological footprint. There can be several solutions but mainly its less consuming, instilling in them the need to minimize waste. Another solution is to reuse the products and by-products resulting from manufacturing processes, allowing the use of fewer resources and raw materials as well as reducing waste that would end up in landfills and incineration.

Faced with this problem, it is necessary to look for solutions. As a result, the company Suerba decided do something about it, so they decided to use waste to create a new product.

Given this, this project will be based on the creation of a textile substrate using knitted waste from the production of sports socks, in a business context. In this sense, all the waste obtained in the knitting processes for socks will obtain a new purpose, thus starting a new cycle, that is, a new life.

In developing this article, several perspectives on recycling textile waste are presented, describing the process of recycling, spinning and knitting to create socks from waste. Finally, these socks are characterized as well as the substrates manufactured during the process.

Keywords: Textile, fabrics, waste, pre-consumption, mechanical recycling, sustainability.

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Lista de abreviaturas	x
Índice de figuras	xi
Índice de tabelas	xiv
1. Introdução	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Motivação	1
1.3. Objetivo.....	2
1.4. Metodologia	3
1.5. Estrutura da dissertação	3
2. Estado da arte e conceitos teóricos	4
2.1. Desperdício têxtil global	4
2.2. Economia circular têxtil	5
2.3. Tipos de desperdícios	6
2.4. Métodos de fabrico	7
2.4.1. Exemplos de técnicas de produção presentes no mercado	8
2.5. Áreas de aplicação	13
2.6. Fibras presentes nos resíduos	22
2.6.1. Algodão	22
2.6.2. Poliéster	22
2.6.3. Poliamida	23
2.7. Análise superficial de substratos de resíduos	24
2.7.1. Radiação Infravermelho	24
2.7.2. Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)	25
2.7.3. Espectroscopia de infravermelho próximo (NIR)	26
2.7.4. NIR <i>versus</i> FTIR.....	26
2.8. Processo de fição	27
2.8.1. Fiação <i>open-end</i>	28
2.9. Caracterização dos fios reciclados fabricados	28
2.10. Processos de tricotagem.....	30

2.11.	Caraterização da malha das meias recicladas fabricadas	32
2.11.1.	Ângulo de contacto	33
3.	Materiais e Métodos	35
3.1.	Tipos de resíduos existentes	35
3.2.	Método de armazenamento dos resíduos obtidos na empresa.....	36
3.2.1.	Fluxograma do processo de armazenamento dos resíduos	36
3.2.2.	Explicação e ilustração do processo de armazenamento dos resíduos obtidos... 36	
3.3.	Tipo de produto a desenvolver	38
3.4.	Transformação dos resíduos em matéria fibrosa	39
3.5.	Realização prática da transformação dos resíduos em matéria fibrosa.....	41
3.5.1.	Processo de reciclagem dos resíduos em filamento	41
3.5.2.	Processo de reciclagem dos resíduos em malha com formato de argola	43
3.5.3.	Processo de reciclagem dos resíduos em mistura (malha em formato de argolas e filamento)45	
3.5.4.	Processo de reciclagem de meias	46
3.6.	Caraterização da matéria fibrosa por análise FTIR - Interpretação dos resultados da espectroscopia FTIR.....	49
3.7.	Processo de fição	50
3.7.1.	Planificação da formação dos fios	50
3.7.1.	Realização da fição de fio com os substratos reciclados-Cleverfil.....	51
3.7.2.	Processo ilustrativo da fição na empresa Cleverfil	54
3.8.	Caracterização do fio reciclado fabricado	55
3.8.1.	Massa linear	55
3.8.2.	Composição	55
3.8.3.	Determinação da pilosidade e irregularidade do fio.....	55
3.8.4.	Determinação do coeficiente de atrito	56
3.8.5.	Determinação das propriedades mecânicas ao fio (Tenacidade, Força de rotura e Alongamento à rotura)	57
3.9.	Sistema de tricotagem utilizado para a fabricação das peúgas	57
3.10.	Caraterização do substrato de malha elaborado	59
3.10.1.	Determinação da CEP da malha	60
3.10.2.	Determinação da massa por unidade de superfície.....	60
3.10.3.	Determinação da espessura de têxteis e produtos têxteis.....	61
3.10.4.	Determinação do número de colunas e fileiras	61

3.10.5. Determinação da resistência à formação de borboto ou “ <i>pilling</i> ” (Método de martindale)	61
3.10.6. Determinação da permeabilidade ao ar (transferência de ar)	62
3.10.7. Determinação da hidrofiliidade da malha	63
4. Discussão de resultados	64
4.1. Espectros das amostras resultantes da análise do FTIR.....	64
4.2. Caraterização dos fios reciclados	67
4.2.1. Determinação da pilosidade e irregularidade do fio.....	67
4.2.2. Determinação de coeficiente de atrito do fio	68
4.2.3. Determinação das propriedades mecânicas do fio	69
4.3. Caraterização da meia de malha elaborada	70
4.3.1. Célula estrutural do ponto-CEP.....	70
4.3.2. Determinação da massa por unidade de superfície.....	70
4.3.3. Determinação da espessura.....	71
4.3.4. Determinação da contextura	71
4.3.5. Resistência à formação de borboto e <i>pilling</i>	72
4.3.6. Determinação da permeabilidade ao ar	72
4.3.7. Determinação da hidrofiliidade-Ângulo de contacto.....	73
4.4. Síntese final aos resultados obtidos	74
5. Conclusão	76
5.1. Perspetivas Futuras.....	77
6. Referências Bibliográficas.....	79

Lista de abreviaturas

ATR-FTIR	Espectroscopia de Infravermelho de Transformada de Fourier Refletancia Total Atenuada
CA	Ângulo de Contacto
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
BS	<i>British Standard</i>
EN	<i>European Norm</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NP	Norma Portuguesa
μm	Micrómetro
MPa	Megapascal
kPa	Kilopascal
CRE	Velocidade de extensão constante
N	Newton

Índice de figuras

Figura 1-Representação da estrutura tridimensional do tecido.	10
Figura 5-Estrutura molecular da celulose (fibra de algodão).	22
Figura 6-Estrutura molecular da fibra de poliéster.	23
Figura 7- a) Estrutura molecular da fibra de poliamida 6; b) Estrutura molecular da fibra de poliamida 6.6.	24
Figura 8-Representação dos ângulos de contacto entre a gota do líquido e a superfície do substrato sólido.	34
Figura 9-Resíduo de meias em malha. Acervo próprio.	35
Figura 10-Resíduo de mistura de malha e filamento. Acervo próprio.	35
Figura 11-Resíduo de filamentos. Acervo próprio.	35
Figura 12-Resíduos acumulados na empresa. Acervo próprio.	35
Figura 13-Fluxograma do armazenamento dos resíduos com separação. Acervo próprio.	36
Figura 14-Fluxograma do armazenamento dos resíduos sem separação. Acervo próprio.	36
Figura 15-Tubagem da máquina de corte. Acervo próprio.	37
Figura 16-Tubagem da máquina de tricotagem. Acervo próprio.	37
Figura 17-Tubagens para transporte de resíduos apenas da máquina de corte. Acervo próprio.	37
Figura 18-Tubagens para transporte dos resíduos. Acervo próprio.	37
Figura 20-Estrutura de armazenamento de ambos os resíduos. Acervo próprio.	38
Figura 19-Estrutura de armazenamento de resíduos da máquina de corte. Acervo próprio.	38
Figura 21-Desfibrador (Defibrator machine). Acervo próprio.	40
Figura 22-Triturador (Shredding machine). Acervo próprio.	40
Figura 23-Cilindro desfibrador. Acervo próprio.	40
Figura 24-Cilindro com lâminas de corte da trituradora. Acervo próprio.	40
Figura 25-Rolo transportador. Acervo próprio.	40
Figura 26-Fibras resultantes do 1º teste de reciclagem dos filamentos. Acervo próprio.	41
Figura 27-Fibras resultantes do 2º teste de reciclagem dos filamentos. Acervo próprio.	42
Figura 28-Fibras resultantes do 3º teste de reciclagem dos filamentos. Acervo próprio.	42
Figura 29-Fibras resultantes do 1º teste de reciclagem dos resíduos têxteis em formato de argola. Acervo próprio.	43
Figura 30-Fibras resultantes do 2º teste de reciclagem dos resíduos têxteis em formato de argola. Acervo próprio.	44
Figura 31-Fibras resultantes do 3º teste de reciclagem dos resíduos têxteis em formato de argola. Acervo próprio.	44
Figura 32-Desperdício do processo de desfibração dos filamentos. Acervo próprio.	44
Figura 33-Resultado do processo de desfibração dos resíduos em mistura com duas passagens. Acervo próprio.	45
Figura 34-Resultado do processo de desfibração dos resíduos em mistura com uma passagem. Acervo próprio.	45
Figura 35-Desperdício originado pelo processo de desfibração. Acervo próprio.	46
Figura 36-Resultado do processo de trituração das meias com duas passagens. Acervo próprio.	46
Figura 37-Resultado do 1º teste do processo de desfibração das meias com duas passagens. Acervo próprio.	47

Figura 38-Resultado do 1º teste do processo de desfibração das meias com uma passagem. Acervo próprio.	47
Figura 39-Resultado do processo de trituração das meias com quatro passagens. Acervo próprio.	47
Figura 40-Desperdício do processo de desfibração das meias. Acervo próprio.	48
Figura 41-Resultado do 2º teste do processo de desfibração das meias com uma passagem. Acervo próprio.	48
Figura 42-Fio de resíduo de filamento de 10 Ne. Acervo próprio.	53
Figura 43-Fio de resíduo de mistura de filamento e malha em formato de argola de 10 Ne. Acervo próprio.	53
Figura 44-Fio de resíduo de malha de meia de 10 Ne. Acervo próprio.	53
Figura 45-Fio de mistura de filamento e malha em formato de argola de 20 Ne. Acervo próprio.	53
Figura 46-Fio de mistura de resíduo de filamento e malha em formato de argola de 15 Ne. Acervo próprio.	53
Figura 47-Desperdício do processo de cardação. Acervo próprio.	53
Figura 48-Mistura da matéria fibrosa para homogeneização da rama final. Acervo próprio.	54
Figura 49-Pesagem da matéria fibrosa de resíduo e poliéster reciclado. Acervo próprio.	54
Figura 50-Processo de acumulação de fita e transporte para a fase de laminação. Acervo próprio.	54
Figura 51-Processo de cardação da mecha para formação de fita. Acervo próprio.	54
Figura 52-Fiação propriamente dita. Acervo próprio.	54
Figura 53-Processo de laminação da fita. Acervo próprio.	54
Figura 54-Signal Processor. Acervo próprio.	55
Figura 55-Line Conditioner. Acervo próprio.	55
Figura 56-Evenness Converter. Acervo próprio.	55
Figura 57-Printer. Acervo próprio.	56
Figura 58-Esquadeira do Uster Tester 3. Acervo próprio.	56
Figura 59-Medidor do coeficiente de atrito. Acervo próprio.	56
Figura 60-Dinamómetro Hounsfield. Acervo próprio.	57
Figura 61-Sistema do tear circular de meias. Legenda: 1-Anel de platinas; 2-Platina; 6-Agulha; 7- Jack; 8-Cilindro. Acervo próprio.	58
Figura 62-Visão interna do tear do processo de tricotagem da meia. Acervo próprio.	58
Figura 63-Tear circular de meia, Billi Magic. Acervo próprio.	58
Figura 65-Balança analítica digital. Acervo próprio.	60
Figura 64-Corta-amostras circulares. Acervo próprio.	60
Figura 66-Micrômetro analítico da marca, Mitutoyo. Acervo próprio.	61
Figura 67-Conta-fios. Acervo próprio.	61
Figura 68-Aparelho de medição de permeabilidade ao ar, TEXTTEST FX3300. Acervo próprio.	62
Figura 69-Goniômetro, OCA 15 plus. Acervo próprio.	63
Figura 70-Espectro de FTIR em amostra de algodão. Acervo próprio.	64
Figura 71-Espectro de FTIR em amostra de poliéster. Acervo próprio.	65
Figura 72-Espectro de FTIR em amostra de poliamida. Acervo próprio.	66
Figura 74-Malha com estrutura de felpa italiana. Acervo próprio.	70
Figura 75-Malha com estrutura de falso rib. Acervo próprio.	70

Figura 76-Gráfico dos resultados da análise do ângulo de contacto. Acervo próprio..... 73

Índice de tabelas

Tabela 1-Amostras fabricadas.	12
Tabela 2-Resultado do processo de duas etapas.	13
Tabela 3-Consumos e emissões específicas medidos para os dois produtos em estudo-malha convencional e reciclada.	17
Tabela 4-Ensaio realizados nas duas malhas.	18
Tabela 5-Characterização dos fios produzidos.	19
Tabela 6-Propriedades das meias secas e totalmente relaxadas.	20
Tabela 7-Áreas de aplicação de têxteis reciclados.	21
Tabela 8-Tenacidade e alongamento à ruptura de fibras têxteis.	30
Tabela 9-Parâmetros utilizados para o 1º teste (filamento).	41
Tabela 10-Parâmetros utilizados para o 2º teste (filamento).	42
Tabela 11-Parâmetros utilizados para o 3º teste (filamento).	42
Tabela 12-Parâmetros utilizado para o 1º teste (malha em formato de argola).	43
Tabela 13-Parâmetros utilizados para o 2º teste (malha em formato de argola).	43
Tabela 14-Parâmetros utilizados para o 3º teste (malha em formato de argola)	44
Tabela 15-Parâmetros utilizados para o 1º teste (mistura de filamento e malha em formato de argola).	45
Tabela 16-Parâmetros utilizados para o 1º teste (meia completa).	46
Tabela 17-Parâmetros utilizados para o 2º teste (meia completa).	48
Tabela 18-Especificações utilizadas para fabricação dos fios reciclados.	50
Tabela 19-Parâmetros utilizados no processo de fiação propriamente dita.	52
Tabela 20-Parâmetros e normas de teste de caracterização efetuados para caracterização da malha reciclada.	59
Tabela 21-Números de onda e respectivos grupos funcionais do algodão	64
Tabela 22-Números de onda e respectivos grupos funcionais do poliéster	65
Tabela 23-Números de onda e respectivos grupos funcionais da poliamida.	66
Tabela 24-Resultados do teste de pilosidade aos fios de diferentes massas lineares.	67
Tabela 25-Coeficiente de atrito dos diferentes fios.	68
Tabela 26-Resultado do teste de propriedades mecânicas dos diferentes fios.	69
Tabela 27-Massa por unidade de superfície das amostras de malha.	70
Tabela 28-Espessura das amostras de malha.	71
Tabela 29-Resultado da medição da contextura das amostras de malha.	71
Tabela 30-Resultado do teste ao pilling nas amostras de malha.	72
Tabela 31-Resultado da determinação da permeabilidade ao ar das amostras de malha.	72
Tabela 32-Resultados do ângulo de contacto nas amostras de malha.	73
Tabela 33-Matriz de decisão das propriedades dos fios reciclados desenvolvidos.	74
Tabela 34-Matriz de decisão das propriedades das meias recicladas desenvolvidas.	74

1. Introdução

1.1. Enquadramento

Este projeto irá se basear no desenvolvimento de um substrato têxtil com recurso a resíduos de malha provenientes da produção de peúgas desportivas. A maior fatia destes desperdícios/resíduos provém de máquinas de tricotagem de malha circulares de meia, tendo este resíduo como constituição mistura de fibras de algodão, poliamida, poliéster e elastano, podendo apresentar uma estrutura têxtil *rib* ou *jersey*.

Estes desperdícios, na empresa em questão, são recolhidos por um sistema de aspiração que armazena os mesmos em um lugar específico, o que permite manter o espaço mais limpo e diminuir o tempo de limpeza.

O facto de os desperdícios obtidos na empresa serem constituídos por uma mistura de fios de composição algodão, poliamida, poliéster e elastano em diferentes proporções podem proporcionar um dos principais problemas para o desenvolvimento de um novo substrato. Porém devido à empresa possuir o sistema de aspiração permite-nos separar os resíduos pelo tipo de encomenda que está a ser fabricada.

A obtenção de um novo produto terá como finalidade utilizar os resíduos presentes na empresa, para a elaboração de um novo substrato, um fio, de forma que acomode a diversificada composição, assim como a diferença estrutural dos mesmos.

1.2. Motivação

Atualmente a indústria têxtil na Europa encontra-se numa fase negativa, onde as indústrias têm falta de matéria-prima como de compradores/consumidores principalmente pelo aparecimento de indústrias de concorrência em países fora da União Europeia onde as legislações são muito menos rígidas e a mão de obra muito mais barata, permitindo obter um custo de produção baixo e conseqüentemente um custo de compra do produto menor. No entanto, o futuro da área têxtil passa pela sustentabilidade, um tema que terá de ser respeitado e abordado por todo o mundo devido a quantidade de desperdícios poluentes que estão a ser lançados para o meio ambiente anualmente, e nesse ponto a indústria têxtil mais avançada poderá ganhar vantagem em relação à mais convencional, isto porque para isso necessita-se de novas tecnologias e novos métodos de consumo de forma a dar uma segunda vida ao resíduos diminuindo assim o

desperdício e o consumo de recursos, melhorando a pegada ecológica da indústria têxtil no mundo.

“A reutilização de seus próprios subprodutos e lixos de uma forma criativa, sustentável e ecológica, traria uma dupla vantagem, uma vez que o custo de matéria-prima de um produto no setor produtivo do vestuário, dependendo do tipo de peça confeccionada, pode custar mais do que 50% do produto final.” (Anicet, Bessa, & Broega, 2011)

Perante isso o estudo de diferentes tipos de estratégias para reduzir o desperdício em qualquer etapa de um processo têxtil demonstra-se como um projeto essencial e importante a abordar, o que evidencia a vontade da empresa em questão de rumar nesse mesmo caminho, um fator que me cativou a embarcar e ajudar a mesma a criar algo para reciclar os seus desperdícios. O sucesso na realização deste projeto poderá cativar outras empresas a utilizar este conceito visto que esta ideologia poderá permitir criar valor a um resíduo, o qual apresenta despesa para a sua recolha, que por sua vez acabaria por ajudar na vertente da sustentabilidade sem a aplicação de custos adicionais, antes pelo contrário, aumentaria a economia da empresa.

1.3. Objetivo

A partir deste problema, que consiste na acumulação destes resíduos que necessitam de ser recolhidos por entidades competentes, percebeu-se a necessidade de solucionar este mesmo problema através da aplicação de uma nova medida na empresa, nomeadamente a reciclagem desses resíduos.

O objetivo deste trabalho passa por idealizar e concretizar um substrato que tenha como matéria-prima resíduos têxteis provenientes da empresa, para permitir a mesma a não necessitar de utilizar entidades responsáveis para recolha dos resíduos, mas também obter um produto resultante de um subproduto de forma sustentável, e assim conseqüentemente diminuir os custos de recolha dos desperdícios

Perante estes objetivos espera-se que seja possível criar diferentes exemplares, testar diferentes métodos de formação, analisar os mesmos de forma a substituir os produtos mais utilizados no mercado para a substituição desses por reciclados, com a mesma funcionalidade e eficácia.

1.4. Metodologia

A realização deste projeto teve como pressuposto formar um novo produto têxtil a partir de desperdícios. Essa indefinição provocou a necessidade de realizar uma primeira etapa de pesquisa, onde nesta se percebeu que tipo de produtos e métodos existentes se enquadravam junto ao nosso objetivo.

De seguida surgiu uma nova etapa, que coincidia em verificar os desperdícios obtidos na empresa e definir qual o novo produto a desenvolver, consoante resíduos e os objetivos da empresa.

A terceira etapa fundamentou-se na execução dos processos de reciclagem, fiação e tricotagem para a formação do novo produto, com a caracterização dos subprodutos que se desenvolviam.

A última etapa consistiu na redação do relatório final da dissertação com a descrição de todos os passos realizados ao longo da execução deste projeto.

1.5. Estrutura da dissertação

Capítulo I – Introdução: Neste capítulo foi indicada a motivação para a realização deste projeto, juntamente com o enquadramento que o mesmo se efetuou, e definido os objetivos a atingir. Neste mesmo capítulo apresentou-se a metodologia adotada e descrita a estruturação da dissertação.

Capítulo II – Estado da arte e conceitos teóricos: Resíduos, reciclagem têxtil, desperdícios, métodos de fabrico e exemplos, fibras, processos têxteis utilizados e métodos de caracterização. Este capítulo serviu para incorporar toda a informação que surgiu de análise de livros, dissertações, e outros documentos literários,

Capítulo III – Materiais e Métodos: Descrição dos resíduos e recolha dos mesmos, descrição do produto a desenvolver e dos processos utilizados, descrição dos testes de caracterização dos substratos.

Capítulo IV – Discussão de resultados: Apresentação e discussão aos resultados obtidos nos processos de caracterização.

Capítulo V – Conclusão: Conclusões obtidas e apresentação das abordagens futuras.

Capítulo VI – Referências Bibliográficas: Indicação das referências dos documentos analisados.

2. Estado da arte e conceitos teóricos

Inicialmente é necessário fazer uma análise da literatura de forma a obter um maior conhecimento sobre as diversas vertentes que este tema oferece, tal como as tecnologias existentes para criar substratos têxteis, métodos de reciclagem de resíduos, mas também realizar uma análise dos conceitos de sustentabilidade tais como economia circular têxtil e indústria 4.0.

O aparecimento de conceitos de economia circular têxtil e benefícios da indústria 4.0 veio afirmar a necessidade de focar o caminho da área têxtil para a sustentabilidade e alertar o erro da economia linear, onde existe um grande descarte de produtos. Assim sendo é necessário optar por métodos de reciclagem e uso de desperdícios por partes das entidades produtoras e consumidoras, utilizando o avanço tecnológico da indústria para solucionar alguns dos entraves obtidos pelos métodos mais convencionais.

Recentemente tem surgido várias técnicas e novos processos para criar substratos a partir de resíduos como exemplo: a utilização de películas/adesivos termocolantes para criar entretelas através da ligação de desperdício, utilização de métodos já existentes como moldagem por compressão a quente aplicados a têxtil, processos mecânicos como trituração e desfibrção de resíduos através do uso de máquinas específicas para posteriormente formar mantas têxteis ou outro tipo de substrato, ou até mesmo recorrer a processos químicos para recuperar misturas de fibras, permitindo reutilizar essas mesmas fibras para recriar novos substratos.

Por fim será necessário estudar os tipos de substratos que podem ser substituídos por substratos reciclados sem comprometer a sua funcionalidade e aplicabilidade.

2.1. Desperdício têxtil global

Atualmente o uso de resíduos têxteis na cadeia de abastecimento é um recurso praticamente inexplorado, principalmente devido ao facto de não existir um avanço tecnológico considerável para o processamento desses mesmos resíduos assim como uma falta de gestão de mercado para o uso de materiais reciclados no processo de produção juntamente com uma falta de sensibilidade para o fim de ciclo de vida dos produtos (team, Circle Textiles, 2016).

A indústria têxtil juntamente com a indústria da moda apresenta como uma das indústrias mais poluentes, com um elevado consumo de recursos como água, energia e químicos, o que afeta drasticamente o meio ambiente (Riba, Cantero, Canals, & Puig, 2022).

Com isto a indústria têxtil tornou-se umas das indústrias mais poluentes do mundo, principalmente devido ao alto consumo de vestuário nos últimos tempos. Para dar respostas à imensa procura, a produção de fibras aumentou para cerca de 90 milhões de toneladas por ano (80 mil milhões de peças de vestuário por ano), o que demonstra um nível de produção economicamente instável e ecologicamente insustentável (team, Circle Textiles, 2016).

Nos Estados Unidos e na União Europeia, 20 milhões de toneladas de têxteis pós consumo acabam em aterros e incinerações todos os anos, 10% a 15% dos têxteis são deixados em fábrica como resíduos de produção (resíduos têxteis pós-industriais), e estima-se que até 33% de vestuário produzido nem chega a ser vendido sendo muitas vezes destruído posteriormente (resíduos têxteis pré-consumo) (team, Circle Textiles, 2016).

Caso esses tecidos fossem recolhidos 55% poderiam ser reutilizados, 20% reciclados e outros 20% utilizados para a reciclagem “*textile-to-textile*”. A reciclagem “*textile-to-textile*” representa um tipo de reciclagem onde as peças têxteis são convertidas fibra por fibra para serem utilizadas para produção de novos substratos (team, Circle Textiles, 2016).

Se aproveitarmos os resíduos como recursos para criar têxteis em larga escala será possível reduzir drasticamente a necessidade por recursos têxteis virgens, reduzindo significativamente os impactos associados à produção de fibras e resíduos têxteis (team, Circle Textiles, 2016).

Com isto, a indústria têxtil necessita de seguir um desenvolvimento sustentável de forma a assegurar um desfecho das atividades e produtos têxteis não problemáticos para as próximas gerações. O desenvolvimento sustentável pode ser definido, segundo Brundtland (1987), como um desenvolvimento que concentra as necessidades do presente sem comprometer a capacidade de futuras gerações acederem às suas próprias necessidades. Na indústria têxtil um método que se tem tentado implementar é o conceito de economia circular.

2.2. Economia circular têxtil

O modelo atual da indústria têxtil apresenta-se como um modelo linear (extração de recursos, produção, uso e descarte), o que se caracteriza por ser completamente insustentável, pois os recursos são limitados e provoca cada vez mais uma maior procura de produtos (Eiroa, Fernández, Martínez, & Oñate, 2019).

Este novo conceito de economia circular apresenta uma concepção que define a indústria têxtil como uma área de produção renovável, capaz de redefinir a estratégia de produção em massa com descarte de matéria para uma produção sustentável com geração de produção sob reutilização e reciclagem de resíduos (Velicko, Amrginski, & Hemkemeier, 2020).

“Com esta forma holística de pensar “circular” é possível perceber que cada elemento faz parte de todo um sistema que está interconectado, é dinâmico e em constante mudança. O pensamento circular é também sobre fluxos e relações entre as partes, permitindo uma perspectiva mais “tridimensional” da maneira como o mundo funciona.” (Domingues S. H., 2020)

Assim, este novo conceito de economia circular para além de minimizar o descarte também possibilita a utilização de recursos virgens de acordo com a demanda social, ultrapassando a ideia que apenas levaria a uma menor produção de resíduos e uso de recursos virgens, mas também possibilitaria a implementação de um novo modelo social de consumo e novo modelo de negócio e mercado (McDonough & Braungart, 2010), (Rosa, Sassanelli, & Terzi, 2019).

2.3. Tipos de desperdícios

Os resíduos têxteis podem ser obtidos de diversas maneiras e diferentes locais, no entanto estes podem ser divididos como pré-consumo, pós-consumo e resíduos de têxteis industriais, segundo S. Rani et al. (2018), onde indica que os resíduos pré-consumo representam os resíduos de fabricação que podem ser gerados nos processos de processamento de fibras e produção de tecido, como têxteis técnicos, não tecidos, vestuário, resíduos de corte e subprodutos rejeitados, onde o mesmo classifica como resíduos limpos.

Os resíduos pós-consumo por sua vez consiste em qualquer tipo de vestuário ou têxteis lar que são descartados pelo consumidor, após estes apresentarem danos ou saírem de moda, onde muitos destes produtos apresentam capacidade de serem reutilizados ou reciclados, pois grande parte dos mesmos são vendidos em países menos desenvolvidos, de terceiro mundo.

Resíduos têxteis industriais são gerados através de aplicações de têxteis comerciais ou industriais, onde o autor os designa como resíduos “sujos”. A maioria destes resíduos acabam em incinerações ou aterros.

Segundo o T. Vadicherla et al. (2014), as tecnologias de reciclagem estão divididas em abordagens primárias, secundárias, terciárias e quaternárias, baseado em materiais usados e produtos produzidos no fim do processo. Os resíduos são amplamente classificados em três categorias, incluindo resíduos pré-consumo (PrCTW), resíduos pós-industriais (PITW), e resíduos pós-consumo (PtCTW), onde a conversão dos resíduos pré ou pós-consumo em produtos finais segue as seguintes fases: coleta e separação, extração de fibra, preparação do fio, conversão em tecido ou compósito, e por fim acabamento.

2.4. Métodos de fabrico

Os resíduos têxteis variam dependendo do tipo de cores, composições ou propriedades, o que torna mais complicado definir o tipo de processo mais adequado a ser utilizado (Sá, et al., 2013).

De forma geral os resíduos provenientes de pré consumo e pós consumo são acumulados segundo o tipo de fibra, qualidade e cor. Posteriormente estes resíduos podem ser cortados em pequenas partes, triturados e transformados em fibras. Estas fibras são novamente separadas segundo o comprimento e resistências mecânicas. Relativamente às fibras sintéticas, através do método de reciclado, estas podem voltar ao processo de formação de polímero, onde posteriormente essas fibras ou polímeros podem ser utilizadas como matéria-prima para formação de tecido ou tecido não tecido (Turrillas & de la Guardia, 2017).

Em muitos dos artigos presentes na literatura, os métodos de reciclagem estão divididos em dois tipos, métodos que tornam resíduos em produtos de alto valor (*upcycling*), ou seja, é um processo que converte resíduos em novos materiais ou novos produtos com melhor qualidade, para melhores valores ambientais, e a métodos que tornam os resíduos em produtos de baixo valor (*downcycling*), um processo que converte resíduos e desperdícios em novos materiais ou produtos de menor qualidade e reduzida funcionalidade (Vadicherla & Saravanan, 2014).

As reciclagens dos produtos também podem ser divididas em dois tipos de produtos finais, ciclo aberto (*open-loop*), onde os resíduos são reutilizados para produzir novos produtos diferentes dos que originaram os resíduos, e ciclo fechado (*closed-loop*), onde os resíduos são processados para a produção de têxteis do mesmo tipo de produtos que foram reciclados.

As principais tecnologias de reciclagem de resíduos têxteis compreendem a reciclagem mecânica, reciclagem química e reciclagem térmica (Zonatti, 2016), (Rani & Jamal, 2018).

A reciclagem de resíduos têxteis é considerada a solução adequada, pelo facto dessas práticas incluírem o reprocessamento de resíduos têxteis pré ou pós consumo para uso em novos produtos têxteis ou não têxteis (Velicko, Amrginski, & Hemkemeier, 2020).

Os métodos de reciclagem mecânica já desempenham um papel crucial na transformação de resíduos têxteis em novas matérias-primas, oferecendo qualidades que se aproximam bastante em relação aos produtos de matéria-prima virgem. Onde essas matérias-primas apresentam características idênticas às matérias-primas virgens.

Reciclagem química apresenta-se mais indicada para a tentativa de separação de misturas de fibras através das utilizações de soluções ácido-base, no entanto apresenta desvantagens pelo facto de produzir soluções poluentes e gastos de energia elevados (do Amaral, et al., 2018). Além disso estas novas tecnologias químicas permitirão fechar o ciclo de reciclagem de têxteis (team, Circle Textiles, 2016).

Já a reciclagem térmica apresenta-se como a mais desvantajosa pois destina-se apenas em recuperar energia térmica através da incineração dos resíduos têxteis podendo ser transformada em energia elétrica.

2.4.1. Exemplos de técnicas de produção presentes no mercado

Moldagem por compressão a quente é uma técnica de produção muito usual na produção de compósitos, onde utiliza uma prensa de calor para fundir materiais de base polimérica com um consequente arrefecimento para consolidação do material. Esta é uma técnica de produção que pode ser aplicada à fabricação de substratos têxteis através da utilização de resíduos, pois como na indústria têxtil existe muito desperdício que resulta da conjugação de fibras poliméricas com fibras naturais, a presença dessas fibras poliméricas permite que haja um componente de ligação para a fibras naturais (Zou, Reddy, & Yang, 2011).

Segundo A. Anicet et al. (2011) a técnica de colagem têxtil baseia-se no desenvolvimento de substratos têxteis através de processo de colagem de resíduos limpos em diversos setores têxteis como vestuário, decoração entre outros, aplicando assim valor acrescentado a um desperdício, aumentando consequentemente a responsabilidade social pelas indústrias têxteis.

Esta apresenta-se como um dos métodos possíveis para criar substratos de forma limpa sem gerar subprodutos tóxicos. Um dos potenciais pontos de aplicação por este método situa-se na confeção, na utilização de entretelas para aumentar a rigidez de certas peças de vestuário.

“As entretelas são constituídas por superfície têxtil recoberta por termocolantes que aderem aos tecidos por termo indução, em determinadas condições de calor e pressão, usando por exemplo o ferro de passar para as peças menores ou a prensa térmica para áreas maiores.” (Anicet, Bessa, & Broega, 2011)

“Os adesivos/película termocolantes são o fator de ligação do têxtil, onde se podem apresentar-se sob a forma de web, net e filmes, que através de ação calorífica capacitam-se a alterar a sua estrutura molecular e a formar um novo rearranjo, sem alterar a suas propriedades físicas iniciais. O indício de método limpo pelo processo de colagem sustenta-se nas vantagens dos adesivos termocolantes pois são totalmente sólidos e não necessitam de solventes para a sua aplicação, algo fundamental para o ecossistema das águas residuais. Para além desta vantagem, estes adesivos salvaguardam características como suavidade, flexibilidade e permeabilidade por parte do tecido e também possuem boa resistência ao uso e lavagem.” (Anicet, Bessa, & Broega, 2011)

Uma das técnicas por reciclagem mecânica mais utilizada baseia-se em cortar e triturar os resíduos têxteis utilizando uma máquina adequada designada por triturador e desfibrador têxtil, que pode ser composto por 2 a 8 rolos onde os rolos são constituídos por inúmeras agulhas na superfície responsável por rasgar e triturar os fragmentos de resíduo (do Amaral, et al., 2018), sendo este um método inicial para que se possa fazer a passagem dos resíduos para o estado de fibras, sendo necessário utilizar um carregador e um abridor posteriormente (de Jesus, 2009).

No estudo realizado por R. Mishra et al (2014), as conceções de amostras basearam-se na elaboração de dois tipos de substratos têxteis, um tecido e um não tecido.

Os resíduos recolhidos foram processados utilizando a técnica de *garneting*, um processo de reciclagem mecânica explicado anteriormente. Estes resíduos são de origem industrial

provenientes de calças de algodão, onde foram adicionadas misturas fibras de polipropileno (PP) em diferentes proporções.

O processo no total consistiu em três etapas: “*cutting-garneting-carding*”. A etapa *cutting* basicamente é um processo de trituração dos resíduos em porções menores. A técnica de *garneting* é um processo onde materiais como fios, pedaços e restos de tecido são transformados numa matéria fibrosa similar a fibras cruas. A etapa de *carding* nada mais é do que um processo de cardagem para colocar as fibras de forma orientada, para além de realizar a limpeza e assim retirar todas as impurezas que estiverem presentes.

Para a produção de não tecido foi utilizada uma máquina de não tecido para criar um não tecido fibroso, utilizando como método de ligação a termofixação, a uma temperatura de 130°C, para assim ligar as fibras de algodão com as fibras de polipropileno.

Já os tecidos foram fabricados utilizando dois tipos de materiais, fios de algodão virgem e fios de fibras recicladas.

O tecido foi formado numa dimensão 3D e foram fabricados utilizando um tear de tecelagem 2D, sendo que um rearranjo extra foi realizado em laboratório.

Como ilustra na figura 1, esse foi o rearranjo para criar um tecido 3D num tear 2D, onde o B representa o fio de ligação, S os fios de trama e os círculos cinzentos os fios de teia.

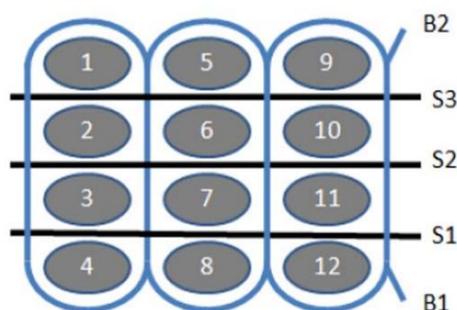


Figura 1-Representação da estrutura tridimensional do tecido.

Fonte: Retirado de (Mishra, Behera, & Militky, 2014).

Na formação dos compósitos foi utilizada uma impregnação de resina de polipropileno como matriz tanto no compósito com reforço de não tecido como no compósito com reforço de tecido. Para isso foi realizada uma moldação por compressão em duas etapas. Inicialmente foi realizada um pré impregnação onde se colocou as amostras com a matriz de PP a uma temperatura entre 185°C e 200°C, necessário para atingir uma viscosidade suficientemente baixa para fundir e efetuar a ligação com o reforço. Seguidamente as amostras pré impregnadas foram então submetidas a moldação por compressão para obter as formas pretendidas, ocorrendo por

fim uma cura e arrefecimento do material para estabilizar, de forma a obter melhores propriedades mecânicas.

Já o artigo desenvolvido por C. A. Echeverria et al. (2019) teve como foco utilizar fibras têxteis recicladas em compósitos com fibras de reforço para aplicações de construção.

A fonte de materiais, ou seja, de resíduos, tinham como constituição fibras de algodão, acrílico, poliéster, polipropileno, poliamida e elastano. Após obtenção dos resíduos realizaram a redução de tamanho dos mesmos para utilizar como material de reforço, através de dois métodos mecânicos: corte dos tecidos em pedaços 2 por 2 centímetros, com uma posterior desfibrção através de uma trituradora, sem a adição de qualquer pré-tratamentos, sendo por fim submetidas a uma homogeneização de tamanho de 1000 micrómetros (μm).

Para além das fibras têxteis foi utilizado também serragem de madeira como reforço, sofrendo também uma homogeneização, de 850 μm e uma secagem em estufa a 103°C durante 24 horas, procedendo à mistura com as fibras têxteis.

Polipropileno enxertado com anidrido maleico (MAPP) G-3015 foi reduzido até um tamanho de 850 μm , sendo incorporado na mistura com 6% em peso para otimizar a adesão intermolecular entre fibras celulósicas e polímero termoplástico, polipropileno.

Estas misturas foram formuladas para formar um novo material para aplicações acústicas e estruturais.

Inicialmente a mistura foi organizada em uma matriz quadrada de aço, onde foi submetido um processo de compressão a quente, com uma temperatura de 185°C e uma pressão abaixo de 30 mega pascal (MPa) durante 45 minutos. De seguida foi utilizado o mesmo processo, mas com o polipropileno de reforço já incorporado. Por fim foi realizado um arrefecimento lento durante 3 horas à temperatura ambiente.

Na tabela 1 está representado os tipos de amostras criadas para avaliação:

Tabela 1-Amostras fabricadas.

Tipo de amostra	Provetes	Reforço	Composição %			
			Material de Reforço		Matriz	
			Mistura de fibras (MTF)	Fibras de Serragem de Madeira (WF)	Matriz Polipropileno (PPT)	MAPP
A	3	-	94	-	-	6
B	3	Matriz PP	60	-	40	6
C	3	2 camadas (PPL)	90	-	4	6
D	3	Matriz PP	34	30	30	6
E	3	-	100	-	-	-

Fonte: Adaptado de (Echeverria, Handoko, Pahlevani, & Sahajwalla, 2019)

Num outro estudo de autoria L. Navone et al. (2020), foi abordada uma técnica para separar misturas de fibras de lã e poliéster de peças de vestuário, através de uma abordagem enzimática. Para isso foi utilizada uma enzima designada por queratinase, responsável por degradar as fibras de lã e assim recuperar as fibras de poliéster para que pudessem ter uma nova utilização, ou seja, um novo ciclo de vida.

A atividade da enzima foi determinada pela presença de “*Keratine Azure*”, um corante azul de lã de ovelha formado por alfa-queratina para monitorizar a degradação de beta-queratina (Gonzalo, et al., 2020), e de uma solução tampão Tris-HCl.

As amostras foram cortadas em pedaços de igual tamanho onde posteriormente foram incubadas a 37°C por 16h, seguida de uma centrifugação a 4000 rpm durante 10 minutos e uma secagem em estufa, sendo analisada a absorbância do precipitado a 595 nanómetros. Existiu uma variação de umas outras amostras no processo, onde foi realizado em duas etapas, a incubação a 50°C durante 6h, seguida de uma centrifugação a 4000 rotações por minuto e enxaguadas. Após isto, as mesmas amostras foram submetidas a uma nova incubação de 50°C durante 16h, sofrendo um posterior tratamento tal como as primeiras amostras. Neste processo de incubação foi então colocado as proteases juntamente com agentes redutores na tentativa de aumentar o

índice de degradação. Após a degradação das amostras obtiveram peptídeos solúveis resultantes das fibras de lã, onde estes foram quantificados através do ensaio de Bradford, para assim quantificar a degradação ocorrida. Um outro método utilizado foi a pesagem das amostras antes e após tratamento, calculando a perda de peso. No fim, os melhores resultados foram obtidos pelo processo efetuado com duas etapas onde se obteve os seguintes resultados.

Tabela 2-Resultado do processo de duas etapas.

Remoção da lã	Tipo de tecido
95%	Tecido 100% lã
100%	Malha 100% lã
90%	45/55% lã/poliéster
90%	70/30% lã/poliéster

Fonte: Adaptado de (Navone, et al., 2020).

Segundo Vadicheria e Saravanan (2014), para a reciclagem de fibras poliméricas de poliéster pode-se utilizar um processo de extrusão que consiste na remoção da contaminação e fusão do polímero. Inicialmente os resíduos de poliéster são reduzidos a *pellets*, e lavados com detergente ou um solvente apropriado de forma a remover os contaminantes. As *pellets* são secas para evitar a deterioração dos produtos através de uma degradação hidrolítica, sendo posteriormente fundidos, extrudados, e reticulados para assim melhorar as suas propriedades mecânicas. Uma outra fibra que pode ser reciclada pelo mesmo método é a poliamida.

2.5. Áreas de aplicação

Um dos pontos de utilização de têxteis reciclados fabricados a partir de resíduos têxteis é a substituição de substratos com propriedades de isolamento acústico e térmico por substratos têxteis reciclado, pois a área de construção é considerada uma das mais poluentes, responsáveis pela produção de 1/3 das emissões de CO₂ (Lombard, Ortiz, & Pout, 2008). Perante isso a aplicação dos têxteis reciclados nesse propósito torna-se duplamente vantajoso visto permitir funcionalizar um resíduo que teria como fim um aterro ou incineração, mas também diminuir o uso de novos recursos na construção diminuindo assim a produção de CO₂ (Meggers, et al., 2012).

Uma das aplicações mais rentáveis e funcionais para os produtos criados a partir de processos de reciclagem sustentável é sua utilização como materiais de isolamento térmico e acústico (Zach, Korjenic, Petráněk, & Peterková, 2012).

Isolamento/Absorção acústica

Um dos modos para obter uma boa absorção acústica é utilizar materiais de estrutura porosa, isto porque o som ao entrar nos poros da matriz é dissipado pelas moléculas de ar lá contidas, transformando a energia sonora em energia térmica. A baixas frequências a energia é dissipada por processos isotérmicos enquanto a altas frequências a energia é dissipada por processos adiabáticos, o que leva a que haja baixa absorção a baixas frequências (Berardi & Iannace, 2017).

Alguns dos parâmetros que podem influenciar a absorção acústica são o diâmetro, comprimento e a regularidade das fibras, onde têxteis com alta densidade levam ao aumento da absorção acústica em intervalos de alta frequência (T. Koizumi, 2002).

Isolamento térmico

Transferências de calor de altas temperaturas para baixas temperaturas dão-se por três processos: condução, convecção e radiação. O isolamento térmico representa a capacidade de um material em reduzir um fluxo ou transferência de calor (Pellanne, 1977).

A transferência de calor através de materiais fibrosos depende do número de fibras, estrutura do material, o contacto entre fibras e a diferença de temperaturas (Neves, Campos, & Mayor, 2017).

Os materiais fibrosos produzidos por processos de não tecido possuem camadas com pequenos espaços com ar retido que inibe as transferências de calor por condução (Woo, Shalev, & Barker, 1994).

A propriedade isolante térmica de um material é medida por condutividade térmica (W/mK) ou transmissão térmica (W/m²k) (Yokura, Sukigara, & Fujimoto, 2007).

A condutividade térmica é considerada o parâmetro mais importante para avaliar a capacidade de isolamento térmico de um material. Um material com uma condutividade térmica menor que 0,07 W/mK já pode ser considerado isolante térmico. Este parâmetro pode ser

quantificado com recurso à norma ASTM C518 (2017), enquanto a transmissão térmica pode ser quantificada em recurso à norma ISO 6946 (2017) (Asdrubali, D'Alessandro, & Schiavoni, 2015).

Substratos têxteis reciclados

Uma outra aplicação para resíduos têxteis passa pela transformação desses resíduos em novos produtos têxteis, mais concretamente em novos substratos têxteis como tecidos e malhas, como vestuário e têxteis lar, através da transformação dos resíduos em fibras, a fiação de fios a partir dessas fibras recicladas e transformação em substratos têxtil.

A produção de fios a partir de materiais reciclados permite a produção de tecidos de valor agregado, onde segundo a literatura já é possível produzir fios através de fiação por fricção, principalmente utilizando fibras recicladas de poliéster, com média massa linear de 30 Tex, sendo assim capaz de já ser utilizado em processos de tricotagem e tecelagem. Posto isto, foi comparado fios produzidos a partir de fibras recicladas e fibras virgens, onde se demonstrou que os valores de tenacidade e elasticidade das fibras apresentaram diferenças marginais, e o processo de fibras recicladas torna-se mais vantajoso economicamente a longo prazo (Vadicherla & Saravanan, 2014).

Um dos exemplos que foi analisado na revisão da literatura foi o desenvolvimento de meias através do uso de tecidos reciclados, onde segundo o autor S. Geetharani et al. (2020) este projeto foi desenvolvido para obter uma forma de reciclagem de resíduos, e assim diminuir o desperdício para contribuir para a preservação do meio ambiente. Para isso realizou-se a recolha de resíduos têxteis a partir do departamento de corte de várias indústrias têxteis de vestuário, onde os mesmos foram selecionados e triturados em microfibras através do uso de uma máquina desfibradora ("*rag tearing machine*"). Estas microfibras são utilizadas em fiação *open-end* para a formação de fio, que por sua vez é utilizado para a formação de meias, com acabamento com ervas do tipo (henna, açafraão e cálamo). Por fim as meias foram avaliadas através de testes qualitativos e quantitativos.

Perante este projeto podemos afirmar que a reutilização de resíduos para formação de vestuário também é possível, e poderá ser algo vantajoso para as empresas e indústrias têxteis, formando assim um produto de valor acrescentado a partir de desperdício (Geetharani & Kumar, 2020).

De seguida foi analisado um outro estudo titulado como avaliação do ciclo de vida de uma malha com base em algodão convencional versus algodão reciclado e comparação das suas características de qualidade.

Segundo a autora C. Pinto (2022), o objetivo deste projeto passou por avaliar os impactos ambientais associados à produção de uma malha têxtil 100% algodão convencional em comparação com uma malha constituída por fio 60% algodão reciclado e 40% algodão convencional, representada no fluxograma da figura 3, com auxílio à normas NP EN ISSO 14040:2008 – Avaliação do ciclo de vida: Princípios e enquadramento e NP EN ISSO 14044:2008 – Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e linhas de orientação, isto através da reciclagem de substratos têxteis de pré-consumo, sem a utilização de produtos químicos. Para isso foram utilizados resíduos para a produção de fios para posteriormente realizar a produção da malha. Os fios utilizados para a produção de malha apresentam todos uma massa linear de 20 Ne, sendo a malha também toda com a mesma estrutura e os mesmos parâmetros no tear.

A avaliação do ciclo de vida foi considerada desde a produção de matéria-prima até à saída da malha acabada, incluindo a produção das várias fontes de energia consumidas, produção de combustíveis e dos diferentes químicos, e transporte utilizados no processo produtivo.

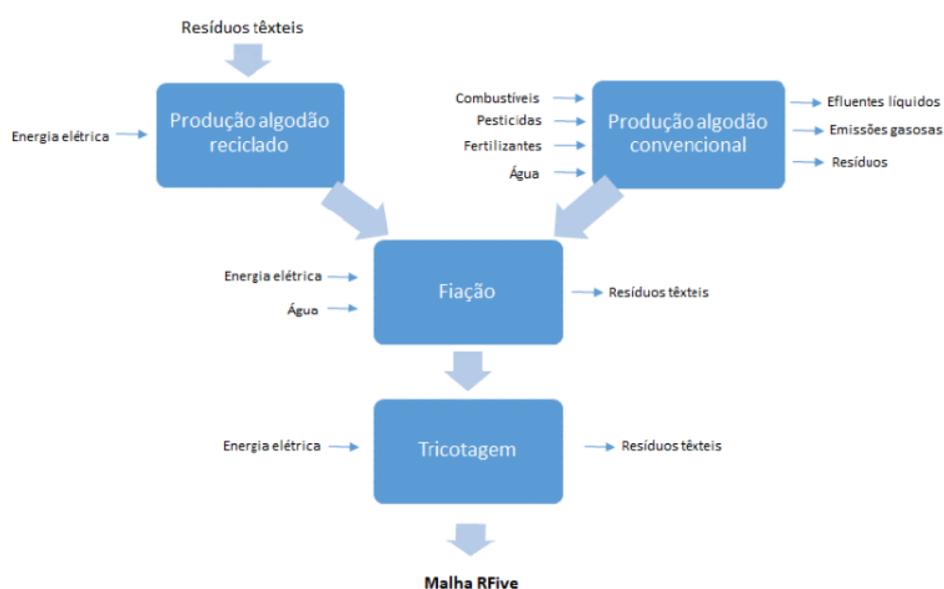


Figura 3 -Fluxograma do processo produtivo da malha reciclada, com recursos consumidos e os produtos resultantes.
Fonte: Retirado de (Pinto C. d., 2022).

No processo de produção de algodão reciclado, os resíduos são submetidos a uma trituração mecânica (1 ou 2 cortes), passam para uma box para homogeneização, finalizando nas esfarrapadeiras obtendo assim fibra de algodão 100% reciclada.

Seguidamente é efetuado o processo de fiação para formação de fio reciclado, onde inicialmente são pesadas as fibras e feita a mistura dessas no batedor. Após isso, a fibra misturada segue para a carda para a realização da cardação, seguindo-se a laminação para paralelização e orientação das fibras. Por fim a mecha segue para a máquina *open-end* onde se dá a fiação propriamente dita.

Já na parte final é realizado o processo de tricotagem onde foram desenvolvidas malhas com recursos teares circulares, com estrutura *jersey*.

Tabela 3-Consumos e emissões específicas medidos para os dois produtos em estudo-malha convencional e reciclada.

	Convencional	Reciclada	Varição (Reciclada- Convencional)
Consumo de recursos e emissões por 100kg de malha acabada			
Consumo de energia primária (kWh)	4791,07	2947,56	-38,48%
Consumo de energia primária-não renovável (kWh)	2806,97	1550,15	-44,78%
Consumo de energia primária-renovável	1984,10	1397,41	-29,57%
Utilização de água doce (kg)	2593193,30	1567993,86	-39,53%
Consumo de água doce (kg)	531491,60	211152,52	-60,27%
Resíduos e solo sobrecarregado (kg)	240,63	286,08	18,89%
Emissões para água doce (kg)	2060037,56	1354719,88	-34,24%
Emissões para o ar (kg)	14589,54	11768,38	-19,34%

Fonte: Adaptado de (Pinto C. d., 2022).

Como pode ser analisada na tabela 3, a malha reciclada apresentou consumos e emissões inferiores comparada com a malha convencional, com a exceção à emissão de resíduos e solo sobrecarregado, demonstrando assim que o uso de resíduos para produção de malha reciclada é realmente mais sustentável e benéfico para o meio ambiente.

Tabela 4-Ensaio realizados nas duas malhas.

Malha	Malha 100% CO Convencional	Malha 60% CO REC Pré-Consumo 40% CO Convencional
Ensaio		
Massa linear (NP 4105:1990) – Fio	20 Ne	20 Ne
Contextura (NP EN 1049-2:1995) – Fio	14 fileiras/20 colunas	16 fileiras/18 colunas
Espessura (NP EN 5084:1999) – Fio	0,508mm	0,482mm
Massa por unidade de superfície (NP EN 12127:1999) – Fio	150g/m ²	145g/m ²
Grau de aperto – Fio	9,26	9,36
Comprimento da laçada – Fio	0,34cm	0,34cm
Torção do fio (NP 4104:1991) -Coeficiente de torção – Fio	4,2 α	4,7 α
Resistência ao rebentamento (NP 1738:1981) – Malha	544,51kPa	334,24kPa
Propriedades térmicas (Condutividade térmica) – Malha	50,2 W/mK	51,4 W/mK
Resistência à formação de borboto pelo método do Martindale (ASTM D 4970-89) – Malha	1	3/4
Coeficiente de atrito cinético (Procedimento Interno) – Malha	0,22	0,20
Permeabilidade ao ar (NP EN ISO 9237:1997) – Malha	1037,1L/m ² /s	1246L/m ² /s
Medição do drapé ou cair multidirecional (AFNOR G07-109) – Malha	0,35	0,28

Fonte: Adaptado de (Pinto C. d., 2022).

Pela análise dos resultados aos testes da tabela 4 podemos aferir que tal como analisado pela autora, tanto o fio convencional como o fio reciclado apresentaram resultados aos testes com algumas semelhanças, o que se torna positivo para a comparação dos tipos de malha.

Em geral pode-se concluir que a malha reciclada obteve melhores resultados comparativamente à malha convencional em algumas propriedades, demonstrando-se assim com capaz de cumprir com os requisitos impostos pelo mercado (Pinto C. d., 2022).

Na análise a estudos sobre reciclagem para formação de fios ou tecidos têxteis analisou-se um artigo científico, A. D. Gun et al. (2014), que estudou as propriedades físicas e dimensionais

de meias fabricadas a partir de fibras recicladas e fibras de poliéster virgem com meias obtidas a partir de fibras de algodão, com a influência de fios de elastano incorporados.

Inicialmente foi utilizada a reciclagem mecânica para obter as fibras recicladas a partir dos desperdícios de fio e tecido, sendo estas misturadas com as fibras de poliéster. Para o desenvolvimento do fio foi utilizada a fiação *open-end* para a produção do fio de algodão e do fio reciclado, onde o fio de fibra reciclada foi composto por 50% de fibras de poliéster e 50% de fibras de algodão.

De forma a evitar os processos de tingimento nos fios reciclados, os resíduos foram escolhidos perante a cor, tendo as fibras virgens sido tingidas a preto.

As meias são normalmente tricotadas com o uso de fios de elastano de forma a aumentar as propriedades mecânicas, e por isso tanto nas meias com fio reciclado como as meias com fio virgem foi adicionado elastano na sua constituição. O fio de elastano é um fio revestido com poliéster e elastano com uma percentagem de 10%.

O tear utilizado para a formação de meias foi o tear *Lonati* com um diâmetro de 9,53 centímetros, onde as meias com os diferentes tipos de fio foram produzidas em três diferentes comprimentos de laçadas, curto, médio e longo.

De seguida foram testados e analisados os fios e as meias produzidas de forma a caracterizar e comparar qual o melhor fio, a melhor meia e a influência da adição de elastano.

Tabela 5- Caracterização dos fios produzidos.

Propriedades do fio	Tipos de fio	
	Fio de fibra reciclada	Fio de fibra de algodão
Massa linear	18,43	19,47
Torção (voltas/m)	638,40	635,40
Força (RKM)	7,46	7,82
Alongamento (%)	11,94	4,14
Uniformidade (%)	10,45	10,30
Pontos finos (-50%)	0,5	1,0
Pontos grossos (+50%)	62,5	18,5
Nepes (200%)	57	0,5
Pilosidade	4,16	6,12

Fonte: Adaptado de (Gun, Akturk, Macit, & Alan, 2014).

Tabela 6-Propriedades das meias secas e totalmente relaxadas.

Tipo de meia			Propriedades				
Adição de elastano	Comprimento da laçada	Tipo de fibra	Massa (g/ m ²)	Espessura (mm)	Fluxo de ar (l/m ² /s)	Força de rotura (kPa)	Escala de <i>pilling</i>
Sem elastano	Curto	Reciclada	130,05	1,05	2326,67	232,78	1-2
		Algodão	123,31	0,98	2613,33	277,52	2-3
	Médio	Reciclada	114,65	1,05	2640,00	227,80	1-2
		Algodão	119,26	0,99	3206,67	249,16	2-3
	Longo	Reciclada	109,52	1,14	3270,00	209,19	1
		Algodão	107,56	1,07	3956,67	254,06	1-2
Com elastano	Curto	Reciclada	295,98	1,50	332,83	510,90	2
		Algodão	270,95	1,37	389,17	516,54	2-3
	Médio	Reciclada	290,31	1,65	363,00	450,56	2
		Algodão	268,25	1,49	471,50	421,75	3
	Longo	Reciclada	264,88	1,67	521,67	392,28	1-2
		Algodão	253,99	1,61	620,17	347,88	2
O número de provetes para o teste à permeabilidade ao ar foi de 6, ao teste de força de rotura de 3 e teste de tendência à formação de <i>pilling</i> de 2.							

Fonte: Adaptado de (Gun, Akturk, Macit, & Alan, 2014).

A partir dos resultados estatísticos e experimentais, apresentados na tabela 5 e 6, foi demonstrado que a adição de elastano afetou a massa, a espessura, a permeabilidade ao ar e a resistência à tração. Esta influência do fio de elastano levou ao aumento da densidade, da massa, da espessura e da resistência à tração e à diminuição da formação de *pilling* e permeabilidade ao ar. A adição de elastano também levou a uma menor perda de peso no teste à abrasão. Relativamente ao teste de resistência à tração não foi denotada uma diferença significativa entre as meias de fibra reciclada e de fibra de algodão.

Já as meias de fibra reciclada obtiveram uma maior densidade, massa, espessura e tendência para formação de borboto e menor permeabilidade ao ar em comparação com as meias de fibra de algodão. A comparação da perda de peso entre as diferentes meias permitiu perceber que a perda da massa das meias de fibra reciclada foi menor que a perda de massa das fibras de algodão. Os resultados demonstraram também que as meias de fibra reciclada perderam menos cor do que as meias de fibra de algodão após abrasão.

Em suma o autor concluiu que as fibras recicladas podem ser utilizadas para a produção de meias com qualidade aceitável quando em mistura com fibra de poliéster virgem, levando à produção de meias recicladas com os parâmetros requisitados para a comercialização das mesmas (Gun, Akturk, Macit, & Alan, 2014).

Outras áreas de aplicação

Apesar do isolamento térmico e acústico ser um dos pontos principais atualmente de aplicação de resíduos têxteis juntamente com a reciclagem mecânica para formação de fios reciclados e uso de matérias têxteis reciclados, existem muitos outros como podemos ver na tabela 7 apresentada:

Tabela 7-Áreas de aplicação de têxteis reciclados.

Áreas de aplicação	Produtos
Arquitetura Têxtil	Divisórias, estruturas de isolamento
Automóvel	Isolamento termo-acústico, estofos de bancos
Construção civil	Isolamento termo-acústico, enchimento/preenchimento, Resistência a intempéries
Filtros	Gasolina, óleo, ar, água, café, sacos de chá, indústria farmacêutica, processamento mineral, filtros de saco, sacos de vácuo
Geotêxteis	Estabilizadores e camada de pavimentação de estrada, estabilizadores para fundações, controlo de erosão, construção de canais, sistemas de drenagem, geo-membranas para aterros, proteção de geo-membranas, coberturas para proteção contra geadas, "mulch" para agricultura,
Higiene	Fraldas, produtos para incontinência, toalhetes, toalhas de banho descartáveis e toalhas de rosto, chinelos e calçado descartáveis, panos de limpeza
Medicinal	Roupas de isolamento, batas e roupas cirúrgicas, embalagens medicinais
Outros	Revestimento protetor de tapete, compósitos, laminados para velas marinhas, toalhas de mesa, embalagem com porosidade, almofadas, máscaras faciais, envelopes de correio, lonas para tentas de campismo, embalagem de transporte, roupa descartável

Fonte: Adaptado de (Duarte, Moreira, Pinto, & de Lima, 2012)

2.6. Fibras presentes nos resíduos

2.6.1. Algodão

Uma das possíveis fibras presente nos resíduos são as fibras de algodão, onde segundo a fichas técnicas das encomendas apresentavam-se em maior quantidade sendo assim passível de se apresentarem também em maiores quantidades nos resíduos.

A fibra de algodão advém do revestimento piloso das sementes de planta da família *Gossypium*. A sua morfologia consiste numa cutícula, uma parede celular exterior hidrofóbica, onde contém celulose (86,8%) acompanhada de gorduras e ceras. Durante o processamento destas fibras o seu caráter hidrofóbico perde-se tornando-se hidrofílica. Abaixo da cutícula está presente a parede celular primária constituída por fibras cruzadas de celulose e algumas pectinas. Mais interna a esta camada, tem a parede secundária constituída por camadas sucessivas de fibrilas de celulose, com estrutura longa helicoidal. As presenças de numerosos canais entre as fibrilas resultam numa porosidade da fibra de 6% e uma área superficial de cerca de 100 g/m².

A celulose, a principal constituinte das fibras de algodão, apresenta na sua estrutura química como um poliálcool, contendo grupo hidroxilos que unem as longas cadeias de celulose (OH), assim como grupos metileno (CH₂).

A estrutura química de celulose é (C₆H₁₀O₅)_n onde pode ser verificada na figura 5.

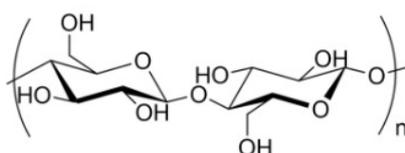


Figura 5-Estrutura molecular da celulose (fibra de algodão).
Fonte: Retirado de (D'Orsi, et al., 2023)

As fibras de celulose absorvem cerca de 25%-30% de água à humidade e temperatura ambiente, no entanto não penetram as regiões cristalinas do algodão. O alto peso molecular e a cristalinidade da celulose do algodão são responsáveis pelas boas propriedades mecânicas enquanto a estrutura fibrilar e as regiões amorfas são responsáveis pelo carácter hidrofílico e absorvidade (Broadbent, 2001).

2.6.2. Poliéster

O poliéster é uma das fibras também presentes nas fichas de encomendas sendo esta uma fibra sintética resultante do processamento de polímeros sintetizados pelo Homem a partir

de produtos provenientes do carvão ou petróleo, ou seja, da polimerização dos polímeros por policondensação (Pinto C. M., 2019).

A fabricação deste tipo de fibra funciona na síntese das macromoléculas e fiação do polímero resultante dessas macromoléculas, através da policondensação do ácido tereftálico (DMT) e do etileno glicol (Araújo & Melo e Castro, 1986).

Esta fibra sintética apresenta boas resistências mecânicas, flexibilidade e resistência ao enrugamento, porém apresenta a desvantagem de não possuir boa absorção, ou seja, é uma fibra hidrofóbica com uma taxa de retenção de água de 2% a 5% (Needles, 1986).

As fibras PET (poliéster) mais usuais na indústria têxtil apresentam uma estrutura cristalina e duas regiões não cristalinas com diferentes graus de orientação molecular, zonas anisotrópicas (de maior orientação molecular) e zonas isotrópicas (de menor orientação molecular) (Broadbent, 2001).

A estrutura química molecular do poliéster está apresentada na figura 6.

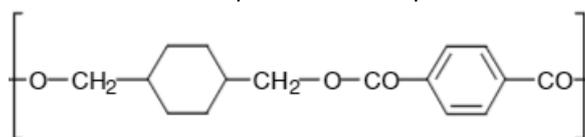


Figura 6-Estrutura molecular da fibra de poliéster.
Fonte: Retirado de (Pinto C. M., 2019).

Tal como se pode verificar pela figura 6 da estrutura química o poliéster apresenta um grupo funcional éster, CO, como também um grupo benzeno e um composto hidrocarboneto aromático (Clark, 2011).

2.6.3. Poliamida

A poliamida é uma das fibras presentes nos resíduos, pois é utilizada para realizar desenhos nas peúgas, e por isso poderá não estar presente em cada peúga dependendo se esta apresenta desenho ou não.

Esta tal como a fibra de poliéster é também uma fibra sintética, onde esta pode ser separada em dois grupos que se diferenciam pelos números de átomos de carbonos nos seus monómeros, onde os tipos de poliamidas mais produzidas são a poliamida 6 e a poliamida 6.6 (Deopura & Padaki, 2015).

Apesar da existência destes dois grupos, tanto a poliamida 6 como a poliamida 6.6 contêm os mesmos grupos químicos nas mesmas proporções, variando apenas nos arranjos moleculares, o que resulta numa diferença na cristalinidade, onde ambas são semi-cristalinas, apenas com a diferença da poliamida 6 apresentar um menor valor em comparação à poliamida 6.6 (Morton & Hearle, 2008).

Uma outra diferença é que no caso da poliamida 6, a policondensação e a fiação realizam-se em contínuo em relação à poliamida 6.6 (Araújo & Melo e Castro, 1986).

Esta fibra apresenta uma alta resistência mecânica devido às suas regiões microfibrilares e inter-microfibrilares, onde na região microfibrilar estão contidas zonas amorfas e cristalinas e na região inter-microfibrilar estão formadas por cadeias moleculares orientadas.

A fabricação da poliamida ocorre por condensação de aminoácidos, poliamida 6, ou pela condensação de diaminas, amina com exatamente dois grupos amina, e ácidos diprótico, e a partir dessas reações ocorre a estrutura química da poliamida 6 e da poliamida 6.6 apresentadas na figura 7.

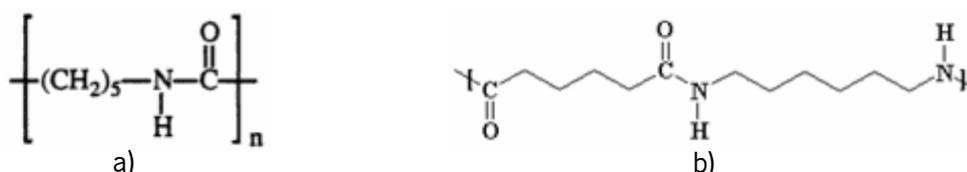


Figura 7- a) Estrutura molecular da fibra de poliamida 6; b) Estrutura molecular da fibra de poliamida 6.6.
Fonte: Retirado de (Factori, 2009).

Pela análise das estruturas químicas pode se verificar em ambas a presença de um grupo amida (CONH), ligações de hidrogénio (NH), grupos metileno (CH₂) (Radush, Stolp, & Androsch, 1994), (Factori, 2009).

2.7. Análise superficial de substratos de resíduos

2.7.1. Radiação Infravermelho

A radiação infravermelha é uma radiação que atua na porção invisível do espectro eletromagnético. Esta por ser não ionizante e não energética ao ponto de causar transições eletrônicas, apresenta-se como indicada para realizar a análise a uma superfície. Quando esta é aplicada sobre um substrato são absorvidas frequências específicas o que corresponde a frequências de vibrações de certos grupos de moléculas, específicas a um tipo de ligação química, presente nos substratos. Isso acontece devido às moléculas passarem para um estado de energia mais elevado ocorrendo uma excitação de elétrões, o que irá provocar uma vibração com maior

amplitude. Com recurso a um espectrómetro, as energias absorvidas são medidas em função do comprimento de onda. Isto resulta num espectro que pode ser considerada a “impressão digital molecular” da amostra que se está a analisar (Guerrero-Pérez & Patience, 2019).

2.7.2. Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A espectroscopia FTIR apresenta-se como uma técnica de análise de superfícies que utiliza a radiação infravermelha anteriormente apresentada, juntamente com um método matemático que permite converter os dados resultantes num espectro real, através da medição da absorção de radiação infravermelha do material da amostra em função do comprimento de onda (Zille, 2023).

O FTIR tem um funcionamento característico para ligações covalentes, que juntamente com um componente designado interferómetro permite analisar e modular o intervalo de frequências da radiação infravermelha, necessitando que a amostra não contenha quaisquer impurezas. Através de um detetor a intensidade de luz transmitida ou refletida é medida em função do seu comprimento de onda. Este fenómeno resulta num sinal, designado por interferograma, que após analisado por um computador com recurso a um programa específico, no caso transformada de Fourier, que permite obter um espectro de infravermelho de feixe único característico do material da amostra, onde os resultados são apresentados com a transmitância em função do comprimento de onda (cm^{-1}). Dentro da tecnologia FTIR podemos verificar várias técnicas como: transmissão, reflexão difusa, reflexão especular, reflexão total atenuada (Ferreira L. F., 2018).

Reflexão total atenuada (ATR)

A técnica de reflexão total atenuada é a técnica que será utilizada para a análise das amostras de resíduos, onde esta utiliza o fenómeno de reflexão interna no interior de um cristal, que permite analisar a amostra em contacto com o cristal. Esta técnica é mais utilizada para superfícies e líquidos densos de forma limpa.

“A reflexão do feixe no interior do cristal (a qual depende do ângulo de incidência do feixe no cristal (θ)) irá dar origem a uma onda “evanescente” que se estende para lá da superfície do cristal em contacto com a amostra e para o interior desta.” (Zille, 2023)

A tecnologia FTIR apresenta como vantagens: a velocidade pois todas as frequências são medidas simultaneamente, a sensibilidade, a simplicidade mecânica pois possui apenas uma parte móvel na estrutura do instrumento, mais concretamente um espelho, e o facto de possuir um feixe de laser que mantém o instrumento automaticamente calibrado, um maior rendimento ótico e uma melhor precisão na escala de frequência permitindo assim a análise de vários espectros (Church, O'Neill, & Woodhead, 1999), (Berthomieu & Hienerwadel, 2009), (Ferreira L. F., 2018).

2.7.3. Espectroscopia de infravermelho próximo (NIR)

A espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) tornou-se cada vez mais popular devido à sua conveniência, rapidez, eficiência e precisão no processo de análise das amostras, apresentando um custo de uso baixo, a não destruição das amostras, o não uso de reagentes químicos e a não poluição do meio ambiente (Liu, Li, & Wei, 2020).

Quando as amostras são submetidas à radiação de luz (NIR) são detetados diferentes picos de absorção referentes a diferentes componentes das fibras, onde estes podem variar o tamanho e a inclinação de acordo com a composição e o conteúdo da amostra (Yang, Cai, Han, Fan, & Liu, 2021).

A espectroscopia NIR transmite ondas de radiação eletromagnética entre zona do visível e a zona do infravermelho nas regiões médias, na região do espectro de 780 até 2526 nanómetros, tal como definido pela norma ASTM. Ao realizar o varrimento de uma amostra, as características das moléculas orgânicas contendo grupos hidrogénio podem ser obtidas (Jurado, Molina, Rodriguez, & Somovilla, 2008).

2.7.4. NIR *versus* FTIR

Espectroscopia NIR e FTIR são ambas técnicas usadas para analisar a composição molecular dos materiais, porém apesar de apresentarem a mesma função diferenciam-se em diferentes maneiras.

Em suma, espectroscopia NIR é usualmente utilizada para análises não destrutivas de materiais orgânicos, enquanto a espectroscopia FTIR é usada para a identificação e quantificação de grupos funcionais em materiais orgânicos e inorgânicos. Ambas as técnicas têm as suas vantagens e desvantagens, onde a escolha da técnica depende das necessidades analíticas específicas e das características das amostras.

2.8. Processo de fiação

A fiação é um processo da indústria têxtil responsável por transformar um emaranhado de fibras em fios, com relação de massa por unidade de comprimento (massa linear), capazes de serem utilizados para fabricação de estruturas têxteis, sendo este um processo fundamental e de enorme importância devido às influências que as características dos fios produzidos terão nos seguintes processos têxteis, como a tecelagem/tricotagem, e a fase de acabamento e confecção. Deste processo podem originar diferentes fios perante o tipo de fibra utilizada, o tipo de fiação realizada e os parâmetros definidos para a fiação (Vasconcelos, 1993), (Souza, 2018).

O processo de fiação das fibras não se resume apenas à fiação do fio propriamente dita, existindo uma primeira fase de limpeza ou depuração, uma segunda fase de preparação e uma última fase de fiação propriamente dita (Araújo & Melo e Castro, 1986).

O processo de fiação é constituído por várias etapas, onde resumidamente consiste na abertura-batedura dos fardos de fibras, com a conseqüente limpeza, prosseguindo posteriormente para a carda onde as fibras serão abertas, orientadas paralelamente e unidas em forma de mecha. Seguidamente as fibras sofrem um processo de laminação/estiragem de forma a reduzir a sua densidade linear e homogeneizar as mesmas, e por fim sofrem uma penteação. Na etapa final essas mesmas fibras serão torcidas de forma a ganhar resistência mecânica e consistência, ocorrendo assim a fiação propriamente dita (Vasconcelos, 1993), (Souza, 2018).

Existem diferentes tipos de fiações têxteis, que variam de acordo com o tipo de fibra utilizada e o processo de produção empregado. Alguns dos principais tipos de fiações têxteis incluem:

- a) Fiação de anel (*Ring spinning*): um dos métodos mais comuns e convencionais de fiação, onde as fibras são estiradas e torcidas em torno de um eixo central para formar o fio. Este processo de fiação permite criar fios grossos e finos, cardados ou penteados, o que permite ter uma ampla aplicação (Souza, 2018), (Pereira, 2008). Este sistema é muito utilizado na fiação de fios a partir de fibras descontínuas, sendo este sistema constituído por um dispositivo de alimentação, um sistema de estiragem, um sistema de torção, e o sistema de fiação em si (Araújo & Melo e Castro, 1986).
- b) Fiação de anel compacto (*Compact Spinning*): um processo com o mesmo princípio da fiação de anel, porém o sistema de compactação permite a absorção das pontas das fibras

provocando a diminuição da pilosidade e irregularidades do fio, levando também ao aumento da resistência (Souza, 2018), (Pereira, 2008).

- c) Fiação *open-end* (*Rotor spinning*): um processo de fiação mais rápido e eficiente em comparação com a fiação de anel. Nessa técnica, as fibras são abertas, entrelaçadas e alimentadas em um rotor que gira em alta velocidade. O rotor gira as fibras em torno de um eixo central para formar o fio. A fiação *open-end* é frequentemente utilizada para a produção de fios de algodão e fios sintéticos, e mais indicado quando utilizadas fibras curtas (Souza, 2018), (Pereira, 2008).
- d) Fiação de jato de ar (*Air-jet spinning*): Nesse processo, as fibras são estiradas e torcidas através de jatos de ar de alta velocidade. Os jatos de ar impulsionam as fibras através de orifícios, criando a torção necessária para formar o fio. A fiação de jato de ar é utilizada principalmente para fibras sintéticas. Este processo permite um maior rendimento de produção devido à velocidade que o processo ocorre, porém não permite produzir fios muito grossos e os fios resultantes apresentam aspetos ásperos (Souza, 2018), (Pereira, 2008).

2.8.1. Fiação *open-end*

A fiação *open-end* ou a rotor, técnica de fiação que será utilizada para a elaboração do fio reciclado, é o método não convencional mais usado na indústria têxtil para a produção de fios contínuos a partir de fibras curtas, onde através de um sistema de rotor, as fibras são torcidas e transformadas em fio contínuo. Este método é muito mais eficaz em relação à fiação em anel, pois é mais rápida e eficiente, requerendo menor etapas de produção e menos energia, para além dos fios apresentarem uma maior uniformidade e resistência (Souza, 2018), (Pereira, 2008).

2.9. Caracterização dos fios reciclados fabricados

A fim de estudar a fabricação de uma malha com material reciclado, torna-se pertinente estudar e caracterizar os fios criados a fim de obter as suas características, principalmente físicas, para assim ser mais fácil criar especificações para o processo de tricotagem de forma a elaborar uma nova peça com boas propriedades e comercialmente aceitável.

Com isto, importa saber quais os parâmetros necessários a saber para obter a caracterização de um fio, sendo os principais os seguintes, segundo P. R. Lord et al. (2003):

Composição: referindo-se ao tipo de fibra que estão presentes nesse mesmo fio, podendo este apresentar apenas um tipo de fibra como uma mistura de várias fibras. A composição tem elevada importância, pois as propriedades de cada tipo de fibra influencia parâmetros como resistência, elasticidade, absorção de humidade, entre outras (Lord, 2003).

Massa linear: a massa linear representa a espessura do fio, massa por unidade de comprimento, onde este parâmetro pode ser apresentado em Tex, Denier, ou comprimento por unidade de massa, Ne ou Nm, sendo estes todos os tipos de unidades de medida existentes. A massa linear do fio terá a influência em parâmetros como resistência, torção, elasticidade e principalmente nos tecidos ou malhas, pois a sua espessura poderá ter influência na respirabilidade ou flexibilidade dos tecidos (Lord, 2003).

Retorção: o fio é produzido geralmente com um processo de torção, onde as diferentes fibras são retorcidas com outras formando assim um fio contínuo. Este parâmetro é necessário para que os fios formados possam obter valores de resistência, toque, volume e uniformidade necessários para um processo de tecelagem ou tricotagem, ou até mesmo confecção (Lord, 2003), (Costa, Pires, Salvi, Firmino, & Campideli, 2015).

Torção dos fios: este parâmetro aplica-se quando o fio final resulta de dois ou mais fios formando um cabo. Assim quando se pretende conjugar dois ou mais fios num só, é necessário ter em consideração que a direção de torção irá influenciar o fio final, principalmente na sua estabilidade e na sua resistência, podendo esta ser em z ou s. (Lord, 2003).

Acabamento: o fio final produzido pode sofrer processos de acabamentos de forma a aumentar certas propriedades ou melhorar a sua aparência com a aplicação de produtos químicos, tratamentos térmicos, processos de tingimento, lubrificação, entre outros processos (Lord, 2003).

Coefficiente de atrito e resistências mecânicas: estes parâmetros são fundamentalmente importantes para o processo de tricotagem, tecelagem e confecção, pois é o momento que o fio é submetido a forças de tração, compressão e deslizamento com outros fios e com os materiais tricotadores, principalmente agulhas (Lord, 2003).

Pilosidade: este parâmetro identifica-se como a irregularidade presente no fio devido a fios ou pontas soltas presentes ao longo do mesmo, o que podem afetar no processo de tricotagem ou tecelagem, principalmente quando da passagem do fio na agulha, provocando variações do processo de construção (Lord, 2003).

Tabela 8-Tenacidade e alongamento à rutura de fibras têxteis.

Fibra	Tenacidade (N/Tex)	Alongamento à rutura (%)
Linho	0,26-0,62	1,8
Poliéster	0,35-0,47	35-65
Algodão	0,26-0,44	5-10
Seda	0,26-0,53	20-25
Lã	0,09-0,53	15-35
Juta	0,26-0,51	1,7
Cânhamo	0,51-0,60	1,8
Aramida (Kevlar)	1,9	4
Carbono	0,11-0,17	0,5-1
Vidro	0,53-0,88	3-4

Fonte: Adaptado de (Almeida, 2010).

Na tabela 8 estão representados alguns valores de referência de alongamento à rutura e tenacidade de diversos fios, para assim comparar com os valores obtidos na caracterização do fio reciclado elaborado.

2.10. Processos de tricotagem

Malhas são um tipo de estrutura têxtil que se pode obter por um processo designado por tricotagem, ou seja, substratos têxteis produzidos com recurso a técnicas de formação de laçadas. Estes são geralmente classificados em duas grandes famílias, malhas de trama ou malhas de teia (Araújo M. d., 1988).

Tricotagem é o processo de produção de malha através do recurso a agulhas, onde através do enlaçamento de fios obtém-se malha, podendo variar o tipo de estrutura pela manipulação do processo de tricotagem. Este processo pode ser dividido pelo método de produção, manual ou com recurso a teares (Araújo M. d., 1988).

Na área têxtil, os tipos de malha podem ser classificados segundo o tipo de estrutura fundamental que esta pode apresentar, onde as mais usuais são as estruturas de *jersey* e *rib*, onde a malha de jersey é produzida com apenas um sistema de agulhas enquanto a malha de *rib* é produzida com dois sistemas de agulhas (Araújo M. d., 1988).

O processo de tricotagem é feito recorrendo a teares de malha. Existe, porém, diferentes tipos de teares dependendo do tipo de malha que se pretende fabricar, entre eles (Araújo & Melo e Castro, 1986):

1. Teares Manuais: a forma mais tradicional, onde um operador manipula manualmente os elementos de tricotagem;
2. Teares retos: teares mecânicos retos, constituídos por um ou dois sistemas de agulhas em fila;
3. Teares circulares: com forma de anel ou cilindro, destinados ao desenvolvimento de peças tubulares, podendo ser *jersey* ou *rib*;
4. Teares de meia: projetados especificamente para a fabricação de meias, com agulhas dispostas em formato circular, para criar peças tubulares semelhantes às meias. Existe também um sistema designado por *seamless* com um princípio de funcionamento idêntico dos teares de meias, de maior diâmetro, onde a malha tricotada já se apresenta como um produto final sem costuras;
5. Teares *jacquard*: usados para criar padrões detalhados em malha, como os observados em roupas mais elaboradas ou tecidos de decoração.

Os teares de meia são capazes de produzir malhas com desenhos, tendo também a capacidade de poder inserir fios com elasticidade (elastómeros).

A constituição de um tear de meia consiste em sistema de alimentação do fio, sistema de tricotagem e sistema de tiragem.

Sistema de alimentação: a alimentação do fio ao sistema de tricotagem é efetuada por meio de alimentadores, guia-fios, detetores de fio e esquinadeiras.

Sistema de tricotagem: é constituído por subsistemas entre eles, o cilindro com elementos como agulhas de lingueta e platinas, o disco com os *jacks* de transferências, o anel de serra, as lâminas de corte, molas para prender os fios e bocais de aspiração, o seletor eletrónico de fios, o sistema de cames, subsistemas de manutenção, sistemas de alimentação de fios elásticos, e subsistemas de monitorização e vigilância.

Sistema de tiragem: resulta de um sistema de vácuo que permite retirar a malha, peça por peça, sem necessidade de corte já com o comprimento pré-definido, onde este sistema permite também retirar fios soltos que resultam em desperdício.

2.11. Caracterização da malha das meias recicladas fabricadas

A fim de estudar a fabricação de uma malha com material reciclado, é necessário avaliar certos parâmetros de forma a caracterizar a mesma e assim poder comparar com produtos existentes e comercialmente viáveis. Posto isto os parâmetros que são característicos de uma malha e que a podem definir depende um pouco da sua finalidade, porém considerando que a malha elaborada pertence aos têxteis de vestuário, definiu-se os seguintes parâmetros como os importantes a analisar, (Araújo M. d., 1988), (das Neves, 2021):

Composição: este parâmetro define o tipo de matéria-prima utilizada nos fios, responsável pela grande influência das propriedades da malha, caracterizando assim o fio da malha a nível qualitativo e quantitativo.

Debuxo: a forma de enlaçamento da malha é definida pelo debuxo, sendo este parâmetro originado no processo de tricotagem dependendo do tipo de sistema de cames escolhido, influenciando propriedades como aparência, toque, flexibilidade, entre outras.

Massa por unidade de área/superfície: é uma medida da densidade do tecido, ou seja, o peso em gramas em uma área de um metro quadrado, podendo este parâmetro influenciar a espessura, a capacidade de absorção, o isolamento térmico e a respirabilidade.

Contextura: diferentes dos tecidos a contextura em uma malha define-se como o número de colunas por centímetro e o número de fileiras por centímetro, ao contrário de tecidos que se contabiliza o número de fios por centímetro na teia e na trama. Este parâmetro depende do grau de aperto da laçada e influência propriedades como flexibilidade, permeabilidade ao ar, entre outras.

Resistências físicas e ao desgaste: uma das principais propriedades que a malha deve ter é resistência física e ao desgaste, de forma que esta resista a forças físicas e a condições de uso durante a sua utilização, definindo a durabilidade e o desempenho da malha. Dentro destas podemos ter resistências físicas como tração e rutura, ou resistências ao desgaste como abrasão ou formação de *pilling*.

Permeabilidade ao ar e absorção de humidade: algumas das características da malha para a obtenção de conforto durante o uso é a capacidade de passagem de ar e taxa de retenção de

humidade. Posto isto o nível de permeabilidade ao ar pode definir o propósito da malha, assim como a absorção de humidade, dependendo do tipo de produto e aplicabilidade do mesmo.

Acabamentos: este parâmetro refere-se a todos os processos ou técnicas que podem ser aplicadas na malha após a sua produção de forma a melhorar as suas propriedades estéticas, funcionais ou desempenho. Assim a malha pode obter funcionalidades específicas dependendo do tipo de acabamento de forma a cumprir requisitos para a sua aplicação, atendendo assim as demandas dos vendedores e as exigências dos consumidores.

2.11.1. Ângulo de contacto

O ângulo de contacto (θ_c) é um conceito físico que descreve o ângulo tangencial medido entre a superfície de um líquido e a superfície de um sólido adjacente, onde descreve o tipo de comportamento e interação que o líquido tem em contacto com a superfície determinando assim a hidrofiliidade da superfície sólida, por meio da equação de *Young* [1]. A interação do líquido com a superfície sólida resulta da combinação da tensão superficial com forças externas que é influenciada pela rugosidade, energia da superfície, porosidade e heterogeneidade química da superfície (Rocha, 2016), (Nunes, 2008).

$$\gamma_{SV} - \gamma_{SL} - \gamma_{LV} \cos\theta_c = 0 \quad (1)$$

Legenda da equação: γ_{SV} - Interface sólido/vapor; γ_{SL} -Interface sólido/líquido; γ_{LV} -Interface líquido/vapor.

Desta interação pode resultar três tipos de ângulos de contacto:

1. Ângulo de contacto igual a zero ($\theta=0^\circ$) - Comportamento superhidrofílico;
2. Ângulo de contacto maior que zero e menor que noventa graus ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) - Comportamento hidrofílico;
3. Ângulo de contacto maior que noventa e menor que cento e cinquenta graus ($90^\circ < \theta < 150^\circ$) - Comportamento hidrofóbico;
4. Ângulo de contacto maior que cento e cinquenta graus ($\theta > 150^\circ$) - Comportamento superhidrofóbico.

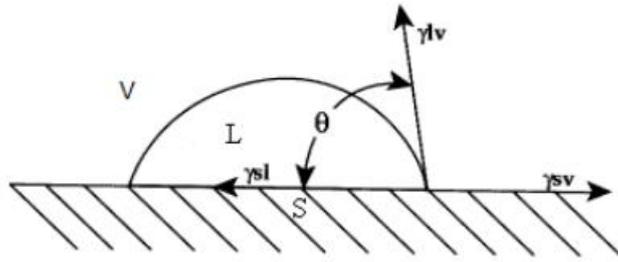


Figura 8-Representação dos ângulos de contacto entre a gota do líquido e a superfície do substrato sólido.
Fonte: Retirado de (Nunes, 2008)

3. Materiais e Métodos

3.1. Tipos de resíduos existentes

Neste projeto foram utilizados, como já referido anteriormente, resíduos provenientes da empresa, onde estes se diferenciam pela estrutura têxtil. Os resíduos são recolhidos na empresa em três tipos diferentes, sendo todos pré-consumo:

- Resíduo de filamento, este é obtido no processo de tricotagem da meia pelo qual resulta um desperdício através do corte de filamentos soltos na formação da meia, sendo removido e acumulado através de um processo de aspiração.
- Resíduo de malha em formato de argola, o qual resulta do processo de corte e acabamento da meia, obtendo assim uma porção da meia em pequenas dimensões, com malha em estrutura de *jersey*.
- Resíduo de meia, que consiste em meias que não podem ser comercializadas devido a defeitos, sem uso, onde estas apresentam estrutura de malha *jersey* e *rib*.



Figura 11-Resíduo de filamentos. Acervo próprio.



Figura 10-Resíduo de mistura de malha e filamento. Acervo próprio.



Figura 92-Resíduo de meias em malha. Acervo próprio.



Figura 12-Resíduos acumulados na empresa. Acervo próprio.

3.2. Método de armazenamento dos resíduos obtidos na empresa

3.2.1. Fluxograma do processo de armazenamento dos resíduos

Nos fluxogramas apresentados abaixo estão representados os caminhos e a forma de como os resíduos são recolhidos e armazenados perante o tipo de processo. No fluxograma da figura 14 os resíduos são transportados pela mesma conduta independentemente do tipo de resíduo sendo acumulado e armazenado no mesmo local, enquanto no fluxograma da figura 13 os resíduos são separados inicialmente perante a sua estrutura e a sua origem, levando a que estes sejam acumulados e armazenados em lugares diferentes e específicos ao tipo de processo.

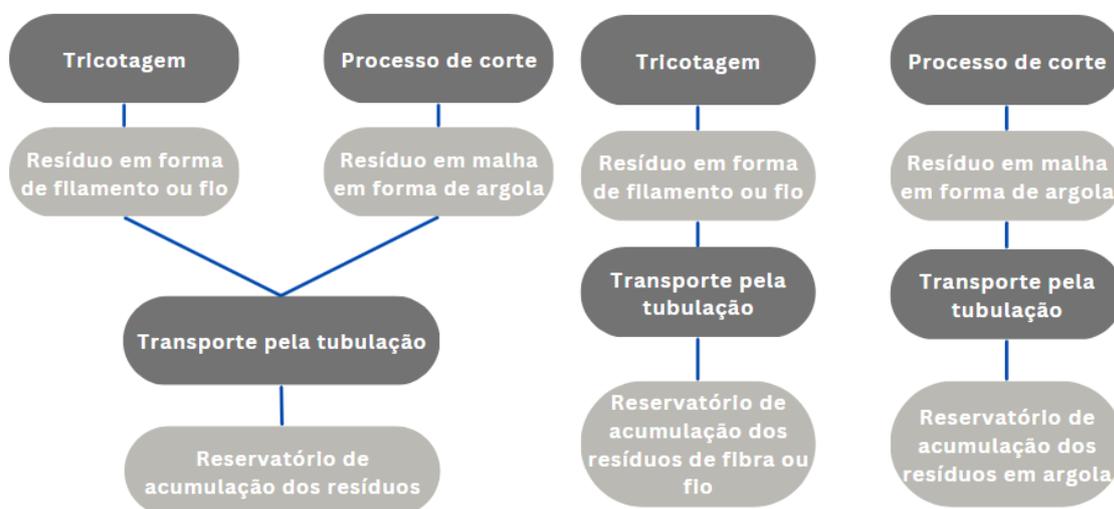


Figura 14-Fluxograma do armazenamento dos resíduos sem separação. Acervo próprio.

Figura 13-Fluxograma do armazenamento dos resíduos com separação. Acervo próprio.

3.2.2. Explicação e ilustração do processo de armazenamento dos resíduos obtidos

Na figura 16 está representada a tubagem de aspiração da máquina de tricotagem, enquanto na figura 15 está representada a tubagem da máquina de corte. O número 1 da figura 16 ilustra o tubo de recolha dos resíduos provenientes da tricotagem da meia, enquanto o número 2 ilustra o tubo de recolha dos resíduos das linhas de desenho que foram cortadas durante a tricotagem. O número 3 da figura 15 representa o tubo de recolha da malha em formato de argola resultante do processo de corte da meia.

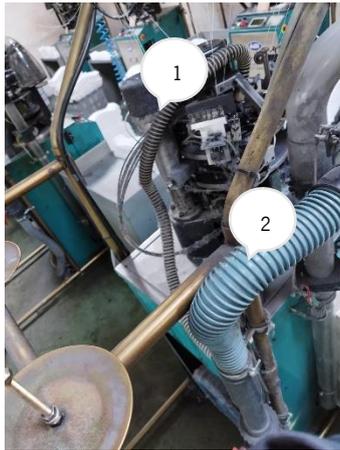


Figura 16-Tubagem da máquina de tricotagem. Acervo próprio.

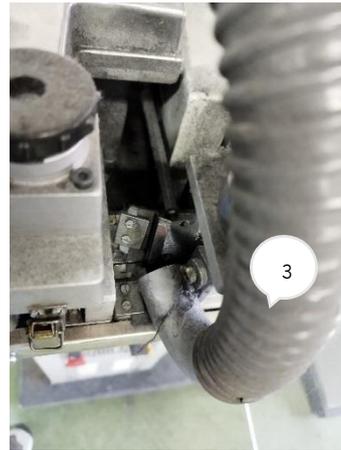


Figura 15-Tubagem da máquina de corte. Acervo próprio.

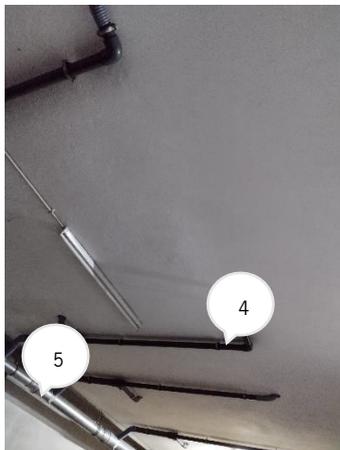


Figura 18-Tubagens para transporte dos resíduos. Acervo próprio.



Figura 17-Tubagens para transporte de resíduos apenas da máquina de corte. Acervo próprio.

Relativamente ao método de transporte dos resíduos, as tubagens apresentadas na figura 18 podem transportar tanto os resíduos de malha em forma de argola do processo de corte, como os resíduos em forma de filamento do processo de tricotagem para o mesmo compartimento apresentado na figura 20, onde apenas o resíduo em malha pode ser alterado, podendo ser transportado pela tubagem apresentada na figura 17 pelo número 6 e assim armazenado na estrutura apresentada na figura 19, criando assim uma separação dos diferentes tipos de resíduos. Como pode ser visto na figura 18, tanto os teares como as máquinas de corte têm como meio de ligação tubagens individuais como ilustrado pelo número 4, que se ligam a um tubo maior ilustrado pelo número 5 que junta todo o resíduo de todos os tubos individuais transportando até à estrutura de armazenamento dos resíduos. Todo este processo de transporte e recolha dos resíduos

acontece devido a um sistema de aspiração implementado na empresa que permite assim que exista sucção dos resíduos em direção aos locais de armazenamento.



Figura 19-Estrutura de armazenamento de resíduos da máquina de corte. Acervo próprio.



Figura 20-Estrutura de armazenamento de ambos os resíduos. Acervo próprio.

3.3. Tipo de produto a desenvolver

Após a análise da revisão de literatura e estudo do estado da arte foi discutido o produto a desenvolver, assim como o seu princípio e quais os processos necessários para o fabricar.

Foi proposto o desenvolvimento de uma meia/peúga de que utilize como matéria-prima fibras recicladas a partir de um tipo de resíduo, realizando assim um produto com valor inferior ao que originou o resíduo, *downcycling*, e uma reciclagem com ciclo fechado, *closed-loop*.

Para realizar a idealização do produto escolhido é necessário transformar os resíduos em novas meias e por isso é preciso transformar os resíduos em matéria-prima novamente. Considerando que o resíduo que apresenta a estrutura mais simples é o resíduo de filamento para submeter a uma fiação *open-end*, torna-se necessário transformar todos os resíduos em filamento, mais concretamente em matéria fibrosa, através de um processo de reciclagem mecânica designada por *garneting*, já analisado no estudo realizado por R. Mishra et al. (2014) na revisão de literatura.

3.4. Transformação dos resíduos em matéria fibrosa

Uma das principais etapas para a reciclagem dos resíduos que permitiu regenerar os mesmos em um novo produto foi o processo de trituração e desfibrção dos filamentos e dos restos de malha.

Toda esta etapa foi realizada no Centro Tecnológico Têxtil e Vestuário, CITEVE, uma organização sem fins lucrativos responsável por diversos projetos de inovação assim como serviços de análise laboratorial, certificações e consultoria técnica e tecnológica. A realização desta etapa prática da dissertação foi auxiliada pelo Engenheiro Filipe e o Engenheiro João, e colaboradores do CITEVE.

Para a concretização deste processo foram utilizados dois diferentes aparelhos de reciclagem mecânica têxtil, uma trituradora (*shredding machine*) composta por duas lâminas rotativas e um tapete transportador, onde as lâminas cortam os resíduos em comprimentos pré-definidos, e o tapete transporta os resíduos a uma velocidade também pré-definida, e um desfibrador (*defibrator machine*) responsável por desfibrar o emaranhado de fibras e fios resultantes da trituradora, onde esta é composta também por um tapete transportador com uma velocidade em metros por minuto e um conjunto de cinco blocos desfibradores onde cada um contém um rolo transportador com uma velocidade variável em metros por minuto e um cilindro desfibrador constituído por pequenas pontas agudas responsáveis por desfazer os nós de tecido, tendo também uma velocidade variável em rotações por minuto. Por fim cada um dos blocos contém também um cilindro perfurado por onde ocorre um transporte ventilado de fibras soltas pelo cilindro desfibrador. O material após triturado é lido depositado lubrificante para no momento de passagem nos rolos, no desfibrador, não ocorrer problemas como ocorrência de eletricidade estática e diminuir forças de atrito dos resíduos, pois caso contrário poderia resultar no aquecimento do material e possível fusão dos mesmos.



Figura 22-Triturador (Shredding machine).
Acervo próprio.



Figura 21-Desfibrador (Defibrator machine).
Acervo próprio.



Figura 24-Cilindro com lâminas de corte da
tritadora. Acervo próprio.



Figura 23-Cilindro desfibrador. Acervo
próprio.



Figura 25-Rolo transportador. Acervo
próprio.

3.5. Realização prática da transformação dos resíduos em matéria fibrosa

O processo de reciclagem foi dividido em quatro partes variando o tipo de resíduo em cada uma das partes, ou seja, foi efetuado um processo de reciclagem com resíduos de filamento, outro com resíduos de restos de malhas em formato de argola, outro com resíduos compostos com mistura dos dois anteriores e um final com os resíduos de meias, de forma a comparar a diferença no resultado do processo e assim verificar se a separação dos resíduos potencializa melhores resultados após a reciclagem.

3.5.1. Processo de reciclagem dos resíduos em filamento

Para o este tipo de resíduo foi inicialmente realizado duas passagens na trituradora com um corte de 12,6 milímetros e uma velocidade de 400 rotações/minuto de forma a diminuir o tamanho dos filamentos, prosseguindo posteriormente para o desfibrador com a seguinte configuração dos rolos.

Tabela 9-Parâmetros utilizados para o 1º teste (filamento).

Teste 1	Rolo 1	Rolo 2	Rolo 3	Rolo 4	Rolo 5
Cilindro (Rotações/minuto)	1352	1478	1696	1912	1995
Rolo transportador (Metros/minuto)	0,76	0,75	0,81	0,81	1,00

Inicialmente foi utilizada as especificações da tabela 9, porém o resultado resultou na presença de fio não desfibrado em demasia como demonstrado na figura 26, e por isso foi aumentada a velocidade para um processo mais rigoroso.



Figura 26-Fibras resultantes do 1º teste de reciclagem dos filamentos. Acervo próprio.

Tabela 10-Parâmetros utilizados para o 2º teste (filamento)

Teste 2	Rolo 1	Rolo 2	Rolo 3	Rolo 4	Rolo 5
Cilindro (Rotações/minuto)	1352	1478	1696	1912	1995
Rolo transportador (Metros/minuto)	0,81	0,90	1,15	0,90	1,15

Após a aplicação de maior velocidade nos rolos verificou-se que as fibras apresentavam demasiado dano e por isso decidiu-se utilizar uma velocidade intermedia entre a utilizada no teste 1 e teste 2, como se pode verificar na tabela 11.



Figura 27-Fibras resultantes do 2º teste de reciclagem dos filamentos. Acervo próprio.

Tabela 11-Parâmetros utilizados para o 3º teste (filamento).

Teste 3	Rolo 1	Rolo 2	Rolo 3	Rolo 4	Rolo 5
Cilindro (Rotações/minuto)	1352	1478	1696	1912	1995
Rolo transportador (Metros/minuto)	0,77	0,81	1,00	0,90	1,15

Com esta configuração dos rolos conseguiu-se obter uma uniformidade nos resultados de forma a não provocar muito danos nas fibras e não existir muitos fios não desfibrilados, como pode ser verificado na figura 28.



Figura 28-Fibras resultantes do 3º teste de reciclagem dos filamentos. Acervo próprio.

3.5.2. Processo de reciclagem dos resíduos em malha com formato de argola

Para o este tipo de resíduo foi realizado duas passagens na trituradora tal como nos resíduos de filamento, porém com um corte de 10 milímetros, visto o resíduo ainda estar em estrutura de malha, e uma velocidade de 400 rotações/minuto, prosseguindo posteriormente para o desfibrador com a seguinte configuração dos rolos, apresentada na tabela 12.

Tabela 12-Parâmetros utilizado para o 1º teste (malha em formato de argola).

Teste 1	Rolo 1	Rolo 2	Rolo 3	Rolo 4	Rolo 5
Cilindro (Rotações/minuto)	1352	1478	1696	1912	1995
Rolo transportador (Metros/minuto)	0,77	0,91	1,00	1,00	1,15

Foi utilizado uma nova configuração para os resíduos em malha no processo de desfibrção com as especificações na tabela 12, porém o resultado apresentou muito fio o que significou que a desfibrção não foi totalmente eficaz, e por isso foi aumentada a velocidade levando a um processo mais rigoroso, como representado na tabela 13.



Figura 29-Fibras resultantes do 1º teste de reciclagem dos resíduos têxteis em formato de argola. Acervo próprio.

Tabela 13-Parâmetros utilizados para o 2º teste (malha em formato de argola).

Teste 2	Rolo 1	Rolo 2	Rolo 3	Rolo 4	Rolo 5
Cilindro (Rotações/minuto)	1352	1478	1696	1912	1995
Rolo transportador (Metros/minuto)	0,81	1,01	1,15	1,25	1,50

Com a configuração dos rolos na tabela 13 o resultado foi significativamente melhor ao anterior e por isso foi colocada uma configuração intermédia de forma a não danificar em demasia as fibras a nível mecânico, utilizando como configuração dos rolos os valores apresentados na tabela 14.



Figura 30-Fibras resultantes do 2º teste de reciclagem dos resíduos têxteis em formato de argola. Acervo próprio.

Tabela 14-Parâmetros utilizados para o 3º teste (malha em formato de argola)

Teste 3	Rolo 1	Rolo 2	Rolo 3	Rolo 4	Rolo 5
Cilindro (Rotações/minuto)	1352	1478	1696	1912	1995
Rolo transportador (Metros/minuto)	0,81	0,90	1,05	1,15	1,40



Figura 31-Fibras resultantes do 3º teste de reciclagem dos resíduos têxteis em formato de argola. Acervo próprio.

Durante o processo de desfibrção é originado algum desperdício, resíduos que não desfiaram, porém esse mesmo desperdício é novamente submetido ao processo de desfibrção até ficar em matéria fibrosa, sendo este um processo automático da própria máquina.



Figura 32-Desperdício do processo de desfibrção dos filamentos. Acervo próprio.

3.5.3. Processo de reciclagem dos resíduos em mistura (malha em formato de argolas e filamento)

No caso do resíduo relativo à mistura foi realizado duas passagens na trituradora com um corte de 10 milímetros e uma velocidade de 400 rotações/minuto de forma a diminuir o tamanho dos filamentos e da malha em formato de argola.

Após a etapa de corte dos resíduos, os mesmos passaram para a fase de desfibrção com a seguinte configuração dos rolos transportadores e dos cilindros com desfibradores, apresentada na tabela 15.

Tabela 15-Parâmetros utilizados para o 1º teste (mistura de filamento e malha em formato de argola).

Teste 1	Rolo 1	Rolo 2	Rolo 3	Rolo 4	Rolo 5
Cilindro (Rotações/minuto)	1352	1478	1696	1912	1995
Rolo transportador (Metros/minuto)	0,76	0,75	0,81	0,81	1,00

O resultado a esta fase está ilustrado na figura 33, e como se pode verificar a amostra apresentou bastante quantidade de fio e até alguns filamentos entrelaçados e por isso foi realizada uma nova passagem no desfibrador, mas apenas submetida aos dois últimos blocos do desfibrador, onde se obteve a seguinte amostra, apresentada na figura 34.



Figura 33-Resultado do processo de desfibrção dos resíduos em mistura com duas passagens. Acervo próprio.



Figura 34-Resultado do processo de desfibrção dos resíduos em mistura com uma passagem. Acervo próprio.

Tal como referido anteriormente este processo de desfibrção origina algum desperdício, como pode ser verificado na figura 35. Este desperdício poderia ser reaproveitado através de mais passagens no desfibrador.



Figura 35-Desperdício originado pelo processo de desfibrção. Acervo próprio.

3.5.4. Processo de reciclagem de meias

Como o objetivo deste projeto é diminuir o nível de desperdício da empresa ao máximo, decidiu-se tentar realizar a reciclagem de meias com defeito que tem como destino aterros e incinerações, tal como os resíduos da produção, algo que inicialmente não estava planejado, isto porque a meia inteira possui fios de elastano na sua estrutura, e isso por norma costuma ser um problema para os processos de reciclagem mecânica, principalmente no processo de desfibrção.

Inicialmente, tal como nos outros tipos de resíduos, foi realizada a passagem na trituradora, onde se realizou duas passagens com uma velocidade de 400 rotações por minuto do cilindro e um corte de 9 milímetros.

Disto resultou uma estrutura idêntica aos resíduos de malha em formato de argola, tal como representado na figura 36, e por isso percebeu que apenas duas passagens poderiam não ser suficientes.



Figura 36-Resultado do processo de trituração das meias com duas passagens. Acervo próprio.

Prosseguiu-se, no entanto, para a fase do desfibrador para verificar qual o resultado, onde se configurou com os valores apresentados na tabela 16.

Tabela 16-Parâmetros utilizados para o 1º teste (meia completa).

Teste 1	Rolo 1	Rolo 2	Rolo 3	Rolo 4	Rolo 5
Cilindro (Rotações/minuto)	1230	1362	1500	1660	1665
Rolo transportador (Metros/minuto)	0,75	0,80	0,95	0,95	1,15

Nesta etapa foi realizada duas passagens, apresentado o resultado na figura 37, no último setor do desfibrador (últimos dois blocos) pois o resultado da amostra com apenas uma passagem apresentava mais quantidade de fio como o desejado, como apresentado na figura 38.



Figura 38-Resultado do 1º teste do processo de desfibrção das meias com uma passagem. Acervo próprio.



Figura 37-Resultado do 1º teste do processo de desfibrção das meias com duas passagens. Acervo próprio.

Como o resultado após duas passagens no desfibrador continuava a apresentar bastante fio, decidiu-se iniciar um novo processo deste a trituração, mas desta vez aumentando o número de passagens no triturador.

Com isto realizou-se quatro passagens na trituradora com as mesmas especificações, 400 rotações por minuto e um corte de 9 milímetros, passando posteriormente para o desfibrador, estando o resultado dessa trituração apresentado na figura 39.



Figura 39-Resultado do processo de trituração das meias com quatro passagens. Acervo próprio

O desfibrador sofreu uma modificação na sua configuração, mas apenas nas velocidades dos rolos transportadores, como se pode verificar na tabela 17.

Tabela 17-Parâmetros utilizados para o 2º teste (meia completa).

Teste 2	Rolo 1	Rolo 2	Rolo 3	Rolo 4	Rolo 5
Cilindro (Rotações/minuto)	1230	1362	1500	1660	1665
Rolo transportador (Metros/minuto)	0,75	0,80	0,95	0,85	1,05

A diminuição da velocidade dos rolos transportadores permite que haja um maior grau de desfibrção, pois os cilindros desfibradores são alimentados com uma menor quantidade de matéria têxtil.

Após este processo obteve-se uma amostra com uma quantidade de fibras aceitável e capaz de ser fiada, como demonstrada na figura 41.

Deste processo de desfibrção, tal como anteriormente, resultou algum desperdício, representado na figura 40, que pode ser submetido novamente ao processo inicial até apresentar capacidade para ser fiado.



Figura 41-Resultado do 2º teste do processo de desfibrção das meias com uma passagem. Acervo próprio.



Figura 40-Desperdício do processo de desfibrção das meias. Acervo próprio.

3.6. Caracterização da matéria fibrosa por análise FTIR - Interpretação dos resultados da espectroscopia FTIR

Perante a avaliação do processo de produção da empresa, foi possível avaliar os tipos de encomendas que eram recebidas e realizadas onde se denotou que as fibras podiam variar dependendo do tipo de encomenda, sendo estas de algodão, poliéster e poliamida.

Com isso surgiu a necessidade de analisar e caracterizar os resíduos de forma a comprovar a composição dos mesmos com o tipo de matéria-prima observada nas encomendas. Para isso foi realizado uma análise espectroscopia de infravermelho transformada de Fourier (FTIR) para comprovar a constituição dos resíduos utilizados.

Para a análise das amostras no FTIR deve-se ter em conhecimento as 4 zonas de análise do espectro, onde segundo J. G. Leite (2008), espectros de compostos orgânicos podem ser divididos em quatro zonas:

- 1- A zona de estiramento (4000-2500), a zona de ligação tripla (2500-2000) e a zona de ligação dupla (2000-1500), onde os picos nesta região são característicos de certos tipos específicos de ligações, e devido a esse facto permitem identificar grupos funcionais específicos de certos materiais
- 2- A zona de impressão digital (1500-400) onde os picos nesta região surgem a partir de deformações complexas das moléculas, podendo ser característicos de simetria molecular ou bandas de combinação de múltiplas ligações que se deformam simultaneamente.

Perante isto, é possível interpretar um espectro infravermelho localizando os grupos funcionais presentes e assim verificar a melhor correspondência, e verificar os padrões proeminentes na zona de impressão digital. Por fim para uma melhor exatidão deve-se comparar o espectro obtido com um espectro de referência do material que potencialmente pode ser o obtido pelo espectro.

Os espectros de infravermelho obtidos são analisados com recurso a uma tabela de espectro IR, onde esta lista as faixas de frequência da espectroscopia infravermelho, a aparência das vibrações e absorções para os grupos funcionais característicos, tendo sido utilizada a tabela apresentada no website *Sigmaaldrich* (Aldrich, 2023).

3.7. Processo de fiação

3.7.1. Planificação da formação dos fios

Segundo os objetivos propostos para esta dissertação, o passo a realizar, após a obtenção das fibras recicladas obtidas a partir dos resíduos, é o desenvolvimento de fios com a utilização dessas mesmas fibras. O desenvolvimento de um fio reciclado permite ter um ponto de avaliação de um produto para colocação no mercado, pois a empresa poderá comercializar o mesmo, tanto pela sua venda como pela sua utilização na fabricação de malha para peúgas.

Para o auxílio nesta fase foi contactada a empresa Cleverfil LDA, uma empresa situada em Guimarães, tendo como principal ramo o processo de fiação e sendo especializada na produção de fios sintéticos *open-end*. Esta empresa já opera há 7 anos e para além dos processos de fiação também é responsável pela fabricação de outros tipos de têxteis, assim como agentes de comércio de têxteis, vestuário, calçado e artigos de couro.

Junto com a empresa definiu-se criar fios com diferentes parâmetros, a serem utilizados nos teares da empresa de peúgas de forma a ser possível criar meias com têxtil reciclado.

Perante isso foi criada a tabela 18 com as especificações dos fios que se pretende criar.

Tabela 18-Especificações utilizadas para fabricação dos fios reciclados.

Tipo de fibra Tipo de fio	Resíduo de fibra com Poliéster reciclado PET (%)	Resíduo de malha com Poliéster reciclado PET (%)	Resíduo de meia com Poliéster reciclado PET (%)
1 cabo a 15 Ne	60/40	60/40	60/40
1 cabo a 10 Ne	60/40	60/40	60/40
2 cabos a 20 Ne	60/40	60/40	60/40

A composição do fio preferencialmente seria totalmente reciclada, porém o resultado obtido poderá não ser o melhor, por isso decidiu-se utilizar um fio de poliéster de acompanhamento para obter no fim um fio com resistências mecânicas idênticas as meias desenvolvidas na empresa. A fibra de poliéster utilizada para acompanhamento é uma fibra de poliéster reciclada, permitindo assim dar seguimento ao projeto de realização de um fio 100% reciclado.

3.7.1. Realização da fiação de fio com os substratos reciclados-Cleverfil

Após a ida à empresa Cleverfil, o processo de fiação alterou-se ligeiramente o planificado, devido à impossibilidade de realização e à falta de matéria para fiação.

3.7.1.1. *Abridor de fardos*

Esta é provavelmente a principal etapa da fiação, isto porque uma fraca abertura dos fardos e má alimentação na carda compromete todas as seguintes etapas.

Inicialmente procedeu-se à mistura de fibras, com uma percentagem de 60% de fibra reciclagem dos resíduos e 40% de fibra de poliéster reciclado. A mistura de poliéster reciclado serviu, tal como já referido anteriormente, para aumentar as propriedades mecânicas do fio final, onde as percentagens de mistura foram definidas segundo conhecimento empírico, não se realizando a mistura de 90%/10% que inicialmente se tinha equacionado devido à falta de matéria.

Após a realização da mistura, procedeu-se à abertura dos fardos de rama, havendo a separação do tipo de substrato, começando pelo substrato de mistura, seguindo o resíduo de filamento e por fim o de meias. A abertura dos fardos acontece no abridor onde as fibras são abertas e misturadas com o auxílio de um sistema de ar e cilindros desfibradores que abrem os fardos e desfazem os emaranhados de fibras, sendo este composto por um abridor fino e um abridor grosso, onde varia o tamanho dos dentes no cilindro. Esta fase tem bastante importância na mistura homogénea das diferentes fibras, para assim não surgir o aparecimento de manchas e emaranhados do mesmo tipo de fibra em fases posteriores.

3.7.1.2. *Cardação*

O material após passar pelo abridor encontra-se em forma de manta e é transportado por meio de condutas, onde as mesmas controlam a velocidade de alimentação da carda através da variação de pressão de ar, sendo que idealmente as pressões devem permitir uma alimentação de fluxo constante na carda. A manta após entrar na carda passa por pentes cilíndricos e câmaras de centrifugação para assim ocorrer a limpeza (através da libertação de fibras muito curtas e de impurezas presentes nas fibras, como ornamentação e paralelização das fibras), resultando como produto final deste processo uma fita. A velocidade utilizada nos pentes cilíndricos da carda foi de 170 metros por minuto ao invés dos 230 metros por minuto que normalmente se utilizam na empresa, devido a se tratar de fibras recicladas com menores propriedades mecânicas. Já relativamente à fita, esta sai da carda com uma massa linear de 5ktex. Uma boa cardação é

fundamental para as propriedades mecânicas do produto final, pois é neste processo que se orienta as fibras de forma que estas fiquem todas no mesmo sentido para quando ocorrer a torção a área superficial de contacto entre fibras seja a maior possível.

3.7.1.3. **Laminação**

Essa fita originada é posteriormente transportada através de carros transportadores para a laminação, onde na empresa em questão são utilizadas seis fitas para realizar a laminação. Esta etapa tem como principal objetivo uniformizar o peso por unidade de comprimento e paralelizar as fibras.

O processo de laminação consiste na passagem das fitas por um passador, seguindo a passagem em cilindros, onde sofrem um processo de estiragem e ligeira torção, através da diferenciação de velocidades, ou seja, uma maior velocidade à saída relativamente à velocidade de entrada, o que resulta no aumento do paralelismo das fibras e no melhoramento das propriedades físicas das fibras, tais como resistência à tração e alongamento do produto final. Após a saída da fita dos passadores foi necessário verificar a massa linear da fita e calibrar a máquina até se obter o valor pretendido.

3.7.1.4. **Fiação propriamente dita**

Por fim, a fita resultante da laminação é transportada por carros transportadores “potes”, colocada junto à máquina de fiação, no caso uma *Autocoro 9*, para assim se proceder à fiação propriamente dita, onde ocorre a transformação da fita em fio perante as propriedades pretendidas para o fio. O tipo de fiação utilizada foi a fiação a rotor, *open-end*, indicada para este tipo de fibras, ou seja, fibras mais curtas e com menores propriedades mecânicas.

Relativamente aos parâmetros de fiação utilizados na fiação propriamente dita, estes estão indicados na tabela 19 para cada tipo de fio fiado.

Tabela 19-Parâmetros utilizados no processo de fiação propriamente dita.

Massa linear (Ne)	Velocidade de entrada (m/min)	Velocidade de saída (m/min)	Torção (t/m)	Estiragem	Rotação do rotor (r/min)	Rotação da cardinha (r/min)
10	1,28	105,3	493,8	82	52000	8700
15	0,74	92,1	630	125	58000	9200
20	0,47	79,3	756,6	167,5	60000	8700

No caso em questão foram definidos diferentes valores de massa linear para formação de fio na matéria de substrato de mistura 10 Ne, 15 Ne e 20 Ne. Já para as matérias de substratos de filamento e meia, foi apenas definido fio de 10 Ne devido à falta de matéria-prima, realizando-se o estudo da variação da massa linear no fio apenas no caso do material de substrato de mistura.



Figura 44-Fio de resíduo de malha de meia de 10 Ne. Acervo próprio.



Figura 43-Fio de resíduo de mistura de filamento e malha em formato de argola de 10 Ne. Acervo próprio.



Figura 42-Fio de resíduo de filamento de 10 Ne. Acervo próprio.



Figura 46-Fio de mistura de resíduo de filamento e malha em formato de argola de 15 Ne. Acervo próprio.



Figura 45-Fio de mistura de filamento e malha em formato de argola de 20 Ne. Acervo próprio.

Desde processo de fição resulta dois tipos de desperdícios, um desperdício que normalmente não tem reaproveitamento e outro, ilustrado na figura 47, que resulta da acumulação de mecha na carda, sendo que pode ser inserido novamente na etapa de mistura e ser reaproveitado.



Figura 47-Desperdício do processo de cardação. Acervo próprio.

3.7.2. Processo ilustrativo da fiação na empresa Cleverfil



Figura 49-Pesagem da matéria fibrosa de resíduo e poliéster reciclado. Acervo próprio.



Figura 48-Mistura da matéria fibrosa para homogeneização da rama final. Acervo próprio.

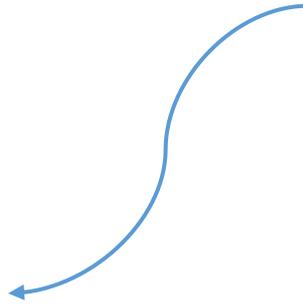


Figura 51-Processo de cardação da mecha para formação de fita. Acervo próprio.



Figura 50-Processo de acumulação de fita e transporte para a fase de laminação. Acervo próprio.

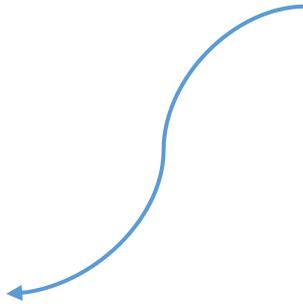


Figura 53-Processo de laminação da fita. Acervo próprio.



Figura 52-Fiação propriamente dita. Acervo próprio.

3.8. Caracterização do fio reciclado fabricado

3.8.1. Massa linear

A massa linear dos fios não foi testada na universidade, pois este já tinham sido avaliados na empresa Cleverfil, a quando a formação do fio.

3.8.2. Composição

A composição, tal como a massa linear não foi analisada pois já tinha sido anteriormente verificada, tanto a fibra reciclada, analisado por FTIR nas figuras 70, 71 e 72, e a fibra de poliéster reciclado adicionado no processo de fiação. Relativamente às percentagens, estas foram definidas e pesadas no processo de mistura.

3.8.3. Determinação da pilosidade e irregularidade do fio

Relativamente à análise da pilosidade e irregularidade do fio, este foi determinada nos laboratórios da universidade, com o auxílio do engenheiro Joaquim Jorge, com a utilização do equipamento *Uster Tester 3* que permite realizar uma análise quantitativa da irregularidade do fio, observando parâmetros como a irregularidade do fio $cv(\%)$, pontos finos, pontos grossos, pilosidade, entre outros. Este aparelho pode ser dividido em módulos como o *Line Conditioner*, *Signal Processor* e o *Evenness Converter*, e ainda o *Printer* irá fornecer os resultados. O mecanismo de medição funciona através da emissão de luz, por um campo de feixe de luz homogénea, a quando o fio atravessa a zona de medição, onde apenas a luz que atinge o fio é detetada no recetor, permitindo assim calcular o valor das pontas em centímetros (cm). Posteriormente o valor da pilosidade é calculado através da razão entre o comprimento total das pontas de fibras soltas e o comprimento de fio (Chowdhury, Mukhopadhyay, & Sett, 2014), (Rodrigues, 2023).



Figura 56-Evenness Converter. Acervo próprio.



Figura 55-Line Conditioner. Acervo próprio.



Figura 54-Signal Processor. Acervo próprio.



Figura 58-Esquinadeira do Uster Tester 3. Acervo próprio.



Figura 57-Printer. Acervo próprio.

Para isso foi utilizado uma velocidade de 400 metros por minuto durante 2 minutos e 30 segundos, ou seja, foi analisado 1000 metros de fio, isto para cada tipo de fio reciclado.

3.8.4. Determinação do coeficiente de atrito

Para a caracterização do fio foi também medido o coeficiente de atrito, em laboratório na universidade com o auxílio do engenheiro Joaquim Jorge. Para isso recorreu-se a um medidor de coeficiente de atrito, em escala logarítmica, que permite calcular o coeficiente de atrito através de um conjunto de roldanas e uma peça de aço cromo vanádio, o mesmo material das agulhas, representado na figura 59 pelo número 1. A variação do atrito do fio na passagem pela peça descrita anteriormente provoca uma variação na escala logarítmica permitindo assim obter um coeficiente de atrito específico a cada fio. A realização do teste consiste na passagem do fio durante 7 minutos, onde 2 minutos servem para estabilização, retirando-se os valores a partir do minuto 3 até ao minuto 7.



Figura 59-Medidor do coeficiente de atrito. Acervo próprio.

3.8.5. Determinação das propriedades mecânicas ao fio (Tenacidade, Força de rotura e Alongamento à rotura)

Para testar as propriedades mecânicas foi utilizado o dinamómetro *Hounsfield*, dos laboratórios localizados na universidade, com o auxílio do engenheiro Joaquim Jorge, e assim obter valores de força de rotura, alongamento à rotura e tenacidade de cada fio produzido, permitindo assim que se possa comparar e definir o melhor fio.



Figura 60-Dinamómetro Hounsfield. Acervo próprio.

Para a realização deste teste recorreu-se à norma NP EN ISO 2062:2016-Determinação da força de rotura e alongamento na rotura dos fios individuais utilizando um aparelho de ensaio de velocidade de extensão constante (CRE), onde são feitas 10 medições a cada amostra, com uma velocidade de 500 milímetros por minuto, um comprimento de maxilas de 50 centímetros e uma célula de carga de 2500 newtons (N).

3.9. Sistema de tricotagem utilizado para a fabricação das péugas

Tal como já indicado no estudo da arte, o tipo de tricotagem utilizada na empresa foi tricotagem com recurso a teares circulares de meia com sistema de anel de platinas-cilindro.

Os teares utilizados na empresa, da marca *Billi Magic*, são constituídos pelo sistema de alimentação, tricotagem e tiragem, com sistema de cilindro e anel de platinas como pode ser visto na figura 61. O tear tem um diâmetro de 4 polegadas, 10,16 cm, com um conjunto de 120 agulhas e com produção de meia com calcanhar falso, e uma capacidade de tricotagem de 300 rotações por minuto.

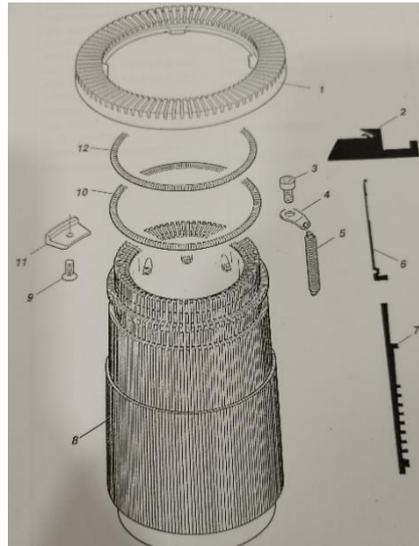


Figura 61-Sistema do tear circular de meias. Legenda:1-Anel de platinas; 2-Platina; 6-Agulha; 7-Jack; 8-Cilindro. Acervo próprio.



Figura 62-Visão interna do tear do processo de tricotagem da meia. Acervo próprio.



Figura 63-Tear circular de meia, Billi Magic. Acervo próprio.

Para a elaboração da malha foi definido os parâmetros no tear, sendo esses confidenciais para a empresa, de forma a obter uma meia desportiva que habitualmente se fabrica e comercializa na empresa, para dessa forma poder comparar a meia criada com outra já comercializada.

No processo de tricotagem foram três tipos de fios, fio reciclado, fio de poliéster utilizado na empresa e fio de elastano utilizado na tricotagem do punho da meia.

A elaboração das meias consistiu em cinco tipos diferentes, variando apenas o tipo de fio, sem alteração de estrutura e parâmetros do tear, de forma a não ocorrer manipulações na comparação descrita anteriormente. Os cinco tipos diferentes consistem em:

- Meia de controlo;

- Meia de fio de filamento de 10 Ne;
- Meia de fio de mistura de 10 Ne;
- Meia de fio de mistura de 15 Ne;
- Meia de fio de mistura de 20 Ne
- Meia de fio de meias de 10 Ne;

A designação dada às meias foi feita pelo fio reciclado utilizado.

3.10. Caracterização do substrato de malha elaborado

Após a formação dos substratos de malha, as peúgas, é necessário realizar uma caracterização dos mesmos de forma a avaliar e comparar com as peúgas que a empresa habitualmente comercializa. Para isso é necessário estudar os requisitos impostos pelas empresas, nomeadamente: boa estabilidade da malha, resistência à abrasão, boa respirabilidade, assim como uma boa. Para isso a realização de um controlo de qualidade torna-se fundamental, onde recorrendo a normas definidas pode-se obter esses mesmos dados.

A caracterização será feita através de certos testes de normas consoante o propósito definido pela empresa para as peúgas criadas. Posto isso e após uma discussão com os representantes da empresa foram definidos os testes a realizar (Duarte D. , 2023), (Domingues D. , 2021), apresentados na tabela 20.

Tabela 20-Parâmetros e normas de teste de caracterização efetuados para caracterização da malha reciclada.

Parâmetro	Norma
CEP	Procedimento interno
Massa por unidade de área	Determinação da massa por unidade de superfície em amostras de pequenas dimensões-NP EN 12127:1999
Espessura	Determinação da espessura de têxteis e produtos têxteis-NP EN ISO 5084:1999
Contextura	Determinação do número de colunas e fileiras NP EN 1049-2:1995
Formação de borboto e <i>pilling</i>	Determinação da resistência à abrasão de peúgas em Martindale-EN 13770
Permeabilidade ao ar	Determinação da permeabilidade dos tecidos ao ar NP EN ISO 9237 - 2005
Hidrofilidade	Procedimento Interno – Ângulo de contacto

As variáveis escolhidas para estudo no produto elaborado foram: a massa por unidade de superfície, a espessura da malha de forma a avaliar e comparar as peúgas habitualmente fabricadas, a contextura de forma a perceber o encolhimento da malha, o alongamento e elasticidade para obter valores mecânicos, a resistência à abrasão e resistência à lavagem doméstica, visto ser um produto de vestuário e ser alvo de forças de cisalhamento e compressão, a permeabilidade ao ar e a hidrofiliidade para avaliar a respirabilidade da meia.

3.10.1. Determinação da CEP da malha

Para a determinação da célula estrutural do ponto das amostras de malha foi apenas utilizada uma pinça e uma lupa de forma a facilitar a perceção e visualização. Esta determinação da CEP das amostras de malha foi realizada segundo um procedimento interno.

3.10.2. Determinação da massa por unidade de superfície

De forma a perceber qual a massa por unidade de superfície foi utilizada a norma NP EN 12127:1999- Determinação da massa por unidade de superfície em amostras de pequenas dimensões.

Para determinar a massa por unidade de superfície foi utilizado um aparelho designado por corta-amostra circulares da marca, *Karl Schroder KG*, onde foram cortadas 5 amostras circulares de 100 cm², para seguidamente serem pesadas, com recurso a uma balança analítica, e assim determinar a sua massa em amostras de 100 cm². Por fim através da seguinte equação é determinada a massa em gramas por metro quadrado.

$$M (g/m^2) = \frac{m (g) \times 100}{A (cm^2)} \quad (2)$$



Figura 65-Balança analítica digital. Acervo próprio.



Figura 64-Corta-amostras circulares. Acervo próprio.

3.10.3. Determinação da espessura de têxteis e produtos têxteis

Para determinar a espessura da malha elaborada foi utilizado um procedimento interno, porém a norma normalmente utilizada é a NP EN ISSO 5084:1999-Determinação da espessura de têxteis e produtos têxteis, mas não se realizou devido ao aparelho para realizar essa norma estar avariado.

O aparelho que se utilizou para foi um micrómetro analógico da marca *Mitutoyo* com escala de 0,01 milímetro e uma pressão do calcador de 9 Pascal. Neste ensaio foram realizadas 10 medições para cada amostra, realizada a media das 10 repetições para apresentação do valor final.



Figura 66-Micrómetro analítico da marca, Mitutoyo. Acervo próprio.

3.10.4. Determinação do número de colunas e fileiras

Seguindo a norma NP EN 1049-2:1995, foi determinada a contextura da amostra, sendo contabilizado o número de colunas e o número de fileiras. Para a execução deste ensaio recorreu-se a um conta-fios para assim determinar o número de colunas e fileiras em um centímetro. Perante isso foram analisadas todas as amostras de malha e verificado a variação entre elas.



Figura 67-Conta-fios. Acervo próprio.

3.10.5. Determinação da resistência à formação de borboto ou “pilling” (Método de martindale)

Para determinar a formação ao borboto foi utilizada a norma NP EN ISO 12945-2-Determinação da resistência à formação de borboto e de outras alterações da superfície de tecidos e malhas, por abrasão e caracteriza a degradação do aspeto da estrutura.

Para a realização do teste foi utilizado um aparelho designado por abrasímetro Martindale, provido de 4 cabeças de abrasão, da marca *Jestrite Woodfield Works*.

Começou-se por marcar 4 provetes de tecido com auxílio de um molde e cortar 5 mm além da margem do molde (o direito do tecido, ou malha, fica em contacto com a superfície abrasiva).

Ao fim de 1000 ciclos o ensaio foi interrompido comparando-se a superfície das amostras com fotos padrão, numa câmara de observação para determinar o grau de *pilling*. Realizou-se ao todo 5000 ciclos com pausas de 1000 em 1000 ciclos interromper o ensaio e atribuir o grau de *pilling* por comparação com as fotografias padrão colocando os 4 provetes na câmara de observação.

3.10.6. Determinação da permeabilidade ao ar (transferência de ar)

De forma a estudar a respirabilidade, foi realizada um teste à permeabilidade ao ar, o que representa a capacidade de transferências de ar através da estrutura têxtil.

A permeabilidade ao ar é quantificada através da aplicação de um fluxo de ar sob determinada pressão numa área específica, provocando assim a passar de ar através do substrato têxtil a ser analisado.

Para isso foi utilizada a norma NP EN ISO 9237: 1997, onde o procedimento consistiu em calibrar o aparelho, e de seguida realizar as medições em cada uma das amostras. O aparelho utilizado foi o TEXTEST FX 3300, com um diferencial de pressão de 100 Pascal e uma área de medição de 20 centímetros quadrados, com os resultados a ser apresentados em $l/cm^2/seg$.

Para cada amostra foram efetuadas 10 repetições sempre com as mesmas condições em diferentes locais da amostra, sendo o valor final a média dos valores das 10 repetições.



Figura 68-Aparelho de medição de permeabilidade ao ar, TEXTEST FX3300. Acervo próprio.

3.10.7. Determinação da hidrofiliidade da malha

De forma a determinar a hidrofiliidade das amostras de malha, recorreu-se ao ensaio da medição do ângulo de contacto através da utilização de um goniômetro da marca OCA 15 plus.

Este teste consistiu em depositar uma gota de água na superfície têxtil e avaliar o seu comportamento, mais concretamente verificar o ângulo originado quando a gota de água contacta com o têxtil. Para isso utiliza-se uma gota de 5 μl de água ultrapura sendo dispensada por uma seringa com agulha na ponta.

Inicialmente calibrou-se o equipamento e o ajuste dos parâmetros. Seguidamente, para cada amostra, foram depositadas 10 gotas ao longo da superfície. Com recurso a uma câmara efetua-se uma gravação desse momento de contacto, e retira-se o valor do ângulo formado, detendo assim o comportamento da superfície da malha analisada.



Figura 69-Goniômetro, OCA 15 plus. Acervo próprio.

4. Discussão de resultados

4.1. Espectros das amostras resultantes da análise do FTIR

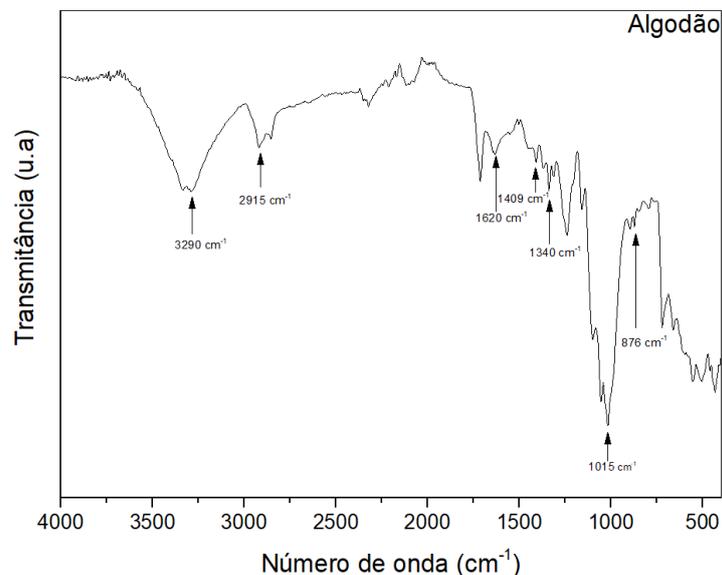


Figura 70-Espectro de FTIR em amostra de algodão. Acervo próprio.

100% Algodão

Segundo E. H. Portella et al. (2016), pela análise do espectro da figura 70 podemos denotar os picos correspondentes à fibra de algodão, sendo estes nos números de onda: 3290 cm^{-1} , 2915 cm^{-1} , 1620 cm^{-1} , 1409 cm^{-1} , 1340 cm^{-1} , 1015 cm^{-1} , 876 cm^{-1} , sendo estes correspondentes aos grupos funcionais apresentados na tabela 21, característicos do algodão.

Tabela 21-Números de onda e respectivos grupos funcionais do algodão

Número de onda (cm^{-1})	Grupo funcional	Tipo de vibração
3290	OH (grupo hidroxilo)	Elongação
2915	CH (grupo alceno)	Elongação
1620	Adsorção de água	
1409	CH_2 (grupo alceno)	Deformação
1340	CH_2 (grupo alceno, relativo aos anéis aromáticos)	Deformação
1015	CO (grupo éster)	Elongação
876	Presença de β -glicosidases em ligação à celulose	

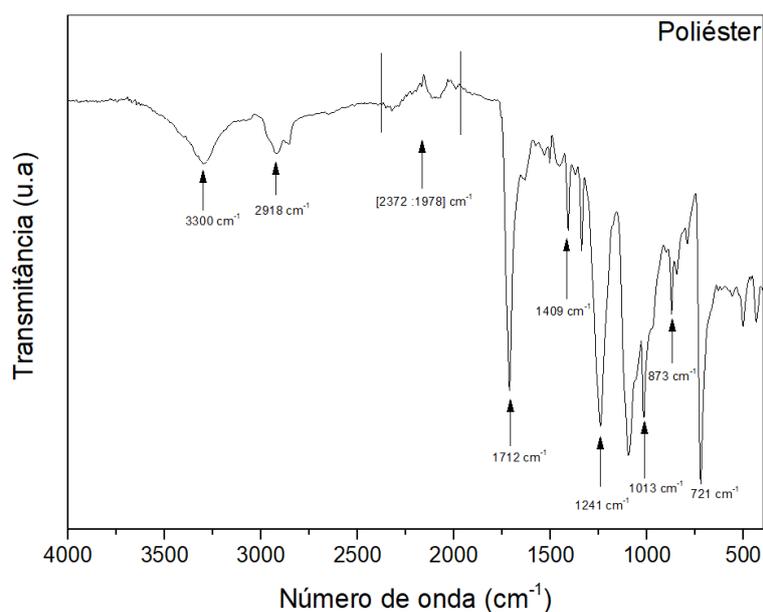


Figura 71-Espectro de FTIR em amostra de poliéster. Acervo próprio.

100% Poliéster

Segundo S. Bhattacharya e S. B. Chaudhari (2014), N. Koto e B. Soegijono (2019), pela análise do espectro da figura 71 podemos denotar os picos correspondentes à fibra de algodão, sendo estes nos números de onda: 3300 cm⁻¹, 2918 cm⁻¹, [2372:1978] cm⁻¹, 1712 cm⁻¹, 1409 cm⁻¹, 1241 cm⁻¹, 1013 cm⁻¹, 873 cm⁻¹, 721 cm⁻¹, sendo estes correspondentes aos grupos funcionais apresentados na tabela 22, característicos do poliéster.

Tabela 22-Números de onda e respetivos grupos funcionais do poliéster

Número de onda	Grupo funcional	Tipo de vibração
3300	OH (grupo álcool)	Elongação
2918	CH (grupo alceno)	Elongação
[2372:1978]	Problemas na leitura (possível adsorção de ruído)	
1712	CO (grupo éster, dupla ligação)	Elongação
1409	CC (grupo aromático, dupla ligação)	Elongação
1241	COC (grupo éter)	Elongação
1013	COC (grupo éter)	Elongação
873	CH (benzeno)	Elongação
721	CH (alceno)	Deformação

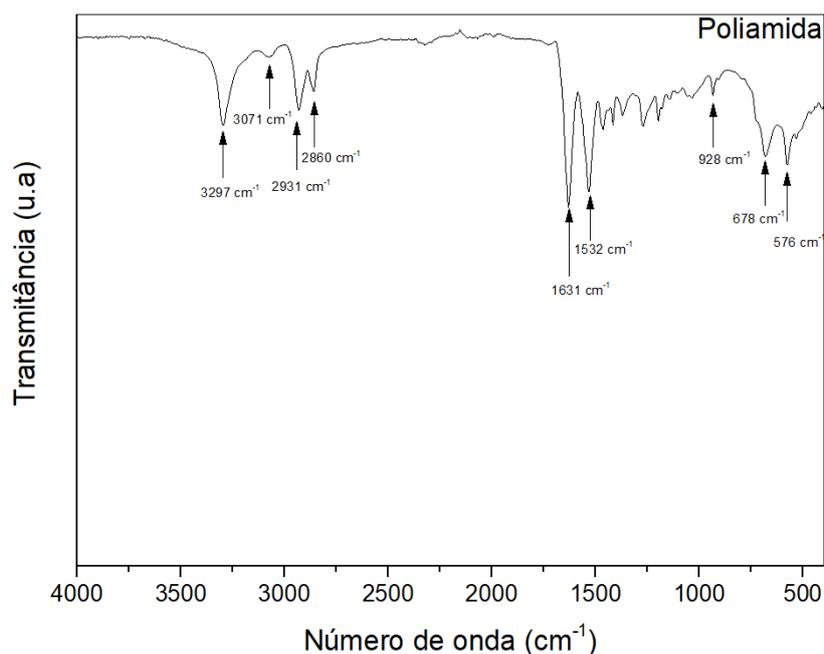


Figura 72-Espectro de FTIR em amostra de poliamida. Acervo próprio.

100% Poliamida

Segundo J. C. F. Aguilar et al. (2014) , N. Khorihha et al. (2020), pela análise do espectro da figura 72 podemos denotar os picos correspondentes à fibra de poliamida, sendo estes nos números de onda: 3297 cm^{-1} , 3071 cm^{-1} , 2931 cm^{-1} , 2860 cm^{-1} , 1631 cm^{-1} , 1532 cm^{-1} , 928 cm^{-1} , 678 cm^{-1} , sendo estes correspondentes aos grupos funcionais apresentados na tabela 23, caraterísticos da poliamida.

Tabela 23-Números de onda e respetivos grupos funcionais da poliamida.

Número de onda	Grupo funcional	Tipo de vibração
3297	NH (grupo amina)	Elongação
3071	CONH ₂ (ligação intramolecular entre o grupo amida e o grupo carbonilo)	Elongação
2931	CH (grupo alceno)	Elongação
2860	CH (grupo alceno)	Elongação
1631	CO (grupo carbonilo, dupla ligação)	Elongação
1532	CN e NH	Elongação e Deformação
928	CH (grupo alceno)	Deformação
678	CH (grupo alceno)	Deformação

4.2. Caracterização dos fios reciclados

4.2.1. Determinação da pilosidade e irregularidade do fio

Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 24.

Tabela 24-Resultados do teste de pilosidade aos fios de diferentes massas lineares.

Amostra	CV (%)	Pontos finos/km	Pontos grossos/km	Nepes/km (140%)	Nepes/km (200%)	Pilosidade
1-Fio de mistura 10Ne	11,66	0	2	326	21	2,91
2-Fios de mistura 15Ne	12,26	0	10	1439	163	2,74
3-Fio de mistura 20Ne	12,96	1	26	1690	302	3,14
4-Fio de filamento 10Ne	11,05	0	5	382	39	1,03
5-Fio de meias 10Ne	11,62	0	44	872	140	2,42

Tendo em conta:

- CV (%): Irregularidades do fio;
- Pontos finos: Diminuição da massa linear do fio em comparação ao valor médio em 50%. Isto pode ocorrer devido ao aparecimento de lixo no processo de fição;
- Pontos grossos: Aumento da massa linear do fio em comparação com o valor médio em 50%. Isto pode ocorrer devido a falta de força aplicada no processo de fição;
- Nepes: Variação severa da massa linear do fio numa pequena distância, igual ou superior a 100% do valor médio.

Pela análise da tabela 24, podemos aferir que o fio com menor pilosidade foi o fio de filamento de 10 Ne, enquanto o que obteve o pior resultado foi o fio de mistura de 20 Ne, tendo este comportamento se igualdo nas irregularidades do fio, cv.

Comparando a nível de massa linear, ou seja, os fios de mistura 10, 15, 20 Ne, é expectável que com a diminuição da massa linear surja também maior irregularidade do fio.

4.2.2. Determinação de coeficiente de atrito do fio

Os resultados obtidos neste teste estão apresentados na tabela 25.

Tabela 25-Coeficiente de atrito dos diferentes fios.

Minuto/Amostra de fio	Fio de mistura 10 Ne	Fio de mistura 15 Ne	Fio de mistura 20 Ne	Fio de filamento 10 Ne	Fio de meias de 10 Ne
3	[0,25-0,26]	[0,25-0,26]	[0,25-0,26]	[0,24-0,26]	[0,22-0,24]
4	[0,25-0,26]	[0,25-0,26]	[0,25-0,27]	[0,24-0,25]	[0,22-0,25]
5	[0,25-0,26]	[0,25-0,26]	[0,25-0,26]	[0,24-0,26]	[0,23-0,24]
6	[0,25-0,26]	[0,24-0,26]	[0,25-0,26]	[0,24-0,25]	[0,22-0,25]
7	[0,25-0,26]	[0,24-0,26]	[0,25-0,26]	[0,24-0,26]	[0,22-0,24]

Observação: O fio meia apesar que apresentar resultados a cada minuto praticamente iguais, sofreu muitas oscilações durante pequenos intervalos de tempo durante cada minuto de teste, isto possivelmente à presença de nepes no fio.

Relativamente ao teste de coeficiente de atrito do fio, o que se mostrou com menor índice de atrito foi o fio de meia de 10 Ne, pois apresentou o intervalo com menor coeficiente [0,22-0,24], enquanto o fio de mistura de 20 Ne e mistura de 10 Ne apresentou o intervalo com o maior coeficiente, [0,25-0,26].

A nível do aumento de massa linear, ou seja, amostra de fio mistura de 10, 15 e 20 Ne, podemos afirmar que não influenciou o coeficiente de atrito pois o intervalo de valores foi praticamente o mesmo.

A nível do tipo de resíduo, mantendo a massa linear igual em 10 Ne, podemos afirmar que o resíduo em meia apresentou o melhor intervalo de valores.

4.2.3. Determinação das propriedades mecânicas do fio

As tenacidades dos diferentes fios foram obtidas de forma teórica, recorrendo a equação 3.

$$Tenacidade = \frac{\text{Força de rotura (N)}}{\text{Massa por unidade de área (g/m}^2\text{)}} \quad (3)$$

Pela análise da tabela 26, conseguiu-se comparar as diferentes propriedades mecânicas dos fios, analisando a força de rotura, o alongamento e a tenacidade.

Tabela 26-Resultado do teste de propriedades mecânicas dos diferentes fios.

Amostra	Força de rotura (N)		Posição (mm)		Alongamento à rotura (%)		Tenacidade (N/Tex)
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	
Fio de mistura 10 Ne	6,58	0,375388	62,95	3,15723	12,59	0,631446	0,111
Fio de mistura 15 Ne	4,06	0,269733	50,41	3,445857	10,08	0,689141	0,103
Fio de mistura 20 Ne	3,04	0,27133	43,65	3,461849	8,74	0,69237	0,103
Fio de filamento 10 Ne	7,49	0,542937	61,00	3,61537	12,2	0,723074	0,127
Fio de meias 10 Ne	7,79	0,332452	62,95	1,64405	12,56	0,32881	0,132

Relativamente à força de rotura o fio que apresentou o menor valor foi o fio de mistura de 20 Ne, enquanto o fio de meia de 10 Ne apresentou o maior valor, sendo que o fio de filamento de 10 Ne também apresentou um valor muito idêntico. Relativamente à variação da massa linear, ou seja, os fios de mistura de 10, 15, 20 Ne, podemos verificar que com a diminuição da massa linear a força de rotura tende também a diminuir, algo espectável.

Relativamente ao alongamento à rotura, o fio de mistura 10 Ne, o fio de filamento 10 Ne e o fio de meia de 10 Ne apresentaram os melhores valores, quando o fio de mistura de 20 Ne apresentou o pior valor. Relativamente à variação da massa linear, ou seja, o fio de mistura de 10, 15, 20 Ne, a sua diminuição provocou também uma diminuição no alongamento.

Por fim, foi analisado o parâmetro de tenacidade pelos cinco tipos de fio, onde verifica-se que o fio com maior valor de tenacidade é o fio de meia 10 Ne, enquanto o fio de mistura de 20 Ne apresentou o valor mais baixo. Em comparação com os valores da tabela 8, presente no estado da arte, pode-se referir que os valores obtidos de tenacidade apresentam-se abaixo dos registados

na tabela, na fibra de algodão e poliéster, enquanto que os valores de alongamento estão muito próximos com os valores apresentados na tabela 8, referentes à fibra de poliéster.

4.3. Caracterização da meia de malha elaborada

4.3.1. Célula estrutural do ponto-CEP

O resultado da análise do debuxo coincidiu com a informação transmitida na empresa, apresentando a malha um derivado de *jersey*, mais concretamente felpa italiana na maior parte da meia, onde na zona do punho é utilizado um falso *rib*, como pode ser analisado pelas figuras 74 e 75.



Figura 74-Malha com estrutura de felpa italiana. Acervo próprio.



Figura 75-Malha com estrutura de falso rib. Acervo próprio.

4.3.2. Determinação da massa por unidade de superfície

Após determinada a massa por unidade de superfície de cada amostra de malha, obteve os resultados do teste apresentados na tabela 27.

Tabela 27-Massa por unidade de superfície das amostras de malha.

Amostra	Meia de controlo	Meia de fio de filamento 10 Ne	Meia de fio de mistura de 10 Ne	Meia de fio de mistura de 15 Ne	Meia de fio de mistura de 20 Ne	Meia de fio de meias de 10 Ne
Média (g/m^2)	323	321	326	249	209	319
Desvio Padrão (g/m^2)	10,3	1,07	2,12	1,55	6,96	4,76

Por análise aos resultados conclui-se que as amostras de filamento 10 Ne, mistura 10 Ne e meia 10 Ne obtiveram os valores mais próximos à amostra de controlo, porém as amostras de mistura 15 Ne e mistura 20 Ne obtiveram menor massa, algo coerente visto os fios apresentarem menor massa linear e os parâmetros de construção manterem-se iguais.

4.3.3. Determinação da espessura

A espessura foi determinada sendo apresentado os dados no valor médio e o desvio padrão.

Tabela 28-Espessura das amostras de malha.

Amostra	Meia de controlo	Meia de fio de filamento 10 Ne	Meia de fio de mistura de 10 Ne	Meia de fio de mistura de 15 Ne	Meia de fio de mistura de 20 Ne	Meia de fio de meias de 10 Ne
Média (mm)	1,53	1,54	1,56	1,17	0,99	1,46
Desvio Padrão (mm)	0,09	0,06	0,08	0,06	0,04	0,03

Pela análise dos valores obtidos apresentados na tabela 28 podemos referir que as amostras de filamento 10 Ne, mistura 10 Ne e meia 10 Ne obtiveram os valores mais próximos à amostra controlo, tendo as amostras de mistura 15 Ne e mistura 20 Ne valores mais baixos, algo coerente porque tal como no teste à massa por unidade de superfície estas amostras contém um fio com menor massa linear, influenciando assim a espessura.

4.3.4. Determinação da contextura

Os resultados do teste para determinação da contextura estão apresentados na tabela 29, estando referenciados o número de fileiras por centímetro e o número de colunas por centímetro.

Tabela 29-Resultado da medição da contextura das amostras de malha.

Amostra	Meia de controlo	Meia de fio de filamento 10 Ne	Meia de fio de mistura de 10 Ne	Meia de fio de mistura de 15 Ne	Meia de fio de mistura de 20 Ne	Meia de fio de meias de 10 Ne
Fileiras/cm	6	6	6	6	6	6
Colunas/cm	8	8	8	8	8	8

Os resultados da tabela 29 mostram que a contextura se mantém igual em todas as amostras, uma vez que os parâmetros de construção utilizados no tear foram os mesmos para todas as amostras.

4.3.5. Resistência à formação de borboto e *pilling*

O teste à formação de borboto e *pilling* foi analisado de forma manual, estando o resultado dessa análise apresentado na tabela 30.

Tabela 30-Resultado do teste ao pilling nas amostras de malha.

Número de ciclos	Meia de controlo	Meia de fio de filamento 10 Ne	Meia de fio de mistura de 10 Ne	Meia de fio de mistura de 15 Ne	Meia de fio de mistura de 20 Ne	Meia de fio de meias de 10 Ne
1000	5-4	4	4	4	4	4
2000	4	4	4	4	4	4
3000	4	4	4	4	4	4
4000	4-3	4	4	4	4	4
5000	3-2	4	4	4	4	4

Nessa mesma tabela 30 podemos verificar que em todas as amostras de malha reciclada a formação de borboto ou *pilling* foi praticamente nula, denotando-se assim que esta apresenta resistência à formação de borboto. Relativamente à amostra de controlo, aos 5000 ciclos já apareceu a formação de borboto e *pilling* de forma considerável.

4.3.6. Determinação da permeabilidade ao ar

O teste à permeabilidade ao ar foi realizado e calculada a média das repetições em cada amostra com o respetivo desvio padrão, como apresentado na tabela 31.

Tabela 31-Resultado da determinação da permeabilidade ao ar das amostras de malha.

Taxa de fluxo de ar	Meia de controlo	Meia de fio de filamento 10 Ne	Meia de fio de mistura de 10 Ne	Meia de fio de mistura de 15 Ne	Meia de fio de mistura de 20 Ne	Meia de fio de meias de 10 Ne
Média (l/cm²/seg)	1010	1480	1410	1660	2050	1500
Desvio Padrão (l/cm²/seg)	57,96	52,92	79,81	76,62	83,49	35,78

Pela análise a essa mesma tabela verificamos que todas as amostras de malha reciclada obtiveram um valor superior à amostra de controlo, demonstrando assim uma maior permeabilidade ao ar na malha reciclada, possivelmente devido a um menor grau de aperto. Relativamente à comparação das amostras de malha reciclado em si, é possível verificar que com a diminuição da massa linear do fio, a malha apresenta maior permeabilidade ao ar como se pode

verificar nas amostras de mistura 10 Ne, 15 Ne e 20 Ne, isto devido a um menor grau de aperto, resultado de um jogo de tear constante para diferentes massas lineares.

4.3.7. Determinação da hidrofiliidade-Ângulo de contacto

Para analisar a hidrofiliidade foi realizado a análise ao ângulo de contacto de cada amostra de malha. Os resultados ao teste estão apresentados na tabela 32 e na figura 76.

Tabela 32-Resultados do ângulo de contacto nas amostras de malha.

Amostra	Meia de controlo	Meia de fio de filamento 10 Ne	Meia de fio de mistura de 10 Ne	Meia de fio de mistura de 15 Ne	Meia de fio de mistura de 20 Ne	Meia de fio de meias de 10 Ne
Média (graus)	124	126	115	136	70	135
Desvio padrão (graus)	7,17	7,63	14,04	6,88	61,36	4,78

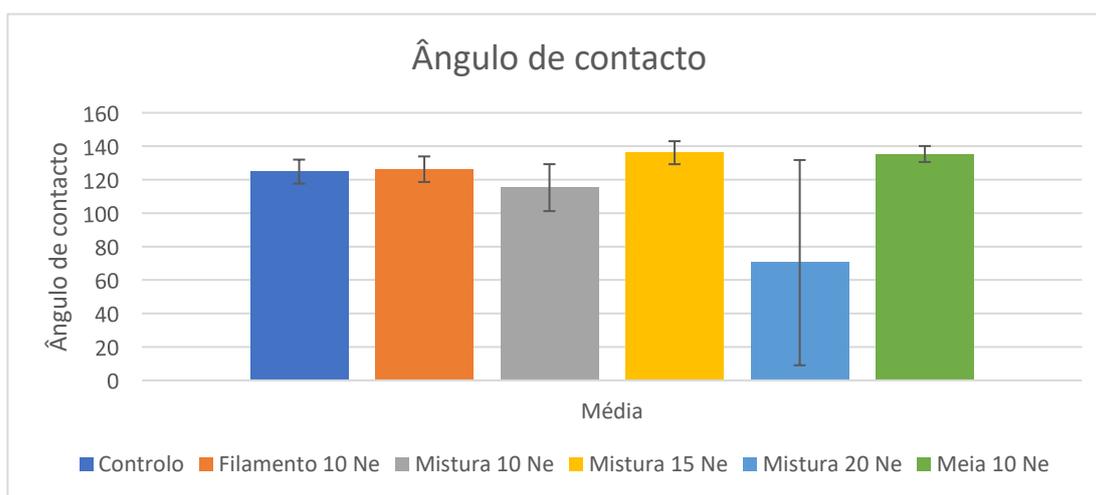


Figura 76-Gráfico dos resultados da análise do ângulo de contacto. Acervo próprio.

Perante os resultados ao teste da hidrofiliidade com o uso de ângulo de contacto verifica-se que apenas a amostra de malha de mistura de 20 Ne apresenta ângulo de contacto inferior a 90°, ou seja, um carácter hidrofílico, embora tenha apresentado um desvio padrão extremamente alto, existindo uma grande variação de resultados. Relativamente às outras amostras de malha estas apresentam todas ângulo de contacto superiores a 90° e inferiores a 150°, o que significa que apresentam carácter hidrofóbico.

4.4. Síntese final aos resultados obtidos

De forma a facilitar a diferenciação de resultados em comparação com os diferentes fios e meias desenvolvidas, elaborou-se duas matrizes de decisão, uma para os fios e outra para as meias, com uma escala de avaliação de 1 a 5.

Tabela 33-Matriz de decisão das propriedades dos fios reciclados desenvolvidos.

Fios reciclados	Fio de mistura de 10 Ne	Fio de mistura de 15 Ne	Fio de mistura de 20 Ne	Fio de filamento de 10 Ne	Fio de meias de 10 Ne
Pilosidade e irregularidade do fio	3	2	1	5	4
Coefficiente de atrito do fio	2	2	2	4	4
Tenacidade do fio	3	2	2	4	4
Total	8	6	5	<u>13</u>	12

Através da análise à matriz de decisão do fio verifica-se que o fio de filamento de 10 Ne teve a maior pontuação, o que poderá indicar que este será o mais indicado a ser utilizado apesar do fio de meias de 10 Ne também ter uma pontuação muito próximo demonstrando também ser uma boa opção.

Tabela 34-Matriz de decisão das propriedades dos meias recicladas desenvolvidas.

Meias recicladas	Meia de fio de filamento de 10 Ne	Meia de fio de mistura 10 Ne	Meia de fio de mistura de 15 Ne	Meia de fio de mistura de 20 Ne	Meia de fio de meias de 10 Ne
Massa por unidade de superfície	5	4	2	1	4
Espessura	5	5	2	1	4
Contextura	5	5	5	5	5
Resistência à formação de borboto	4	4	4	4	4
Permeabilidade de ao ar	3	3	2	1	3
Hidrofilidade	3	3	3	1	3
Total	<u>25</u>	24	18	13	23

Relativamente à matriz de decisão referente à avaliação das meias recicladas verificou-se que a meia com melhor pontuação foi a meia de fio de filamento de 10 Ne, no entanto a meia de fio de mistura de 10 Ne e a meia de fio de meia de 10 Ne também apresentaram boas pontuações, muito próxima à meia de filamento de 10 Ne. Isto pode indicar que o tipo de substrato de resíduo não teve muita influência visto não haver discrepância na variação da pontuação, o que não acontece na variação da massa linear dos fios reciclados utilizados onde se verificou uma diferença nas meias de fio de mistura de diferentes massas lineares.

5. Conclusão

Após toda a realização de todas as etapas do projeto, este mostrou-se eficaz pois cumpriu-se todos os objetivos previamente propostos conseguindo obter uma meia reciclada desejada com boas prospeções.

Todas as etapas de fabrico de substratos têxteis, assim como de caracterização, permitiu aprofundar mais o conhecimento sobre cada uma delas, como também adquirir experiências laborais e técnicas utilizadas na indústria, excluindo assim certas ideias teóricas que não coincidem com a realidade.

Relativamente aos substratos elaborados durante este projeto, pode-se afirmar que todos tiveram um resultado positivo, baseado nos resultados dos testes de caracterização das propriedades relacionadas.

Por fim, enfatizar o prazer da implementação prática desta ideia, especialmente porque ela surgiu do autor e do orientador de empresa, demonstrando que a reciclagem é possível na própria indústria.

Os resultados da caracterização dos substratos desenvolvidos obtiveram, em geral, resultados diferentes dos esperados, principalmente pela positiva.

Comparativamente aos fios desenvolvidos verificou-se diferenças com a variação do tipo de substrato utilizado e do tipo de massa linear escolhida, onde no teste à pilosidade do fio, o fio de filamento de 10 Ne obteve o menor valor de pilosidade, enquanto para o coeficiente de atrito de fio o que obteve o melhor resultado foi o fio de meia de 10 Ne, apesar de todos os fios apresentarem resultados muito idênticos. Por fim, no teste às propriedades mecânicas do fio, os melhores fios em geral foram os fios de filamento de 10 Ne e de meia de 10 Ne. Perante estes resultados pode-se concluir que o fio mais indicado a escolher será o fio de filamento de 10 Ne ou o fio de meia de 10 Ne.

O desenvolvimento de uma meia também foi um sucesso, pois a meia desenvolvida não obteve problemas no seu desenvolvimento e apresentou um aspeto agradável. Tal como no caso dos fios também foi realizada uma caracterização de forma a avaliar as diferentes meias desenvolvidas, considerando que apenas existiu a diferença no tipo de fio utilizado como variável em estudo.

Os resultados obtidos na caracterização das meias recicladas apresentaram propriedades adequadas à sua aplicação, demonstrando-se assim com capacidade de serem comercializadas. Um dos testes efetuados foi a determinação da massa por unidade de superfície, onde denotou-se que a meia com maior massa foi a meia de fio de mistura de 10 Ne, apresentando um valor muito próximo da meia de controlo, contrariamente à meia de fio de mistura de 20 Ne com a menor massa. Já nos valores de espessura medidos, a meia que apresentou o valor mais próximo da meia de controlo a meia de fio de filamento de 10 Ne, enquanto a meia de fio de mistura de 20 Ne apresentou a menor espessura e o valor mais distante à meia de controlo.

A contextura determinada nas meias foi exatamente igual para todas, algo já esperado uma vez que os parâmetros de construção foram sempre os mesmos. O teste à tendência de formação de borboto demonstrou que todas as meias desenvolvidas não apresentam tendência para formação de borboto ou *pilling*, obtendo melhores valores que a meia de controlo. A permeabilidade ao ar das meias foi medido e verificou-se que a meia com maior permeabilidade ao ar foi a meia de fio de mistura de 20 Ne, algo esperado visto ter a menor espessura e menor massa linear de fio, que considerando que os parâmetros de construção não foram alterados, levou a uma malha com maior abertura, por outro lado a meia com menor permeabilidade ao ar foi a meia de fio de filamento de 10 Ne, estando também mais próxima da meia de controlo.

Por fim foi estudado o carácter hidrofílico da meia recorrendo ao teste de ângulo de contacto, o que permitiu perceber que a meia com maior hidrofiliidade foi a meia de mistura de 20 Ne, enquanto a meia de fio de filamento de 10 Ne apresentou o valor mais próximo da meia de controlo. Este teste tinha como propriedade de maior influência a massa linear do fio utilizado na malha, pois com os parâmetros de construção iguais e a mesma composição para cada fio, o fio de menor massa linear provocou o desenvolvimento de uma malha com maior espaçamento entre laçadas, ou seja, menor contacto da gota com a malha.

5.1. Perspetivas Futuras

Futuramente este projeto terá como objetivo realizar as certificações aos fios e meias de malha desenvolvidas de forma a obter os rótulos ecológicos necessários para a comercialização do fio como um fio reciclado, e da meia como uma meia produzida a partir de malha reciclada. Para isso será necessário realizar um estudo da origem das matérias-primas que originaram os resíduos, estudar e testar o processo produtivo da empresa e do ciclo de produção até à malha

em contexto de sustentabilidade, ou seja, definir os desperdícios, os produtos químicos ou tóxicos, e os subprodutos originados durante o processamento da fabricação de meias.

Após a obtenção dos certificados dos materiais têxteis e estes cumprirem com os requisitos impostos no mercado pelos consumidores, irá se seguir para o aumento da produção e utilização de matéria-prima reciclada. Para esse aumento irá se recorrer a empresas/indústrias que originem resíduos do mesmo tipo ou idênticos de forma a incorporar no processo e assim desenvolver fibras recicladas em maior quantidade.

Um dos pontos que será sempre evolutivo e estará sempre a ocorrer é a otimização do processo da reciclagem desenvolvida de forma a cada vez mais se aumentar a percentagem de fibras recicladas no fio, e de fio reciclado das meias.

6. Referências Bibliográficas

- Aguilar, J. C., Moreno, M. J., Jurado, L. T., & Ramírez, H. B. (2014). Low pressure and low temperature synthesis of polyamide-6 (PA6) using NaO as catalyst. *Materials Letters*, *136*, 388-392. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2014.08.071>
- Aldrich, S. (26 de 10 de 2023). IR Spectrum Table & Chart. Darmstadt, Hesse, Alemanha. Obtido de <https://www.sigmaaldrich.com/PT/en/technical-documents/technical-article/analytical-chemistry/photometry-and-reflectometry/ir-spectrum-table>
- Al-Homoud, M. S. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*, *40*, 353-366. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.05.013>
- Almeida, E. B. (2010). *Fibras têxteis para reforço de estruturas*. Covilhã: Universidade da Beira Interior.
- Anicet, A., Bessa, P., & Broega, A. (2011). *Colagens têxteis : uma nova concepção de produtos sustentáveis para o design de moda*. Rio Grande do Sul. Obtido de https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/14659/1/colagens_texteis_um_a_nova_concepcao_de_produtos_sustentaveis_para_o_design_de_moda.pdf
- Araújo, M. d. (1988). *Manual das malhas de trama* (Vol. 1). Coimbra: Ministério da indústria e energia-Direção Geral da Indústria.
- Araújo, M. D., & Melo e Castro, E. M. (1986). *Manual de Engenharia Têxtil* (Vol. 1). Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Asdrubali, F., D'Alessandro, F., & Schiavoni, S. (2015). A review of unconventional sustainable building insulation materials. *Sustainable Materials and Technologies*, 1-17.
- Berardi, U., & Iannace, G. (2015). Acoustic characterization of natural fibers for sound absorption applications. *Building and Environment*, *94*, 840-852. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.05.029>
- Berardi, U., & Iannace, G. (2017). Predicting the sound absorption of natural materials: Best-fit inverse laws for the acoustic impedance and the propagation constant. *Applied Acoustics*, *115*, 131-138. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.08.012>
- Berthomieu, C., & Hienerwadel, R. (2009). Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. *Photosynthesis Research*, *101*, 157-170. Obtido de <https://doi.org/10.1007/s11120-009-9439-x>
- Bhattacharya, S., & Chaudhari, S. B. (2014). Study on structural, mechanical and functional properties of polyester silica nanocomposite fabric. *International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*, *21*, 43-52.
- Bonded, L. (18 de Janeiro de 2019). *Echo eliminator acoustic panels*. Obtido de Bonded Logic: <https://www.bondedlogic.com/echo-eliminator-acoustic-panels/>

- Broadbent, A. D. (2001). *Basic Principles of Textile Coloration*. Canada : Society of Dyers and Colourists. Obtido de <https://vdocuments.mx/basic-principles-of-textile-coloration.html?page=1>
- Brundtland , G. H. (1987). Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development. *NGO Committee on Education of the Conference of NGOs* (pp. 5-9). Oslo: Gathering a Body of Global Agreements.
- Caulfield, K. (Janeiro de 2009). *Discussion paper: Sources of textile waste in Australia*. Obtido de studylib: <https://studylib.net/doc/18791293/sources-of-textile-waste-in-australia>
- Chen, D., Lin, J., & Ren, J. (2010). Study on sound absorption property of ramie fiber reinforced poly (l-lactic acid) composites: morphology and properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , 41(4), 1012-1018. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2010.04.007>
- Chowdhury, S., Mukhopadhyay, A., & Sett, S. K. (2014). A study on the relation between hairiness index of Uster Tester 3 and hairiness values of Uster-Zweigle HI 400 Tester. *Indian Journal of Natural Fibres*, 99-111.
- Church, J. S., O'Neill, J. A., & Woodhead, A. L. (1999). A comparison of vibrational spectroscopic methods for analyzing wool/polyester textile blends. *Textile Research Journal*, 69(9), 676-684.
- Clark, M. (2011). *Handbook of Textile and Industrial Dyeing: Principles, Processes and Types of Dyes* (Vol. 1). Woodhead Publishing.
- Costa, M., Pires, C., Salvi, P. S., Firmino, F. M., & Campideli, A. (2015). *Manual Técnico Têxtil e Vestuário: fios têxteis*. SENAI.
- das Neves, A. C. (2021). *Estudo da influência das variáveis envolvidas*. Guimarães: Universidade do Minho.
- de Cristo , F. F. (2005). *A influência da Estrutura e da Cor na Protecção de Malhas aos Raios Ultravioletas*. Guimarães: Universidade do Minho.
- de Jesus, C. I. (2009). *Gestão de Resíduos do Lavadouro Industrial de Lãs Têxtil Manuel Rodrigues Tavares, S.A*. Castelo Branco .
- del Rey, R., Bertó, L., Alba , J., & Arenas, J. P. (2015). Acoustic characterization of recycled textile materials used as core elements in noise barriers. *Noise Control Engineering Journal*, 63, 439-447(9). Obtido de <https://doi.org/10.3397/1/376339>
- Deopura, B. L., & Padaki, N. V. (2015). Chapter 5-Synthetic Textile Fibres: Polyamide, Polyester and Aramid Fibres. *Textiles and Fashion-Materials, Design and Technology in Textiles*, 97-114. Obtido de <https://doi.org/10.1016/B978-1-84569-931-4.00005-2>
- Dissanayake, D., Weerasinghe, D., & Wijes, K. (2018). Developing a compression moulded thermal insulation panel using postindustrial textile waste. *Waste Management*, 79, 356-361. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.001>

- do Amaral, C. M., Zonatti, F. W., da Silva, L. K., Junior, K. D., Neto, A. J., & Ramos, B. J. (2018). Industrial textile recycling and reuse in Brazil: case study and considerations concerning the circular economy. *Gestão e Produção*, 25, 431-443. Obtido de <https://doi.org/10.1590/0104-530X3305>
- Domingues, D. (2021). *Âmbito flexível da acreditação*. Vila Nova de Gaia: Instituto Português de Acreditação.
- Domingues, S. H. (2020). *Valorização do Desperdício Têxtil: Desenvolvimento de uma prática metodológica para promover a reutilização e reciclagem*. Lisboa: Universidade de Lisboa, Faculdade de Arquitetura. Obtido de <http://hdl.handle.net/10400.5/20517>
- D'Orsi, R., Canale, V. C., Cancelliere, R., Omar, O. H., Mazzuca, C., Micheli, L., & Operamolla, A. (2023). Tailoring the chemical structure of cellulose nanocrystals by amine functionalization. *European Journal of Organic Chemistry*, 26(11), 52-60.
- Drochytka, R., Dvorakova, M., & Hodna, J. (2017). Performance Evaluation and Research of Alternative Thermal Insulation Based on Waste Polyester Fibers. *Procedia Engineering*, 195, 236-243. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.549>
- Duarte, D. (5 de Março de 2023). Instituto Português de Acreditação. Lugar da Terça Avenida, Castelo Branco, Portugal. Obtido de http://www.ipac.pt/pesquisa/ficha_lae.asp?ID=L0080
- Duarte, L. d., Moreira, C. d., Pinto, P. C., & de Lima, G. M. (2012). *Desenvolvimento de compósitos sustentáveis à base de resíduos têxteis*. São Luís-Maranhão: ABCM.
- Echeverria, C. A., Handoko, W., Pahlevani, F., & Sahajwalla, V. (2017). Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications. Em *Journal of Cleaner Production*.
- Echeverria, C. A., Handoko, W., Pahlevani, F., & Sahajwalla, V. (Janeiro de 2019). Cascading use of textile waste for the advancement of fibre reinforced composites for building applications. *Journal of Cleaner Production*, 208, 1524-1536. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.227>
- Eiroa, B. S., Fernández, E., Martínez, G. M., & Oñate, D. S. (Março de 2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of Cleaner Production*, 214, 952-961. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.271>
- Factori, I. M. (2009). *Processamento e propriedade de compósitos de poliamida 6.6 reforçada com partículas de vidro reciclado*. Universidade de São Paulo. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- Ferreira, L. F. (2018). *Desenvolvimento de métodos instrumentais de análise aplicado à indústria das resinas naturais*. Braga: Universidade do Minho.

- Ferreira, R. A. (2010). *Comportamento acústico de componentes da construção à base de aglomerado de fibras de madeira e cimento*. Porto: FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO.
- Geetharani, S., & Kumar, S. S. (2020). Development of socks using recycled fabrics. *International Journal of Research in Engineering, Science and Management*, 3(5), 2581-5792.
- Gonzalo, M., Espersen, R., Al-Soud, W. A., Falco, F. C., Hagglund, P., Sorensen, S. J., . . . Jacquiod, S. (2020). Azo dyeing of alpha-keratin material improves microbial keratinase screening and standardization. *Microbial Biotechnology*, 13, 984-996. Obtido de <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13541>
- Guerrero-Pérez, M. O., & Patience, G. S. (2019). Experimental methods in chemical engineering: Fourier transform infrared spectroscopy-FTIR. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 25-33. Obtido de <https://doi.org/10.1002/cjce.23664>
- Gun, A. D., Akturk, H. N., Macit, A. S., & Alan, G. (2014). Dimensional and physical properties of socks made from reclaimed fibre. *The Journal of The Textile Institute*, 105(10), 1754-2340. Obtido de <https://doi.org/10.1080/00405000.2013.876152>
- Islam, S., & Bhat, G. (2019). Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles. *Journal of Environmental Management*, 251. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109536>
- Jurado, A. J., Molina, M. G., Rodriguez, F. P., & Somovilla, V. O. (2008). Near infrared applications in the quality control of seed cotton. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 421-429.
- Khoriha, N., Khor, E. M., Salmiati, S., Hadibarata, T., & Yusop, Z. (2020). A combination of waste biomass activated carbon and nylon nanofiber for removal of triclosan from aqueous solutions. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 8, 1036-1045.
- Koto, N., & Soegijono, B. (2019). Effect of rice husk ash filler of resistance against of high speed projectile impact on polyester fiberglass double panel composites. *Journal of Physics Conference Series*, 1191, 1-7.
- Küçük, M., & Korkmaz, Y. (2012). The effect of physical parameters on sound absorption properties of natural fiber mixed nonwoven composites. *Textile Research Journal*, 82, 2043-2053. Obtido de <https://doi.org/10.1177/0040517512441987>
- Leite, J. G. (2008). *Aplicação das Técnicas de Espectroscopia FTIR e de Micro Espectroscopia Confocal Raman à Preservação do Património*. Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Lin, J. H., Li, T. T., & Lo, C. W. (2016). Puncture-resisting, sound-absorbing and thermal-insulating properties of polypropylene-selvages reinforced composite nonwovens. *Journal of Industrial Textiles*, 45, 1477-1489. Obtido de <https://doi.org/10.1177/1528083714562088>

- Liu, Z., Li, W., & Wei, Z. (2020). Qualitative classification of waste textiles based on near infrared spectroscopy and the convolutional network. *Textile Research Journal*, 1057-1066. Obtido de <https://doi.org/10.1177/0040517519886032>
- Lombard, L. P., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and Buildings*, 40, 394-398. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>
- Lord, P. R. (2003). *Handbook of Yarn Production: Technology, Science and Economics* (1 ed.). Raleigh, Carolina do Norte, Estados Unidos: Woodhead Publishing.
- McDonough, W., & Braungart, M. (2010). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. New York: North Point Press.
- Meggers, F., Leibundgut, H., Kennedy, S., Qin, M., Schlaich, M., Sobek, W., & Shukuya, M. (2012). Reduce CO2 from buildings with technology to zero emissions. *Sustainable Cities and Society*, 2, 29-36. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.10.001>
- Mishra, R., Behera, B., & Militky, J. (2014). Recycling of Textile Waste Into Green Composites: Performance Characterization. *Polymer Composites*, 35, 1960-1967. Obtido de <https://doi.org/10.1002/pc.22855>
- Morton, W. E., & Hearle, J. W. (2008). *Physical properties of textile fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing.
- Navone, L., Moffitt, K., Hansen, K. A., Blinco, J., Payne, A., & Speight, R. (2020). Closing the textile loop: Enzymatic fibre separation and recycling of wool/polyester fabric blends. *Waste Management*, 102, 149-160. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.026>
- Needles, H. L. (1986). *Textile Fibers, Dyes, Finishes and Processes*. New Jersey: Noyes Publications.
- Neves, S. F., Campos, J., & Mayor, T. S. (2017). Effects of clothing and fibres properties on the heat and mass transport, for different body heat/sweat releases. *Applied Thermal Engineering*, 117, 109-121.
- Nunes, B. M. (2008). *Funcionalização de superfícies de silício por radiação laser e implantação iônica: Estudo da molhabilidade*. Lisboa: Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa.
- Oldham, D. J., Egan, C. A., & Cookson, R. D. (2011). Sustainable acoustic absorbers from the biomass. *Applied Acoustics*, 72, 350-363. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2010.12.009>
- Parikh, D. V., Sachinvala, N. D., Chen, Y., Sun, L., Bhat, G., & Ramkumar, S. (2006). Acoustic properties of environmentally benign automotive natural fiber composites. *Aatcc Review*, 6, 43-48.
- Patnaik, A., Mvubu, M., Muniyasamy, S., Botha, A., & Anandjiwala, R. D. (2015). Thermal and sound insulation materials from waste wool and recycled polyester fibers and their

- biodegradation studies. *Energy and Buildings*, 92, 161-169. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.01.056>
- Paul, S. A., Boudenne, A., Ibos, L., Candau, Y., Joseph, K., & Thomas, S. (2008). Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 39, 1582-1588. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2008.06.004>
- Pelanne, C. M. (1977). Heat flow principles in thermal insulations. *Journal of Buildings Physics*, 1, 48-80. Obtido de <https://doi.org/10.1177/109719637700100104>
- Pennachio, R., Savio, L., Bosia, D., Thiebat, F., Piccablotto, G., Patrucco, A., & Fantucci, S. (2017). Fitness: sheep-wool and hemp sustainable insulation panels. *Energy Procedia*, 111, 287-297. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.030>
- Pereira, G. d. (2008). *Introdução à tecnologia têxtil*. Araranguá: Centro Federal de Educação Tecnológico de Santa Catarina.
- Pinto, C. d. (2022). *Avaliação do Ciclo de Vida de uma malha com base em algodão convencional versus algodão reciclado e comparação das suas características de qualidade*. Guimarães: Universidade do Minho.
- Pinto, C. M. (2019). *Melhoria das propriedades do poliéster através da funcionalização com poli(álcool de vinilo)*. Guimarães: Universidade do Minho.
- Portella, E. H., Romanzini, D., Angrizani, C., Amico, S. C., & Zattera, A. J. (2016). Influence of stacking sequence on the mechanical and dynamic mechanical properties of cotton/glass fiber reinforced polyester composites. *Materials Research*, 19. Obtido de <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2016-0058>
- Radush, H. J., Stolp, M., & Androsch, R. (1994). Structure and temperature-induced structural changes of various polyamides. *Polymer*, 35(16), 3568-3571. Obtido de [https://doi.org/10.1016/0032-3861\(94\)90926-1](https://doi.org/10.1016/0032-3861(94)90926-1)
- Rani, S., & Jamal, Z. (2018). Recycling of textiles waste for environmental protection. *International Journal of Home Science*, 4(1), 164-168.
- Rlba, J. R., Cantero, R., Canals, T., & Puig, R. (2022). Circular economy of post-consumer textile waste: Classification through infrared spectroscopy. *Polymers*, 14. Obtido de <https://doi.org/10.3390/polym14122475>
- Rocha, A. I. (2016). *Desenvolvimento de formulações poliméricas ecossustentáveis para tratamento de superfícies*. Guimarães: Universidade do Minho.
- Rodrigues, M. O. (2023). *Análise de características básicas de fio têxtil recorrendo a técnicas de processamento de imagem*. Guimarães: Universidade do Minho.
- Rosa, P., Sassanelli, C., & Terzi, S. (2019). Towards circular business models: A systematic literature review on classification frameworks and archetypes. *Journal of cleaner production*, 236. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.clepro.2019.117696>

- Sá, A. B., Nascimento, D., Teixeira, N., Pinto, J., Caldeira, F., Varum, H., & Paiva, A. (2013). Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution. *Construction and Building Materials*, *38*, 155-160. Obtido de URI: <http://hdl.handle.net/10773/9607>
- Seddeq, H. S., Aly, N. M., Marwa, A., & Elshakankery, M. H. (2013). Investigation on sound absorption properties for recycled fibrous materials. *Journal of Industrial Textiles*, *43*, 3-152. Obtido de <https://doi.org/10.1177/1528083712446956>
- Souza, F. A. (2018). *Concepção de um fio com baixa massa linear utilizando algodão brasileiro*. Guimarães: Universidade do Minho.
- Syntech Fibres. (2013). *Properties of Polypropylene Fibres*. Obtido em Janeiro de 2023, de Syntech Fibres: <https://syntechfibres.com/polypropylene/properties-of-polypropylene-fibres/>
- T. Koizumi, N. T. (2002). The development of sound absorbing materials using natural bamboo fibers. *WIT Transactions of The Built Environment*, *59*, 157-166. doi:10.2495/HPS020161
- team, Circle Textiles. (2016). *Circle Textiles: Closing The Loop For Workwear*. Circle Economy.
- Tiuc, A. E., Vermesan, H., Gabor, T., & Vasile, O. (2016). Improved sound absorption properties of polyurethane foam mixed with textile waste. *Energy Procedia*, *85*, 559-565. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.12.245>
- Trajković, D., Jordeva, S., Tomovska, E., & Zafirova, K. (2016). Polyester apparel cutting waste as insulation material. *The Journal of The Textile Institute*, *108*, 1238-1245. Obtido de <https://doi.org/10.1080/00405000.2016.1237335>
- Turrillas, F., & de la Guardia, M. (2017). Environmental impact of Recover cotton in textile industry. *Resources, Conservation and Recycling*, *116*, 107-115. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.09.034>
- Vadicherla, T., & Saravanan, D. (2014). Textiles and apparel development using recycled and reclaimed fibers. *Roadmap to Sustainable Textiles and Clothing*, 139-160.
- Valverde, I. C., Castilla, L. H., Nuñez, D. F., & Ro, E. (2012). Development of New Insulation Panels Based on Textile Recycled Fibers. *Waste and Biomass Valorization*, *4*, 139-146. doi:10.1007/s12649-012-9124-8
- Vasconcelos, R. M. (1993). *Contribuição à aplicação de técnicas de inteligência artificial na tecnologia de fiação*. Guimarães: Univeridade do Minho.
- Velicko, A. J., Amrginski, R. L., & Hemkemeier, M. (2020). Alternativas de reutilização de resíduos têxteis. *Research, Society and Development*, *9*(11). Obtido de <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i11.10613>
- Wazna, M. E., Fatihi, M. E., Bouari, A. E., & Cherkaoui, O. (2017). Thermo physical characterization of sustainable insulation materials made from textile waste. *Journal of Building Engineering*, *12*, 196-201. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2017.06.008>

- Woo, S. S., Shalev, I., & Barker, R. (1994). Heat and Moisture Transfer Through Nonwoven Fabrics. *Textile Research Journal*, 64(3). Obtido de <https://doi.org/10.1177/004051759406400305>
- Yang, Z., Cai, L., Han, L., Fan, X., & Liu, X. (2021). Review of standards for near infrared spectroscopy methods. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 313-320. Obtido de <https://doi.org/10.1177/09670335211042016>
- Yokura, H., Sukigara, S., & Fujimoto, T. (2007). Thickness Changes in Recycled Fiber Assemblies Made from Industrial Waste of Sweater Products after Repeated Compression. *Journal of Textile Engineering*, 53(4), 131-135. Obtido de <https://doi.org/10.4188/jte.53.131>
- Zach, J., Korjenic, A., Petránek, V., & Peterková, J. (2012). Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. *Energy and Buildings*, 49, 246-253. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.02.014>
- Zille, A. (20 de Maio de 2023). Técnicas de caracterização físico-química de têxteis. Guimarães, Braga, Portugal. Obtido de https://elearning.uminho.pt/webapps/blackboard/execute/content/file?cmd=view&content_id=_1294375_1&course_id=_53207_1
- Zonatti, W. F. (2016). *Geração de resíduos sólidos da indústria brasileira têxtil e de confecção: materiais e processos pra reuso e reciclagem*. Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Zou, N. Y. (2008). Thermal Insulation Materials for Wall and Roof. *Chemical Industry Publish House*.
- Zou, Y., Reddy, N., & Yang, Y. (2011). Reusing polyester/cotton blend fabrics for composites. *Composites Part B: Engineering*, 42(4), 763-770. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2011.01.022>