

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**Estudo sobre a Reciclagem de fibras têxteis**

**Ian Hideyuki Fugitani Sato**

**SÃO CARLOS -SP**

**2021**

# **Estudo sobre a Reciclagem de fibras têxteis**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais da Universidade Federal de São Carlos, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Professor Carlos Scuraccio

São Carlos-SP

[2021]



## ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO (TCC)

**NOME:** Ian Hideyuki Fugitani Sato

**RA:** 627518

**TÍTULO:** Estudo sobre a reciclagem de fibras têxteis

**ORIENTADOR(A):** Prof. Dr. Carlos Henrique Scuracchio

**CO-ORIENTADOR(A):**

**DATA/HORÁRIO:** 22/02/2022 às 14:00

### BANCA – NOTAS:

	Monografia	Defesa
Prof. Dr. Carlos Henrique Scuracchio	6,0	6,0
Prof. Dr. José Augusto Marcondes Agnelli	6,0	6,0
<b>Média</b>	6,0	6,0

Certifico que a defesa de monografia de TCC realizou-se com a participação a distância dos membros Prof. Dr. Carlos Henrique Scuracchio e Prof. Dr. José Augusto Marcondes Agnelli e depois das arguições e deliberações realizadas, os participantes à distância estão de acordo com as informações redigidas nesta ata de defesa.

Prof. Dr. Carlos Henrique Scuracchio

## **AGRADECIMENTO**

Obrigado aos professores do Departamento de Engenharia de Materiais da UFSCar em especial o professor Carlos Scuracchio por me ajudar nesse trabalho de conclusão de curso, agradeço também aos meus pais por proporcionar essa e experiência e final aos meus colegas de cursos em especial ao meu bom amigo João Otavio Prado por me acompanhar nesse curso.

## RESUMO

A fim de transformar a indústria têxtil em algo sustentável deve ser estudado a origem e a produção. Além disso é esperado que haja uma maior importância dos produtos reciclados no futuro, visto que há preocupação com relação à escassez de matéria prima que vem se tornado um tema recorrente nos últimos tempos. A reciclagem de fibras têxteis ainda está no começo e ainda vai enfrentar vários desafios para se consolidar e se tornar uma prática recorrente. Com o intuito de somar, esse trabalho compila conhecimento que ajuda a reciclagem têxteis, sendo uns dos pontos abordados a classificação de fibras sugerindo que as fibras sejam separadas de acordo com as suas características químicas e não sua origem se aproximando como a reciclagem de polímeros é feita. Também abordamos alguns problemas já enfrentados na reciclagem de têxteis como as fibras mistas e estudamos métodos novos que estão sendo pouco a pouco desenvolvidos como a degradação biológica. E discutimos de forma breve como a reciclagem de fibras têxteis está no Brasil. Concluímos com base nos autores usados com referência que se trata de uma atividade com grande potencial e que vem se mostrando grande importância econômica e ambiental.

**Palavras-chave:** Tecido, Reciclagem, Moda Circular, Sustentabilidade, Processos Enzimáticos

## **ABSTRACT**

In order to transform the textile industry into something sustainable, the origin and production must be studied, and in addition, it is expected that there will be a greater importance of recycled products in the future, since there is concern about the scarcity of raw material that has become a recurring theme in recent times. Recycling textile fibers is still in its infancy and will still face several challenges to consolidate and become a recurrent practice. In order to add, this work compiles knowledge that helps textile recycling, being one of the points addressed the classification of fibers suggesting that the fibers are separated aiming at their chemical characteristics and not their origin approaching how the recycling of polymers is done. We also address some problems already faced in textile recycling such as mixed fibers and study new methods that are being developed little by little, such as biological degradation. And we briefly discussed how textile fiber recycling is in Brazil. Based on the authors used with reference, we conclude that it is an activity with great potential and that has been showing great economic and environmental importance.

Keyword: Textile, Recycling, Circular fashion, Sustainability, Enzymatic processes.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 ESQUEMA DA ROTA LINEAR DE MODA. ....	9
FIGURA 2 ESQUEMA DA ROTA CIRCULAR DE MODA. ....	10

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 CLASSIFICAÇÃO DA RECICLAGEM DE TÊXTEIS E MÉTODOS DE RECICLAGEM CORRESPONDENTES .....	9
TABELA 2 CLASSIFICAÇÃO DAS FIBRAS TÊXTEIS COM BASE NAS LIGAÇÕES DENTRO DAS CADEIAS DO POLÍMERO. ....	12
TABELA 3 VIABILIDADE DOS PROCESSOS ESTUDADOS PARA CADA POLÍMERO .....	22

## LISTA DE ABREVIATURAS

A.S.T.M. - Sociedade Americana de Testes e Materiais

CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

PET Politereftalato de etileno

rPET Politereftalato de etileno reciclado

PA6 Poliamida 6

GHG Greenhouse gas

PE Polietileno

PP Polipropileno

## Sumário

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
<b>2.1 FIBRAS TÊXTEIS</b> .....	3
<b>2.2 RECICLAGEM DAS FIBRAS TÊXTEIS</b> .....	4
2.2.1. Reciclagem mecânica .....	4
2.2.2. Reciclagem química .....	4
2.2.3. Reciclagem energética.....	5
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	6
<b>4 RESULTADOS</b> .....	7
4.1 Classificação de fibras têxteis.....	7
4.2. Categorização de métodos de reciclagem têxteis.....	8
4.3 Moda linear e moda circular e desafios para o abastecimento de cadeias circulares ..	9
4.3.1. Separação de misturas têxteis .....	10
4.3.2. Separação de aditivos e acabamentos.....	10
4.3.3. Restaurar a qualidade .....	11
4.3.4. Reciclagem em uma estrutura sustentável.....	11
<b>5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b> .....	12
5.1. Reciclagem de polímeros .....	12
5.1.1 Celulose .....	12
5.1.2. Poliéster .....	15
5.1.3. Poliamida .....	16
5.4.4. Poliuretano.....	17
5.1.5. Poliolefina .....	18
5.1.6. Fibras Acrílicas.....	19
5.2. Processo de reciclagem biológica para resíduos têxteis.....	19
5.2.1. Decomposição biológica .....	19
5.2.2. Despolimerização enzimática.....	20

5.2.3. Fermentação.....	21
5.3. Avaliação de viabilidade e mudança sistêmica .....	21
5.4. Avaliação de viabilidade brasileira .....	23
<b>6 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>25</b>
Referências.....	27

## 1 INTRODUÇÃO

Um problema que ainda não foi tão abordado é degradação que a indústria da moda promove, já que hoje em dia é incentivado que se compre mais e mais vestimentas novas e as roupas antigas sejam descartadas por estarem obsoletas ou fora de moda. Isso define o *fast-fashion* que vem se tornando um problema ambiental visto que a maioria das roupas são descartadas em lixões ou aterros.

Um conceito que vem para tentar contornar esse problema é a moda circular que tem como base uma economia em *looping* mantendo os produtos dentro de uma cadeia controlada sendo mais sustentável, ou seja, melhor ao meio ambiente e possivelmente arrecadando mais aos interessados no segmento.

Vemos muitas campanhas para reutilização de roupas, como campanhas de doação, mas isso vem se mostrando pouco eficaz para reduzir o desperdício têxtil e o tema da escassez de recursos que no caso dos têxteis são não renováveis na maioria das vezes.

O Brasil é o quarto maior produtor de produtos têxteis do mundo e o quinto no segmento de Produção de vestuário (Amaral, et al., 2016). É autossuficiente na produção de algodão e considerada referência mundial em moda praiana, jeans e têxteis-lar, produzindo 9,04 bilhões de peças por ano (2021). O valor de indústria têxtil e produção de manufatura em 2018 foi de R \$ 185,7 bilhões. Ela está presente em todos os estados brasileiros, sendo o segundo maior empregador no segmento da indústria de transformação brasileira. O consumo da fibra do algodão é predominante no Brasil, com cerca de 84% do consumo total de fibras, ou 1,042 milhão de toneladas, seguidas de artificiais e compostos sintéticos (13%) e outras fibras naturais (3%) (Amaral, et al., 2016). O Brasil é o terceiro maior exportador de algodão, o quinto maior consumidor e o primeiro em produtividade em terras não irrigadas (terra cultivada com baixa pluviosidade) com um volume médio cerca de 1,7 milhão de toneladas de pluma de algodão por safra, o que coloca o Brasil entre os cinco maiores produtores, ao lado de países como China, Índia, EUA e Paquistão. (Amaral, et al., 2016) A indústria têxtil como qualquer outra produz resíduos devido a atividade industrial que é desenvolvida, como recipientes, cones de plástico, óleo lubrificante, fibras não processadas, papel, papelão, lama, sucata e trapos, entre outros.

Como foi pesquisado por (Amaral, et al., 2016), no Brasil existem empresas que já fazem a reciclagem de têxtil e todas de forma mecânica ou de forma química sendo que todas reciclam os resíduos pós-industrial e algumas se propõem a reciclar resíduos pós-consumo, sendo um impedimento de fazer tal ato se fosse garantido condições controladas de limpeza e ausência de quaisquer aparas de metal ou plástico, o que poderia causar danos ao maquinário e também o custo da logística para desenvolver tal processo.

Dentro deste contexto, o presente trabalho de conclusão de curso está estruturado da seguinte forma: na seção 2 REVISÃO DE LITERATURA que apresenta uma visão geral da literatura; seção 3 MATERIAIS E MÉTODOS que descreve o método da pesquisa; seção 4 RESULTADOS apresenta os resultados da pesquisa; seção 5 DISCUSSÃO DE RESULTADOS por fim a seção 6 CONCLUSÃO.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 FIBRAS TÊXTEIS

As fibras têxteis são materiais que em grande maioria estão em formatos filiformes, ou seja, em forma de fios que tem como características serem flexíveis, finos e grande comprimento se comparados com sua dimensão transversal, que os fazem perfeitos para tecer e constituírem produtos têxteis. Elas podem ser de origem natural, artificial ou sintética que mais para frente será abordado que não seria a melhor classificação pensando em reciclagem.

Elas são definidas de forma genérica como os elementos que formam peças têxteis. Seguindo a norma ASTM D123-19, as fibras têxteis são caracterizadas por terem um comprimento 100 vezes maior com relação ao diâmetro. (KUASNE, 2008)

As fibras podem ser fabricadas de várias formas, sendo de origem animal como a lã e a seda; ou também vindas de plantas como o algodão, as fibras cânhamo, e também o linho; e também podem ser de origem mineral como crisólita e fibra de basalto. Todos esses tipos de fibras são de origem natural. Há também as fibras de origem sintética que em sua grande maioria são provenientes do petróleo, e como exemplo temos as fibras sintéticas como a poliamida, as fibras acrílicas e as fibras de poliéster saturado, como o PET.

As fibras podem ser apresentadas sob três formas distintas, destinadas a usos também distintos: monofilamento, que, como o próprio nome indica, que é um único filamento contínuo; multifilamento, que é a união de pelo menos dois monofilamentos contínuos, unidos paralelamente por torção; e fibra cortada, que é o resultado do seccionamento, em tamanhos determinados, de um grande feixe de filamentos contínuos. A fibra cortada pode ser fiada nos mesmos filatórios utilizados para fiar algodão e, além disso, se presta à mistura com as fibras naturais já na fiação, permitindo a mistura de fibras distintas, ou seja, os fios mistos produzidos adquirem uma mescla das características de resistência e durabilidade das fibras químicas e do toque e conforto das fibras naturais. (Luiz Lauro Romero, 1995)

## 2.2 RECICLAGEM DAS FIBRAS TÊXTEIS

A preocupação com o meio ambiente tem sido uma crescente preocupação mundial visto que a exploração dos recursos naturais desenfreados tem causado danos ao nosso planeta de várias formas além do eminente esgotamento dos recursos naturais especialmente o petróleo visto que é a matéria prima para várias fibras têxteis. Por isso o tema reciclagem está em alta, sendo que neste texto serão apresentados os tipos de reciclagem que são utilizados atualmente. Elas podem ser classificadas em quatro categorias: primária, secundária, terciária e quaternária. As reciclagens primária e secundária, também denominadas como reciclagem mecânica, têm como diferença o momento que o polímero é reintroduzido na cadeia produtiva. Na reciclagem primária as sobras do processo de fabricação são recicladas, enquanto na reciclagem secundária são empregados os resíduos pós-consumo. A reciclagem terciária é a reciclagem química. Por fim a reciclagem quaternária é a reciclagem energética.

### 2.2.1. Reciclagem mecânica

A reciclagem mecânica é a conversão dos resíduos materiais pós-consumo e pós-industriais em grânulos podendo ser reutilizados na produção de novos produtos, sendo viabilizado por meio de reprocessamento por extrusão, injeção, termoformagem, moldagem por compressão, etc. Para que haja a reciclagem mecânica é necessário que ocorram alguns procedimentos sendo: separação de resíduos, moagem, lavagem, secagem e então o reprocessamento do material reciclado. (Spinacé, 2003)

### 2.2.2. Reciclagem química

A reciclagem química é o processo de despolimerização do resíduo sólido que ao fim é possível obter os monômeros de onde vieram os polímeros envolvidos,

podendo ser repolimerizados e sendo matéria prima para polímeros virgens. (Spinacé, 2003)

### 2.2.3. Reciclagem energética

Trata-se da reciclagem em que o material é incinerado a fim de gerar energia. Na maioria das vezes que esse método é adotado ou o material tem uma rota de reciclagem não viável de forma econômica ou não ser reciclável. É dito que no Japão os resíduos sólidos são separados de forma que tenham entre eles os incineráveis, e que com a sua queima pode ser produzida eletricidade, vapor ou calor. (Spinacé, 2003)

Mas ao incinerar alguns polímeros podem ser produzidas dioxinas e furanos, compostos que são maléficos para a saúde, tornando esse método de reciclagem um problema como mostra (Kamata, 2020).

### **3 MATERIAIS E MÉTODOS**

Esse trabalho é concebido na forma de uma revisão bibliográfica como o intuito de discutir sobre a reciclagem de fibras têxteis. Como o assunto é relativamente novo e também não é explorado foi usado o método de pesquisa exploratória qualitativa, com a finalidade de gerar uma discussão sobre o assunto e não testar uma hipótese. Como base de dados para a pesquisa e confecção do projeto o Periódico CAPES foi usado e a partir dele também foi acessado os repositórios de dados de pesquisas Web of Science, Scopus além do uso do Google Scholar para procurar os artigos relevantes permitindo escrever essa monografia. Nessas bases de dados foi usado para se chegar aos artigos as palavras-chaves: textile recycling, circular fashion, textile fibers, fashion industry, separation of blends textile recycling, polymer structure.

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Classificação de fibras têxteis

Os produtos têxteis consistem principalmente em fibras, ou seja, estruturas muito longas (2–5 cm) e muito finas (a espessura é até 100 vezes menor que o comprimento). Hoje em dia elas são classificadas a partir da sua origem, ou seja, de onde elas são provenientes, mas a fim de melhorar a reciclagem é muito mais sensato classificar as fibras com base em suas características químicas em vez de sua origem, já que as fibras com o mesmo tipo de ligações químicas geralmente têm produtos químicos semelhantes e, muitas vezes, características físicas. É sugerido um novo sistema de classificação que combina os vários meios de reciclagem para as fibras têxteis.

Inicialmente separou-se as estruturas poliméricas e os tipos de ligação química que fazem. A etapa seguinte foi colocar as fibras têxteis em sua respectiva categoria de polímero. E por fim, o tipo de polímero (natural, artificial ou sintético (de adição ou condensação)) também foi incluído, o que é relevante para a reciclagem.

Também foi pensado um novo método de classificação para reciclagem de têxteis. Assim, foi projetado um sistema de rotas que se baseia no nível de decomposição das fibras em: fibras recicladas, polímero e monômero. Cada uma dessas rotas de reciclagem requer vários métodos subsequentes para reciclar e chegar ao produto desejado, considerando a estrutura polimérica das fibras. No final, a classificação da reciclagem de têxteis foi associada aos métodos de reciclagem apropriados.

Além de fazer a classificação das fibras houve uma viabilização dos polímeros analisados partindo do princípio que a peça reciclada é feita somente de uma fibra têxtil. Mas como é sabido as roupas atuais são feitas de uma mistura de fibras evidenciando um problema para a reciclagem das fibras (Harmsen, et al., 2021).

#### 4.2. Categorização de métodos de reciclagem têxteis

As fibras têxteis podem ser recicladas na forma de fibras, polímeros ou monômeros, isso vai depender em grande parte da composição e da estrutura química da fibra. (Harmsen, et al., 2021). Dessa forma:

- A reciclagem das fibras implica na preservação das fibras após a desintegração do tecido.
- A reciclagem de polímeros inclui a decomposição das fibras enquanto os polímeros permanecem intactos.
- A reciclagem de monômero implica que as fibras são fundidas e os polímeros são despolimerizados.

Esses métodos de reciclagem precisam de várias etapas de reciclagem subsequente afim de chegar ao produto desejado que os métodos foram enumerados em mecânica, física e química (Ribul, et al., 2021). Dessa forma esses métodos são definidos a fim de ordenar e reconhecer com maior facilidade (Harmsen, et al., 2021):

- Métodos mecânicos quebram o tecido e retêm as fibras cortando, rasgando, por trituração ou por cardagem. O comprimento da fibra é reduzido como um efeito colateral indesejado. Portanto afetando a capacidade de fiação e a resistência do fio. As fibras terão um comprimento mais curto do que as fibras originais, e alguma poeira será gerada.
- Os métodos físicos usam processos físicos para tornar as fibras ou polímeros adequados para reprocessamento, seja por fusão ou dissolução. Com a reciclagem física, a estrutura das fibras é alterada, mas as moléculas de polímero que compõem as fibras permanecer relativamente intactas. Depois de fundir ou dissolver, fiação por fusão ou fiação por solução podem ser usadas para formar um novo filamento (ou seja, uma fibra de comprimento infinito)
- Os métodos químicos exploram processos químicos para decompor as fibras e polímeros. Os polímeros que compõem as fibras são modificados ou quebrados, às vezes para seus blocos de construção monoméricos originais. Isso pode ser feito por produtos químicos ou métodos biológicos (por exemplo,

com enzimas). Após a reciclagem química, os blocos de construção podem ser repolimerizados em um novo polímero.

Vale também ressaltar que para qualquer um dos métodos de reciclagem deve haver uma triagem das fibras para que não ocorra mistura de materiais e de cores diferentes que vão resultar em uma matéria prima reciclada de baixa qualidade.

Para que se consiga uma das matérias primas descritas anteriormente é necessário que se executem os métodos que estão enumerados na tabela 1.

Tabela 1 Classificação da reciclagem de têxteis e métodos de reciclagem correspondentes

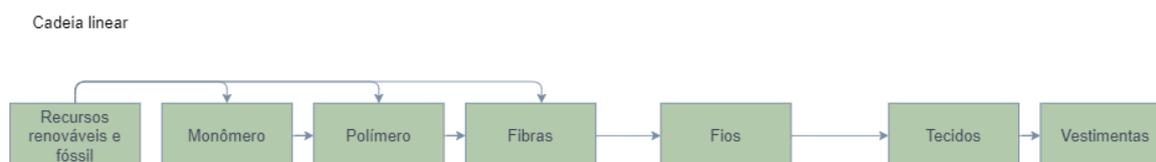
<b>Classificação dos têxteis reciclados</b>	<b>Métodos de reciclagem</b>
Reciclagem de fibras	Método mecânico
Reciclagem de polímeros	Métodos mecânico e físico
Reciclagem de monômero	Métodos mecânico e químico

FONTE: adaptada de (Harmsen, et al., 2021)

#### 4.3 Moda linear e moda circular e desafios para o abastecimento de cadeias circulares

Na atualidade em que a cadeia de moda linear é usada como modelo os recursos são usados uma única vez. Eles são usados para fabricar as fibras têxteis, os polímeros e até os monômeros que por sua vez são usados para fiar os produtos têxteis e então quando não há mais uso para as vestimentas são descartadas em aterros ou doadas para instituições de caridades e podendo ser mandados para outros países.

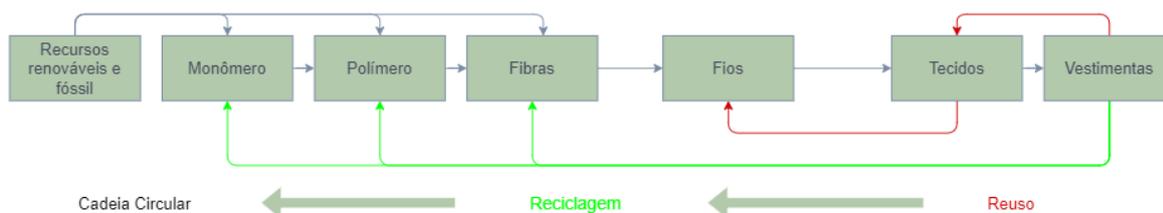
Figura 1 Esquema da rota linear de moda.



Fonte: adaptado de (Harmsen, et al., 2021)

Mas com a moda circular o processo de produção das roupas continua como a cadeia anterior e é incrementado o reuso para gerar fios para tecer as vestimentas além da reciclagem que retorna as fibras das vestimentas para as unidades de fabricação dos tecidos.

Figura 2 esquema da rota circular de moda.



Fonte: adaptado de (Harmsen, et al., 2021)

Mas para que ocorra a cadeia circular é preciso que sejam superados alguns desafios a fim de tornar a reciclagem viável economicamente como: separação de misturas têxteis e de aditivos e acabamento de forma eficiente, restaurar de forma aceitável a qualidade e precisa ser sustentável.

#### 4.3.1. Separação de misturas de fibras têxteis

As roupas costumam conter materiais diferentes, por exemplo, lã e poliéster. Estes materiais são reciclados por meio de métodos diferentes e, assim, criam um desafio da separação. No entanto, evitar completamente as misturas não é um método viável porque de uma perspectiva de *design* e durabilidade, as misturas podem aumentar a qualidade do produto. Com isso em mente ultimamente estão sendo desenvolvidos técnicas a fim de separar as fibras têxteis. Uma saída apresentada pelos artigos pesquisados é o tratamento enzimático em que, por exemplo, as misturas de lã com poliéster são diluídas e a lã sofre degradação acarretando na separação das fibras. (Sandvik, et al., 2019)

#### 4.3.2. Separação de aditivos e acabamentos

Os acabamentos e os aditivos, que são botões, zíperes e outros adereços nas vestimentas, devem ser retirados para que facilitar o processo de classificação e

reciclagem. Além disso é preciso saber quais produtos químicos foram usados para que não haja contaminação quando se coleta as roupas. (Sandvik, et al., 2019)

#### 4.3.3. Restaurar a qualidade

A degradação das fibras têxteis acontece quando se lava e também quando é se veste, mas também ocorre quando se tenta reciclar com a decomposição das fibras. Quando se recicla as fibras deve se preocupar com alta qualidade do produto para que se possa competir com as fibras virgens e quantidade afim de baratear a produção. Nos últimos tempos a qualidade vem sendo baixa que só permite que seja usada em enchimento. (Sandvik, et al., 2019)

#### 4.3.4. Reciclagem em uma estrutura sustentável

Em primeiro lugar as fibras têxteis recicladas devem ser competitivas em relação aos produtos fabricados a partir de fibras virgens. Depois as emissões e o uso de recursos da reciclagem não devem exceder os níveis atuais de emissões e uso de recursos relacionados à produção de roupas. Também a reciclagem de têxteis tem um espectro de uso de produtos químicos que devem ser considerados para se recuperar de forma aceitável o material.

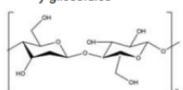
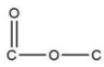
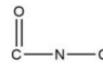
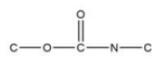
Outro fator que dificulta o encaixe da reciclagem em uma estrutura sustentável é a etapa de triagem dos têxteis que acaba sendo feito de forma manual e acarreta em custo maior, o que não faz a atividade ser atrativa financeiramente. É dito que para se fazer a reciclagem é necessário que seja desenvolvido tecnologias, pesquisas, uma logística para abastecer as recicladoras e também infraestrutura. É sugerido que seja implementado nas roupas despachadas para consumo que levem informação digital, embutida nelas, com os tipos de fibras, os produtos químicos entre outras características da roupa visando ajudar na reciclagem. Mas essa última ideia talvez não seja viável visto que a implementação da tecnologia poderia aumentar o custo da roupa, mas pensando nos recicladores e no meio ambiente poderia ser uma alternativa válida. (Sandvik, et al., 2019)

## 5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 5.1. Reciclagem de polímeros

Será discutida a aplicabilidade dos três tipos de reciclagem levantadas anteriormente para alguns polímeros que são exemplificados na tabela 2.

*Tabela 2 classificação das fibras têxteis com base nas ligações dentro das cadeias do polímero.*

Polímero	Polissacarídeos: Celulose	Poliéster	Poliamida	Poliuretano	Polioléfina	Poliacrílico
Essencial ligação <sup>1</sup>	γ-glicosídico 	éster 	amida 	uretano 	alcano 	acrilonitrila 
Exemplos de fibra	Algodão (natural) Linho (natural) Viscose (natural) Lyocell (natural)	PET <sup>2</sup> (condensação)	Lã (natural) Seda (natural) Nylon (condensação)	Elastano (condensação)	PP <sup>2</sup> (adição) PE <sup>2</sup> (adição)	Acrílico (Adição) Modacril (Adição)
Ponto de fusão	Não	sim	Não (natural) Sim (condensação)	sim	sim	Não

<sup>1</sup> Somente para celulose esta é a unidade de repetição; para os outros polímeros, denota a ligação relevante para a reciclagem. tereftalato, <sup>2</sup> ANIMAL DE ESTIMAÇÃO; polietileno  
PP: polipropileno, PE: polietileno.

FONTE: adaptada de (Harmsen, et al., 2021)

#### 5.1.1 Celulose

A celulose aceita todos os tipos de reciclagem, mas a forma química não é usada visto que as reciclagens mecânicas e físicas já estão bastante desenvolvidas em escala laboratorial.

Reciclagem mecânica de algodão rende fibras normalmente aplicadas na indústria de não tecidos e como flocos (muito pequenas fibras usadas para criar textura em superfícies). As fibras de algodão reciclado são mais curtas do que as virgens e, portanto, mais difíceis de fiar. As fibras recicladas mecanicamente são frequentemente misturadas com fibras virgens (mais longas), como PET ou algodão, para aplicações em tecidos. Cerca de 95% das fibras recuperadas pela reciclagem mecânica do algodão são diretamente processados em não tecidos para a indústria automotiva, eletrodomésticos, sistemas de drenagem e geotêxteis. (Gulich, 2006)

O método de reciclagem foi criado por (Wangcheng Liub, 2018) em que camisetas de malha de trama simples 100% algodão branco/tingido foram usadas como matéria-prima.

As camisas de algodão foram cortadas em pequenos pedaços de aproximadamente 2 mm x 2 mm para rápida dissolução. Em seguida, as peças de tecido foram imersas em uma solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e tratadas em temperatura elevada para hidrólise para redução do peso molecular da fibra. Após um estudo preliminar das influências das condições de hidrólise (ou seja, concentração de ácido, temperatura de hidrólise e duração de hidrólise) no grau de polimerização (DP) do algodão e a subsequente capacidade de rotação da solução, os seguintes processos de hidrólise, com duas concentrações diferentes de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,05 em peso % e 0,2% em peso em água desionizada), foram selecionados os pedaços de tecido de algodão/mistura ácida foram autoclavados com pressão de 20 psi a 120°C por 12 min.

Após arrefecimento à temperatura ambiente, os pedaços de tecido de algodão hidrolisado foram recolhidos por filtração e lavados cuidadosamente com água destilada até o valor de pH da solução de lavagem atingir 7. O algodão hidrolisado foi então seco durante a noite numa estufa convencional a 50°C. O grau de polimerização (DP) das fibras de algodão foi determinado seguindo o método descrito na norma ASTM D1795-13 usando solução de hidróxido de cuprietilenodiamina com um viscosímetro Ubbelohde a 25°C.

Depois foi fiado através de um aparelho de fiação úmida de mesa, customizado, composto por um reservatório de cilindro de polímero com uma fieira, um banho de coagulação e um coletor rotativo de fibras foi empregado para fiação de fibras. Enfim as fibras foram enroladas e lavadas com água quente e, em seguida, à temperatura ambiente, água destilada para remover os sais resultantes do processo de coagulação. As fibras de algodão regeneradas foram secas à temperatura ambiente por pelo menos 24 h e ao fim o estudo mostrou que é possível produzir fibras de resistência próxima as fibras virgens a partir de fibras recicladas.

A reciclagem física é uma boa alternativa para a celulose e produz fibras de celulose regeneradas como excelente opção para recuperar e reaproveitar os polímeros de pós-consumo. O recurso para produzir celulose regenerada costuma ser madeira, mas outros recursos que contenham celulose também podem ser

usados, por exemplo, têxteis de consumo. Os possíveis gargalos são a contaminação das roupas com outros tipos de fibras e as presenças de agentes de acabamento e corantes. Fibras de algodão são quase inteiramente compostas de celulose. (Harmsen, et al., 2021)

A técnica que foi estudada foi a dissolução de um filme de viscosa e ao fim foram fiadas fibras de celulose por (Yanan Li, 2021). Primeiramente, o filme de viscosa obsoleto foi cortado e seco em estufa a 70°C por 4 h. Em seguida, o filme de viscosa seco foi quebrado por um misturador. Enquanto isso, três soluções aquosas de NaOH com fração de massa de 8%, 9% e 10% foram preparadas, respectivamente. Posteriormente, o filme de viscosa foi disperso nas três soluções de NaOH com diferentes concentrações acima, obtendo-se nove soluções com fração mássica de viscosa de 2%, 4% e 6%, respectivamente. Todas as nove soluções foram refrigeradas a 5°C por 6 h. Finalmente, as soluções de filme de viscosa residual de lixiviação alcalina foram agitadas por um misturador para dissolver o filme de viscosa residual para obter soluções de celulose.

Então é feito o preparo de uma solução aquosa de NaOH a 9% em peso onde o filme é mergulhado pesado na solução e refrigerado na geladeira.

Após 6 h, a solução é colocada no liquidificador para quebrá-la e centrifugá-la a 5°C e 8000 rpm para obter soluções de fiação a 4% em peso. A fiação úmida da solução de fiação é concluída em laboratório usando seringa acionada por bomba de seringa.

Durante o experimento, foram utilizados quatro tipos de banho de coagulação: solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 10% em peso, solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 10% em peso/solução de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 5% em peso, solução de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 10% em peso /H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 10 % em peso e solução de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 10% em peso.

Ao final do método vimos que as ligações de hidrogênio foram destruídas pela solução de NaOH em baixa temperatura, mostrando que o filme foi dissolvido com sucesso. Posteriormente, fibras regeneradas de celulose foram fabricadas a partir da solução de celulose como preparada em um banho de coagulação de 10% em peso de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/ 5% em peso de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, indicando que esta tecnologia de fiação pode ser facilmente aceita por viscosa vinda de fábrica.

### 5.1.2. Poliéster

Para as peças de vestimentas o poliéster PET é o único caso. A reciclagem de PET é umas das mais bem-sucedidas na atualidade visto que é muito usado em transformar garrafas PET em tecidos. Para o PET usado em produtos têxteis as reciclagens física e química são as mais adequadas; já a reciclagem mecânica não é muito realizada.

A reciclagem física para PET, que é um termoplástico, acontece da seguinte forma: o polímero é fundido a temperatura altas (maiores que 260 °C) e pode ser transformado em fibras. Contaminações podem representar um problema neste tipo de processo, e esta é a razão pela qual fibras recicladas para produtos têxteis são frequentemente produzidas a partir de garrafas transparentes que é implementado em todo o mundo. Frascos transparentes pós-consumo são relativamente limpos e resultam em um rPET (PET reciclado) de alta qualidade, adequado para produção de fios. O uso de itens PET pós-consumo menos puros, como as coloridas garrafas, bandejas e filmes e PET recuperados do oceano e produtos têxteis é mais desafiador. Se essas fontes não puderem ser suficientemente limpas, pode ser necessário usar métodos de reciclagem química. (Haslinger, et al., 2019)

Os métodos de reciclagem química são adequados para a produção de fibras de PET. Durante a reciclagem química, as moléculas de poliéster são quebradas em fragmentos menores. Esses fragmentos menores são recuperados por processos de separação, como filtração, precipitação, centrifugação e cristalização, que permite a separação de contaminantes mais fácil que na reciclagem física. A despolimerização do PET é feita por solvólise em que a reação acontece com o solvente, podendo gerar monômeros do PET ou oligômeros. A vantagem de usar esse método é que ao final se chega a um polímero de qualidade virgem, no entanto, é um processo mais caro e por isso deve ser feito em larga escala para ser economicamente viável. (Haslinger, et al., 2019)

O resíduo de fibra de PET foi tratado de forma química como (S.R. Shukla, 2009) (Shukla SR, 2006) fez através de etilenoglicol na razão molar 1:6 (PET:glicol) sob refluxo na presença de diversos catalisadores por períodos de tempo de até 8 h. O catalisador, sulfato de sódio, foi utilizado em concentrações que variam entre 0,3% e 1% (p/p). Ao final da reação, água destilada foi adicionada em excesso à mistura

reacional com agitação vigorosa. O produto glicolisado foi obtido como resíduo após filtração. O filtrado continha etilenoglicol não reagido, BHET (monômero virtual) e pequenas quantidades de alguns oligômeros solúveis em água. Cristais brancos de BHET foram obtidos primeiramente concentrando o filtrado por fervura e depois resfriando-o. O resíduo glicolisado foi então fervido com água para extrair qualquer BHET que restasse. O pó cristalino branco de BHET foi purificado por cristalização repetida em água, seco em estufa a 80°C e pesado para estimar o rendimento. Depois converteu O BHET em bis(2-cloro etil)tereftalato (BHECL) através da cloração usando cloreto de tionil (1:1,2) na presença de 0,5% (p/p) de dimetilformamida como catalisador em tolueno.

Após a conclusão da reação, o excesso de tolueno foi coletado via destilação a vácuo e o produto foi obtido como BHECL.

Com o composto anterior há a preparação de amônio quartenário em que uma quantidade de solução é precisamente pesada de um ácido graxo é dissolvida em tolueno e recolhida em um fundo redondo de três bocas.

Com os frascos montados com um funil de gotejamento, agitador e condensador, é adicionado uma amina continuamente em gota a gota usando o funil de gotejamento. É removida a água durante a reação que demora 4h. Então é adicionado o BHECL e se chega a um derivado de amina.

Nesse derivado de amina é feita uma quartenarização adicionando sulfato de dimetilo (1:1). O carbonato de sódio foi adicionado como um inibidor de ácido e a mistura foi mantida a 70°C durante 3 h. Após a destilação do tolueno, obteve-se o produto para o uso.

### 5.1.3. Poliamida

As poliamidas têm dois grupos que são usados para fazer roupas, lã (fibra natural) e as fibras sintéticas (náilon), elas têm rotas de reciclagem muito diferentes, mesmo que tenham a semelhança de ter ligações amida na estrutura polimérica.

A Reciclagem mecânica para fibras de lã tem uma longa tradição e é o único exemplo de reciclagem mecânica bem-sucedida de têxteis pós-consumo para novos fios para têxteis. Os tecidos de lã são predominantemente feitos de fibras longas e tratados com cuidado, tornando possível a reciclagem mecânica em fibras. A reciclagem mecânica da lã é feita por etapas semelhantes às da reciclagem mecânica de algodão. Tecidos classificados são limpos e transformados em fibras por corte e rasgo. Processamento da lã de resíduos pós-industriais (fibras, fios e tecidos gerados durante a produção) são reciclados rotineiramente de volta ao fluxo do processo de fabricação por razões de eficiência econômica. A reciclagem mecânica de resíduos pós-consumo também é viável. A aplicabilidade de resíduos pós-consumo é parcialmente dependente de maneiras eficazes de minimizar a quebra da fibra e maximizar o comprimento residual da fibra após o processo de tração mecânica.

Reciclagem física para o náilon pode ser realizada por fusão e remoldagem em novas fibras de comprimento e resistência apropriados. Resíduos de náilon estão disponíveis como tapetes e redes de pesca (compostas de náilon 6), e esses materiais são uma importante matéria-prima para reciclagem de náilon físico. A reciclagem de redes de pesca é tecnologicamente viável, e a PA6 reciclado mostra características semelhantes em comparação com os náilons comerciais. A reciclagem de tapetes também é possível misturando vários componentes de carpete por meio de extrusão reativa e compatibilização, gerando produtos de qualidade inferior.

A Reciclagem química em monômeros para náilons, são bem adequadas. A PA6 é despolimerizada para recuperar seu monômero, caprolactama. O projeto do processo é adequado para o processamento de materiais 'contaminados', à medida que o produto sai pela parte superior do reator e os resíduos permanecem na parte inferior, este processo não é mais caro do que a produção de caprolactama virgem, e é muito mais benigna do ponto de vista ambiental. (Harmsen, et al., 2021)

#### 5.4.4. Poliuretano

Para essa classe de polímero o elastano que é usado, trata-se de um polímero obtido por polimerização em etapas e é um desafio reciclá-lo. O elastano geralmente

não é reciclado, mas pode ser separado do tecido para facilitar a reciclagem de outras fibras, por exemplo, por métodos de solvólise adequados para polímeros de policondensação. (Harmsen, et al., 2021)

Um método que é mais empregado afim de tentar dar um fim aos resíduos do elastano é a glicólise que por duas vias tenta recuperar o material. A primeira leva à recuperação de polióis para a produção de espuma flexível de poliuretano. Em segundo lugar, a chamada glicólise de fase dividida (SPG) resulta em polióis rígidos e flexíveis. O SPG é baseado no processamento separado das camadas superior e inferior da glicólise de dietilenoglicol (DEG). A camada superior, compreendendo principalmente os polióis flexíveis, é lavada com DEG, e a inferior é tratada com óxido de propileno resultando na formação de polióis rígidos. (Aleksandra Kemoná, 2020)

A principal limitação da glicólise é a diferença nos parâmetros de processo para espumas flexíveis e rígidas, que impõem a segregação dos resíduos utilizados. Este método também é significativamente mais eficaz quando aplicado aos resíduos de pós-produção devido à alta sensibilidade da reação à presença de impurezas que geralmente podem ocorrer nos resíduos de consumo. (Aleksandra Kemoná, 2020)

Outra forma de contornar o problema seria modificar o poliuretano produzido como a produção com materiais renováveis e biodegradáveis, como o uso de óleos vegetais para a produção. Porém, há um obstáculo na aplicação pois a influência da molécula introduzida nas propriedades do produto final, como o exemplo dado por (Aleksandra Kemoná, 2020) que adição de lignina à espuma de poliuretano leva a um aumento da densidade e à diminuição da estabilidade térmica com o aumento do teor de lignina. Além disso, maiores quantidades de óleo de mamona levaram ao aumento da densidade, bem como da resistência à compressão da espuma.

#### 5.1.5. Poliolefina

Poliolefinas, tais como polietileno (PE) ou polipropileno (PP) são termoplásticos e podem, em teoria, ser fisicamente reciclado por fusão e recirculação em novas fibras e fios. Mas para a indústria têxtil na pesquisa bibliográfica não foi encontrado nenhum exemplo. As poliolefinas são polímeros de adição e, portanto, não podem ser reciclados por meios químicos, por exemplo, despolimerizados em seus monômeros por métodos de solvólise, uma vez que as ligações químicas no

polímero não podem ser quebradas por esses métodos. Esses polímeros podem ser degradados por meio de um mecanismo de radical livre em altas temperaturas, mas isso não resulta na formação de monômeros reutilizáveis. Em vez de, misturas heterogêneas de gases, líquidos e alcatrão são produzidas que pode ser usado como insumo para o processo de craqueamento químico e, assim, adicionar à produção de granéis renováveis. (Harmsen, et al., 2021)

#### 5.1.6. Fibras Acrílicas

As fibras acrílicas, também denominados poliacrílicos podem ser reciclados mecanicamente, comparáveis à lã. O processo envolve classificação de cores, limpeza, desvendamento e fiação novamente. Poliacrílicos não podem ser fundidos e, embora possam ser dissolvidos, presumivelmente nenhum método de reciclagem física está em desenvolvimento. Poliacrílicos são formados por polimerização de adição e, portanto, não podem ser despolimerizados por métodos de solvólise. (Harmsen, et al., 2021)

### 5.2. Processo de reciclagem biológica para resíduos têxteis

Os processos que foram levantados nos artigos pesquisados foram três em sua maioria sendo: decomposição biológica, ou seja, decomposição biológica no fim da vida, onde os microrganismos que fazem a desconstrução de materiais têxteis em moléculas simples (composto e digestão anaeróbica), a decomposição bioquímica, ou seja, despolimerização enzimática que usa enzimas para desconstruir polímeros têxteis em monômeros e a fermentação que é o uso de microrganismos para transformar matéria-prima em produtos desejáveis. ( Piribauer, et al., 2021)

#### 5.2.1. Decomposição biológica

Esse método de reciclagem é relativamente novo para tal uso, mesmo que já seja usado em outras finalidades como a compostagem de resíduos alimentícios para chegar em adubos orgânicos. (Subramanian, et al., 2020)

Para a decomposição de têxteis seria realizada uma compostagem em que microrganismos aeróbicos transformam a matéria em dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), amônia, água e calor na presença de oxigênio, água e nitrogênio. É um processo

barato que é usado para dejetos humanos e animais, mas para os têxteis não são usados ainda. Esse método parece ser uma via melhor que a reciclagem energética visto que os produtos finais serão fertilizantes orgânicos. O processo seria limitado às fibras de origem natural e semi-sintéticas.

Esse método pode ser uma via final para as vestimentas, já que os produtos desses processos não podem ser reutilizados para fazer materiais, de modo que não pudessem constituir uma etapa da reciclagem em ciclo fechado. No entanto, eles constituem uma alternativa relativamente viável para a incineração ou aterro, desde que a quantidade de gases do efeito estufa (*greenhouse gas* (GHG)) emitida seja bem gerida, o que terá de ser avaliada durante a ampliação. Dada a circularidade das fibras têxteis que engloba processos de ciclo fechado, a fim de reter o valor de materiais por mais tempo, a decomposição biológica, como compostagem deve ser a etapa final para devolver os nutrientes ao solo.

#### 5.2.2. Despolimerização enzimática

Para se fazer esse processo para o algodão normalmente é preciso que seja feito um pré-tratamento químico antes da etapa enzimática, já foram desenvolvidos pré-tratamentos, e uma boa alternativa. Por exemplo, o uso de ácido fosfórico e carbonato de sódio que, conforme (Hasanzadeh, et al., 2017) estudou anteriormente, oferecem menos impacto ao meio ambiente. Para o algodão esse processo resultaria em um líquido iônico que tem utilidade para se conseguir biomassas e matérias-primas, mas os autores mostram que o custo impediria a comercialização (Hong, et al., 2011), que evidencia a necessidade de mais pesquisas viabilizar o seu uso.

A lã é um polímero fibroso de aminoácidos que tem como características a resistência à digestão. Isso se deve ao grande número de resíduos de cisteinila, reticulados com pontes dissulfeto que conferem resistência e rigidez adicionais ao polímero. Essas ligações dissulfeto requerem o uso de agentes redutores para dissociação química. As enzimas responsáveis pela despolimerização da lã são proteases chamadas queratinases que podem converter polímeros de lã em seus aminoácidos constituintes. (Sandvik, et al., 2019) (Navone, et al., 2019)

Para os materiais sintéticos, a natureza não tem enzimas projetadas para desconstruir de forma eficiente. Então nos últimos anos há um esforço de desenvolver

enzimas com essa função, mas esse estudo é muito embrionário e ainda não existem muitos dados disponíveis.

### 5.2.3. Fermentação

A fermentação é um processo metabólico que produz mudanças químicas em substratos orgânicos pela ação de enzimas, como a produção de queijo por exemplo. Praticamente, fermentação é o uso intencional de microrganismos como bactérias e fungos, para fazer produtos úteis para humanos. Ela pode ser feita na ausência de água livre, mas com umidade suficiente para o metabolismo dos microrganismos; pode também ser feita submersa e tem como função produzir várias moléculas de combustível e produtos químicos de plataforma ricos em celulose hidrolisada como etanol, ácido láctico, ácido cítrico, ácido succínico, butanol. Isso substituiria o uso de recursos virgens para a produção dessas moléculas, mas são necessárias mais pesquisas afins de desenvolver microrganismos que possam desempenhar a função de desconstruir fibras têxteis neste caso. (Sandvik, et al., 2019)

### 5.3. Avaliação de viabilidade e mudança sistêmica

Como reciclar cada tipo de fibra têxtil se mostrou uma tarefa complexa visto que cada uma delas tem uma forma diferente para ser feita de forma ideal, como é mostrada na tabela 3, mas como as vestimentas atuais são compostas de fibras mistas, pois somente com uma fibra elas não cumprem com os requisitos da moda atual. Isso se deve as várias melhorias que se tem com a mistura de fibras como a presença de uma pequena parte de elastano nas calças jeans afim de conferir melhor conforto, ou misturas para baratear a roupa, ou até mesmo melhorar a processabilidade do material. O maior problema relacionado aos tecidos de fibras mistas são os resíduos pós-consumo. Essas roupas são geralmente compostas de fibras multimateriais o que torna a reciclagem mais complicada.

Para que haja uma real melhora na reciclagem de têxteis é preciso que ocorram mudanças sistêmicas (Sandvik, et al., 2019). Este estudo sugere algumas mudanças baseadas em entrevistas feitas com pessoas da área. É necessário que haja desenvolvimento tecnológico, visto que muitas fibras não são recicladas satisfatoriamente. Também é bem-vinda a implementação de uma economia

circular, para que se produza de forma sustentável. Porém, além dessas melhorias é necessário que tenha a criação de um modelo de negócio visando a reciclagem de têxteis, pois como é relatado não existe nada do tipo atualmente. São levantadas algumas ideias para se fazer esse *business case* como a implementação de devolução de roupas, educar o consumidor com relação ao impacto ambiental de suas roupas, desenvolver logística e criar demanda para a tecnologia de reciclagem e para os produtos provenientes dela, além de que deve haver uma cooperação com todas as partes do segmento para que tenha vantagens a todos. Também é dito que uma boa saída seria a criação de uma divisão entres sistema lento e rápido, em que o primeiro as roupas são usadas por mais tempo e tem maior qualidade e o segundo é de uso mais rápido mas deve ser de fácil reciclagem.

*Tabela 3 Viabilidade dos processos estudados para cada polímero*

Opções de reciclagem mais capaz (verde), menos capaz (laranja) e incapaz (vermelho) para o polímero principal grupos.

Classificação de Reciclagem Textil	Celulose		Poliamida		Poliéster	Poliuretano	Poliiolefina	Poliacrilato
	Natural		Condensação		Adição			
	Algodão, Linho	Viscose, Liocel	Lã	Nailon	PET	Elastano	PP,PE	Acrilato
Reciclagem de fibra	Verde	Laranja	Verde	Laranja	Laranja	Verde	Verde	Laranja
Reciclagem de polímero	Verde	Verde	Vermelho	Laranja	Verde	Vermelho	Laranja	Laranja
Reciclagem de monômero	Laranja	Laranja	Vermelho	Verde	Verde	Laranja	Vermelho	Vermelho

*FONTE: adaptada de (Harmsen, et al., 2021)*

Além da implementação de ideias levantadas anteriormente, também para que haja alguma mudança é preciso que desafios sejam superados e (Walter Leal Filho, 2019) mostra alguns desses desafios a serem superados, elucidados a seguir:

Primeiro a viabilização econômica, pois essa indústria tem valor baixo de inovação, salários baixos e condições de trabalho questionáveis reduziu enormemente sua atratividade para jovens trabalhadores e profissionais, tornando problemático o recrutamento de mão de obra qualificada. Junto a isso muitos resíduos têxteis não são adequados para recirculação e uso múltiplo. Isso se deve em grande parte à produção generalizada de produtos de baixa qualidade da reciclagem têxtil. A recirculação e a reutilização limitadas não são economicamente viáveis e desencorajam o investimento na reciclagem têxtil. Os materiais têxteis virgens ou não reciclados têm preços de mercado baixos, além dos preços relativamente elevados

de algumas fibras têxteis recicladas, que são influenciados pelo elevado custo dos processos de reciclagem, incluindo o transporte, o que desencoraja os potenciais investidores.

Seguindo o material a ser reciclado muitas vezes os componentes básicos de muitos produtos têxteis os tornam impróprios para reciclagem. Por exemplo, a presença de plásticos e metais em produtos têxteis é um impedimento. Nem sempre é viável devido às dificuldades em separar a mistura feita de vários tipos de polímeros com diferentes propriedades mecânicas e tecnológicas. Somado a quantidade de resíduos têxteis adequada e acessível para reciclagem é extremamente insuficiente.

A limitação tecnológica também é um problema a ser resolvido visto que uma das principais razões para a quantidade limitada de materiais recicláveis é a falta de tecnologias para triagem de resíduos têxteis em preparação para reciclagem. A maioria dos métodos existentes não consegue separar corantes e outros contaminantes das fibras originais. Além disso há o desafio de fazer a triagem dos resíduos têxteis. Também as tecnologias de reciclagem química e mecânica de têxteis são limitadas, exigindo investimentos significativos em pesquisa para superar as limitações existentes e introduzir técnicas mais eficientes e eficazes.

E por último há falta de informação que contribui para a baixa taxa de reciclagem, causando ineficiência do mercado, bem como apatia das partes interessadas em investimentos de grande escala. A implementação de políticas bem-sucedidas depende do comportamento individual dos moradores. As melhores políticas de reciclagem de resíduos podem ser ineficazes se não houver uma mudança correspondente no comportamento dos cidadãos. Somado com uma coleta desordenada de resíduos como uma barreira para a reciclagem eficiente, sem políticas e padrões governamentais de apoio, a indústria de reciclagem mais ampla não pode crescer rapidamente.

#### 5.4. Avaliação de viabilidade brasileira

A reutilização e reciclagem de resíduos têxteis além dos benefícios ambientais e sociais, tem como um fator de diferenciação no mercado, competitividade, aumento da eficiência, economia e, acima de tudo, para evitar ônus para a indústria têxtil e do vestuário, por meio de uma regulamentação obrigatória. A onda da moda circular tem

um promissor desenvolvimento tecnológico, inovação e ganhos de competitividade, por meio de inovação contemporânea, visa melhorar o uso de recursos e reduzir a dependência dos produtos primários do sistema econômico. Enquanto isso, os recursos naturais virgens tornam-se cada vez mais caros e onerosos obter devido a várias regras sobre sua origem e a problemas ambientais causados pelas mudanças climáticas. Ao reutilizar os materiais existentes, as empresas podem evitar os problemas de custos de aquisição de matérias-primas. No caso da indústria têxtil, a moda circular traz oportunidades que envolvem toda a cadeia produção, ou seja, o mesmo produto tem o potencial de retorno à cadeia de produção várias vezes, multiplicando a geração de receita. Para alcançar o modelo de produção de moda circular, a indústria têxtil precisa de estratégias inovadoras para fortalecer a relação cliente-fabricante e perpetuar experiências positivas com os consumidores para superar o desafio de criar sistemas de retorno para resíduos têxteis pós-industriais e pós-consumo, levando em consideração as especificidades geográficas, impostos e a logística da realidade brasileira. Para persuadir uma mudança sistêmica no modelo atual da produção têxtil é necessário gerar sólidas conexões, educar e envolver a sociedade para construir uma visão conjunta de economia sustentável e criativa com finalidade financeira, social e ambiental. Os processos e metodologias de recuperação e a reciclagem de resíduos têxteis está consolidada e em evolução tecnológica constante. Muitas empresas aproveitam a oportunidade para obter vantagem competitiva neste segmento, apesar de quaisquer incentivos fiscais concedidos, e embora tímidas, as iniciativas brasileiras que são enumeradas por (Amaral, et al., 2016), mostram que, o país está no caminho certo da indústria sustentáveis, seguindo uma benéfica e essencial tendência para a sociedade como um todo.

## 6 CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve como objetivo pesquisar os conhecimentos desenvolvidos em relação à reciclagem de fibras têxteis na literatura disponível e levantar questionamento sobre o impacto de tal questão.

Comparou-se o formato da moda linear e da moda circular e foi elucidado que o modelo atual de produção de produtos têxteis não se sustenta visto que somente consome matérias-primas virgem e não renova ou recicla, o que acarreta em dano ao meio ambiente e também na perda de arrecadação proveniente das fibras recicladas.

Para que ocorra a reciclagem, ao invés de abordar de forma já consolidada, em que se separa as fibras pela sua origem, foi proposto de acordo com a literatura (Harmsen, et al., 2021), que se mude o método para que separar as fibras que tenham semelhanças, principalmente, em suas ligações químicas, já que essa semelhança confere, na maioria das vezes, fibras com o mesmo tipo de ligação, que possuem características químicas e físicas semelhantes, gerando fibras recicladas com melhores propriedades.

Foi observado que diferentes fibras têm abordagens diferentes para reciclar, e que a reciclagem mecânica é a mais usada devido a facilidade do método e os materiais que suportam a técnica. A reciclagem química ou enzimática é algo que ainda não foi bem desenvolvida, pois é uma técnica mais difícil de se fazer e mais cara, mas parece ser a solução para vários tipos de fibras que não são recicladas.

Uma forma mais atual que foi abordada seria o tratamento biológico das fibras que poderiam gerar outras fibras ou matérias-primas como combustíveis. É uma tecnologia nova que parece promissora. No entanto, necessita de mais estudos para viabilizar os processos levantados.

Vimos também que o Brasil tem um grande potencial para tal atividade, pois tem uma produção elevada e também um consumo de produtos de vestimentas, mas como em todo o mundo, poucas medidas foram desenvolvidas em relação ao assunto, por causa de fator de limpeza dos rejeitos, da logística e também da tecnologia desenvolvida, entre outros.

Para que seja competitivo se espera que o produto reciclado tenha no máximo o mesmo preço de um produto virgem, visto que os reciclados são geralmente associados a pior qualidade. Mas como foi levantado anteriormente isso se deve ao método de reciclagem que as fibras são submetidas.

Também devemos, se possível, evitar fibras mistas já que são difíceis de separar e conseqüentemente de reciclar.

A reciclagem de têxteis é algo novo ainda e precisa ser mais estudado, especialmente fibras pós-consumo que é o real problema do assunto. É preciso que haja um esforço entre empresas, consumidor e recicladores, a fim de ajudar possíveis interessados no segmento. Isto fará a reciclagem da moda crescer e a sustentabilidade melhorar.

# Referências

- Hasanzadeh Elnaz, Mirmohamadsadeghi Safoona e Karimi Keikhosro** Enhancing energy production from waste textile by hydrolysis of synthetic [Artigo] // Elsevier Ltd.. - 12 de 01 de 2017. - p. 8.
- Piribauer Benjamin , Bartl Andreas e Ipsmiller Wolfgang** Enzymatic textile recycling – best practices and outlook [Artigo] // Waste Management & Research. - 26 de 02 de 2021. - p. 14.
- Abit têxtil e confecção [Online] // Abit. - 07 de novembro de 2021. - <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>.
- Aleksandra Kemonia Małgorzata Piotrowska** Polyurethane Recycling and Disposal: Methods and Prospects [Artigo] // Polymers. - 04 de Agosto de 2020. - p. 22.
- Amaral Mariana Correa do [et al.]** Industrial textile recycling and reuse in Brazil: case study and considerations concerning the circular economy [Artigo] // Gestão e Produção. - 16 de Setembro de 2016. - p. 13.
- ASTM D123-19**,Standard Terminology Relating to Textiles [Artigo]. - 2019.
- ASTM D1795-13**,Standard Test Method for Intrinsic Viscosity of Cellulose [Artigo]. - 2021.
- Gulich B** Development of products made of reclaimed fibres. [Seção do Livro]. - Cambridge : Cambridge University Press, 2006.
- Harmsen Paulien, Scheffer Michiel e Bos Harriette** Textiles for Circular Fashion: The Logic behind recycling options [Artigo] // Sustainability. - 30 de 08 de 2021. - p. 17.
- Haslinger Simone [et al.]** Upcycling of cotton polyester blended textile waste to new man-made cellulose fibers [Artigo] // Elsevier Ltd.. - 05 de 08 de 2019. - p. 9.
- Hong Feng [et al.]** Bacterial cellulose production from cotton-based waste textiles: Enzymatic saccharification enhanced by ionic liquid pretreatment [Artigo] // Elsevier Ltd.. - 07 de 11 de 2011. - p. 6.
- Kamata Fatima** BBC [Online] // BBC News Brasil. - 27 de Janeiro de 2020. - <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-51066358>.
- KUASNE PROFESSORA ANGELA** CURSO TÊXTIL EM MALHARIA E CONFECÇÃO 2º MÓDULO FIBRAS TÊXTEIS [Livro]. - Araranguá : [s.n.], 2008.

**Luiz Lauro Romero Jayme Otacílio W. M. Vieira , Luiz Alberto R. de Medeiros, Renato Francisco Martins** Fibras artificiais e sintéticas [Artigo]. - 1995. - p. 13.

**Navone Laura, Moffitt Kaylee e Hansen Kai-Anders** Closing the textile loop: Enzymatic fiber separation and recycling of wool/polyester fabric blends [Artigo] // Elsevier Ltd.. - 12 de outubro de 2019. - p. 12.

**Ribul Miriam [et al.]** Mechanical, chemical, biological: Moving towards closed-loop bio-based [Artigo] // Elsevier Ltd.. - 09 de 10 de 2021. - p. 13.

**S.R. Shukla Ajay M. Harad, Laxmikant S. Jawale** Chemical recycling of PET waste into hydrophobic textile dyestuffs [Artigo] // Elsevier Ltd. - 11 de Dezembro de 2009. - p. 6.

**Sandvik Ida Marie e Stubbs Wendy** Circular fashion supply chain through textile-to-textile recycling [Artigo] // Journal of Fashion Marketing and. - 07 de 01 de 2019. - p. 16.

**Shukla SR Harad AM, Jawale LS** Recycling of waste PET into useful textile auxiliaries [Artigo] // Elsevier Ltd. - 03 de Novembro de 2006. - p. 6.

**Spinacé De Paoli** A Tecnologia da reciclagem de polímeros [Relatório]. - Campinas : [s.n.], 03. - p. 8.

**Subramanian Karpagam [et al.]** Environmental life cycle assessment of textile bio-recycling – valorizing [Artigo] // Elsevier B.V. - 20 de 06 de 2020. - p. 11.

**Walter Leal Filho Dawn Ellams, Sara Han, david Tyler, Valerie Julie Boiten, Arminda Paço, Harri Moora, Abdul-Lateef Balogun** A review of the socio-economic advantages of textile recycling [Artigo] // Elsevier Ltd.. - 22 de Janeiro de 2019. - p. 11.

**Wangcheng Liub Shuyan Liuc, Tian Liub** Eco-friendly post-consumer cotton waste recycling for regenerated cellulose fibers [Artigo] // Elsevier Ltd. - 21 de julho de 2018. - p. 8.

**Yanan Li Junwu Peng, Xinglin Liu, Dengpeng Song, Weilin Xu, Kunkun Zhu** Dissolving waste viscose to spin cellulose fibers [Artigo] // Elsevier Ltd. - 15 de agosto de 2021. - p. 8.