

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
CURSO DE ENGENHARIA TÊXTIL

Priscila Faiad Carvalho

Estudo comparativo de têxteis substitutos ao couro

BLUMENAU

2022

Priscila Faiad Carvalho

Estudo comparativo de têxteis substitutos ao couro

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Fernanda Steffens

BLUMENAU

2022

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

Carvalho, Priscila Faiad
Estudo comparativo de têxteis substitutos ao couro /
Priscila Faiad Carvalho ; orientadora, Fernanda Steffens,
2022.
72 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau,
Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Biodegradabilidade. 3.
Polímeros sintéticos . 4. Sustentabilidade . I. Steffens,
Fernanda. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

Priscila Faiad Carvalho

Estudo comparativo de têxteis substitutos ao couro

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheiro Têxtil” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil

Blumenau, 16 de dezembro de 2022.

Prof^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a.
Coordenador do Curso

Banca Examinadora:

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

Prof^a. Catia Rosana Lange de Aguiar, Dr^a.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof^a. Ana Paula Serafini Immich Boemo, Dr^a.
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Blumenau, 2022

Este trabalho é resultado do apoio e amor incondicional que sempre recebi dos meus pais, Claudio e Rita.

AGRADECIMENTOS

Meu profundo agradecimento à instituição UFSC Blumenau, que representou um ciclo de conhecimento, crescimento e amadurecimento, tanto técnico quanto pessoal.

Aos meus pais, Claudio e Rita, por todo amor, apoio e por sempre acreditarem no meu potencial, sem medirem esforços para me proporcionar o estudo.

À todos meus amigos e familiares que acompanharam minha trajetória acadêmica.

À minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Fernanda Steffens, que sempre foi uma inspiração ao longo de toda a minha trajetória acadêmica e compartilhou todo seu conhecimento e paixão pela Engenharia Têxtil.

Ao corpo docente de Engenharia Têxtil, que sempre acolheu e incentivou o que havia de melhor em mim.

Às professoras Dr.^a Cátia Lange, Dr.^a Ana Paula Boemo e Dr.^a Grazyella Aguiar que sempre estiveram presentes dentro e fora da universidade, com todo apoio profissional e pessoal, agradeço por serem mulheres inspiradoras e por sempre entregarem tanto a todos os alunos.

"Uma vida sem desafios não vale a pena ser vivida."

(SÓCRATES)

RESUMO

O couro foi utilizado como vestimenta desde os primórdios e por muitos anos foi usado como símbolo de poder e hierarquia. Atualmente, a rejeição dos consumidores por produtos de origem animal, especialmente em relação ao couro, cresce significativamente pela sua relação com a crueldade no cultivo pecuário. Com essa mudança, materiais alternativos substitutos ao couro foram desenvolvidos e comercialmente chamados de "couro sintético" e/ou "couro ecológico". Além das novas tendências de consumo, perspectivas governamentais, como os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), passaram a influenciar a tomada de decisão na indústria têxtil durante o desenvolvimento de produto, principalmente pelas metas e objetivos de sustentabilidade, seleção e pela substituição de materiais que devem ser alcançados até 2030. À medida que essas mudanças passaram a vigorar no mercado, uma nova geração de têxteis substitutos ao couro vem sendo desenvolvida e apresentada. Produtos mais ecológicos e sustentáveis estão em evidência na indústria têxtil e moda, onde muitas alternativas são estudadas para a redução do impacto ambiental em relação à origem dos materiais. Além disso, a biodegradabilidade dos produtos têxteis pode ser considerada uma das características mais relevantes quando associada à geração de resíduos durante sua manufatura e ao pós-consumo, uma vez que a maioria destes materiais é descartado incorretamente, como em ambientes marinhos ou de maneira ilegal ao ar livre, prejudicando o ecossistema. Portanto, neste trabalho, pretende-se analisar de forma comparativa a taxa de biodegradabilidade de diferentes têxteis substitutos ao couro, provenientes de distintas origens e composições, com base nas perspectivas futuras mundiais relacionadas à produção e consumo de produtos têxteis.

Palavras-chave: Polímeros sintéticos. Biodegradabilidade. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Leather has been used as clothing since the beginning and for many years it was used as a symbol of power and hierarchy. Nowadays, consumer rejection of animal products, especially leather, is growing significantly due to its relationship with cruelty in livestock farming. Due to this change, alternative leather substitute materials were developed and commercially referred to as "synthetic leather" and/or "ecological leather". Beyond the new consumer trends, governmental perspectives, such as the Sustainable Development Goals (SDGs), began to influence decision-making in the textile industry during product development, mainly regarding goals and objectives of sustainability, selection and replacement of materials which must be achieved by 2030. As these changes take effect in the market, a new generation of textile substitutes for leather is being developed and introduced. Products that are more ecological and sustainable are in evidence in the textile and fashion industry, where many alternatives are studied to reduce the environmental impact regarding the origin of the materials. In addition, the biodegradability of textile products can be considered one of the most relevant characteristics when associated with the formation of waste during its manufacture and post-consumption, since most of these materials are discarded incorrectly, such as in marine environments or illegally outdoors, harming the ecosystem. Therefore, in this work, it is intended to comparatively analyze the rate of biodegradability of different leather substitute textiles, from different origins and compositions, based on future world perspectives related to the production and consumption of textile products.

Keywords: Synthetic polymers. Biodegradability. Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

<u>Figura 1 - Tendência de busca no Google Trends por leather coat</u>	20
<u>Figura 2 - Tendência de busca no Google Trends por sustainability</u>	20
<u>Figura 3 - Tendência de busca no Google Trends por vegan</u>	21
<u>Figura 4 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável</u>	22
<u>Figura 5 - Classificação das fibras têxteis</u>	23
<u>Figura 6 - Consumo mundial de fibras têxteis</u>	24
<u>Figura 7 - Produção mundial de fibras em 2021</u>	24
<u>Figura 8 - Classificação de fibras naturais</u>	25
<u>Figura 9 - Variáveis que influenciam na biodegradabilidade dos materiais</u>	29
<u>Figura 10 - Mecanismos de biodegradação do PLA</u>	31
<u>Figura 11 - Etapas de de biodegradabilidade de polímeros biodegradáveis</u>	31
<u>Figura 12 - Representação estrutural de um compósito</u>	32
<u>Figura 13 - Estrutura de um material têxtil sintético substituto ao couro</u>	35
<u>Figura 14 - Principais aplicações de têxteis substitutos ao couro</u>	36
<u>Figura 15 - Representação da evolução do couro e seus substitutos</u>	37
<u>Figura 16 - Etapas do processo de produção do Piñatex®</u>	38
<u>Figura 17 - Representação estrutural do Piñatex®</u>	38
<u>Figura 18 - Linha de produtos Piñatex®</u>	39
<u>Figura 19 - Processo de fabricação do Desserto®</u>	39
<u>Figura 20 - Confeção e aplicações com Desserto®</u>	40
<u>Figura 21 - Estrutura têxtil do Desserto® Standard Line (SKU 10005)</u>	41
<u>Figura 22 - Processo de fabricação do Malai</u>	42
<u>Figura 23 - Aplicações com Malai</u>	42
<u>Figura 24 - Processo de fabricação do Mylo™</u>	43
<u>Figura 25 - Produtos desenvolvidos com Mylo™</u>	44
<u>Figura 26 - Têxteis substitutos ao couro e suas respectivas origens</u>	44
<u>Figura 27 - Relação dos ODS e projetos de implementação para a indústria</u>	50
<u>Figura 28 - Ranking de desempenho de biodegradabilidade dos produtos substitutos ao couro</u> .	

LISTA DE TABELAS

<u>Tabela 1 - Estimativa de biodegradabilidade de meia-vida de produtos poliméricos em anos</u>	51
<u>Tabela 2 - Métodos utilizados nos ensaios de biodegradabilidade</u>	53
<u>Tabela 3 - Materiais submetidos aos ensaios e suas respectivas taxas de degradação</u>	53
<u>Tabela 4 - Composição dos têxteis substitutos ao couro</u>	57
<u>Tabela 5 - Classificação dos materiais por biodegradabilidade</u>	58
<u>Tabela 6 - Taxa de biodegradabilidade dos produtos</u>	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
Bio PE	Biopolietileno
Bio PU	Biopoliuretano
CFMB	<i>Corporate Fiber and Materials Benchmark</i>
CO	Algodão
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PALF	Fibra da folha de abacaxi
PE	Polietileno
PET	Poli(tereftalato de etileno)
PETA	<i>People for the Ethical Treatment of Animals</i>
PLA	Poliácido láctico
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de vinila
UNEA	Nações Unidas para o Meio Ambiente
TA.	Ácido Tereftálico
Tg	Temperatura de transição vítrea
WGSN	<i>Worth Global Style Network</i>

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	17
1.1.1.Objetivo geral.....	17
1.1.2.Objetivos Específicos.....	17
2.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1. COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR E PERSPECTIVAS DE PRODUÇÃO ORIENTADAS PELOS ODS	19
2.2. ORIGEM DOS MATERIAIS TÊXTEIS	22
2.2.1.MATERIAIS TÊXTEIS DE ORIGEM NATURAL	25
2.2.2.MATERIAIS TÊXTEIS DE ORIGEM SINTÉTICA.....	26
2.2.3.BIOPOLÍMEROS	28
2.3. BIODEGRADABILIDADE	28
2.4. SUPERFÍCIE TÊXTIL	32
2.4.1.COMPÓSITOS	32
2.4.2.COURO	33
2.4.2.1. <i>LEI DO COURO</i>	34
2.4.3.TÊXTEIS SUBSTITUTOS AO COURO.....	34
2.4.3.1. <i>Nova geração de têxteis substitutos ao couro</i>	36
2.4.3.1.1.Piñatex®	37
2.4.3.1.2.Desserto®	39
2.4.3.1.3.Malai	41
2.4.3.1.4.Mylo™.....	42
3.METODOLOGIA.....	46
3.1. FONTES DE PESQUISA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46

3.2. ANÁLISE DE BIODEGRADABILIDADE DE POLÍMEROS SINTÉTICOS	46
3.3. SELEÇÃO DE MATERIAIS SUBSTITUTOS AO COURO E ANÁLISE COMPARATIVA.....	46
4.RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1. PROJEÇÕES DOS ODS E INFLUÊNCIA NAS TOMADAS DE DECISÃO NA ENGENHARIA TÊXTIL.....	48
4.2. BIODEGRADABILIDADE DE POLÍMEROS SINTÉTICOS	50
4.3. BIODEGRADABILIDADE DOS MATERIAIS TÊXTEIS SUBSTITUTOS AO COURO.....	55
5.CONCLUSÃO.....	61
6.TRABALHOS FUTUROS	63

1.INTRODUÇÃO

O vestuário humano teve início com a utilização de folhas vegetais e, posteriormente, com o uso de peles de animais para proteção. Sob o ponto de vista de adorno, foi uma maneira que o ser humano encontrou de se impor aos demais da sua espécie para transparecer imponência através das vestes. Ao longo do desenvolvimento da civilização manteve-se a cultura primitiva de usar pele e couro animal, como ocorria nos primórdios, mas também como símbolo de poder e hierarquia, passando a ganhar sofisticação com o seu uso (BRAGA, 2021).

O couro marca 400 mil anos de história na evolução da vestimenta, e hoje enfrenta pressão para reduzir impactos ambientais associados à produção de materiais de origem pecuária (EKEGÅRDH *et al.*, 2021). A aceitação do consumidor relacionado às normas de bem-estar animal e toxicidade dos produtos químicos usados no curtimento do couro influenciam o desenvolvimento de novas alternativas (HILDEBRANDT *et al.*, 2021).

Na indústria da moda, o mercado de luxo consciente levou à tendência de utilizar peles falsas em designs de alta qualidade. Alguns eventos mundiais, como a Londres Fashion Week, que é uma das quatro principais semanas de moda do mundo, baniram as peles em 2018. A moda vegana usa materiais de outras origens, substituindo materiais animais como couro, pele, seda e lã (CHOI *et al.*, 2021).

Assim, as empresas foram obrigadas a repensar suas cadeias de valor, uma vez que a demanda dos consumidores por mudanças ambientais tenha se intensificado na última década (EKEGÅRDH *et al.*, 2021).

Um exemplo é a busca por produtos veganos, que dobrou na Inglaterra e nos Estados Unidos desde o primeiro semestre de 2018. A Tesla, fabricante americana de automóveis elétricos, começou a usar substratos têxteis manufaturados ao invés de couro animal devido aos requisitos do público vegano. Além da indústria automobilística, o uso deste tipo de produto aumentou em outros negócios, como na indústria calçadista (CHOI *et al.*, 2021).

Embora o couro seja de base biológica e de fonte renovável, existem fortes discussões sobre emissões de gases de efeito estufa na pecuária, sustentabilidade na produção do couro e bem-estar animal. Uma das primeiras e mais viáveis estratégias foi a substituição de materiais de origem animal por têxteis fibrosos de origem sintética, pelo seu baixo custo e

possibilidade de produção controlável e em larga escala. Substratos convencionais inteiramente sintéticos substitutos ao couro resultam em materiais plásticos integralmente não biodegradáveis (MEYER, 2021).

A produção em massa dos polímeros sintéticos iniciou há cerca de 70 anos e já ultrapassou nove bilhões de toneladas no ano de 2017. Das sete bilhões de toneladas de resíduos plásticos gerados até este momento, estima-se que 10 % foram reciclados, 14 % foram incinerados, enquanto os 76 % restantes encontram-se localizados em aterros sanitários, lixões ou em ambiente natural, como no oceano. Se a produção global anual de plástico virgem continuar em sua atual tendência de crescimento, prevê-se que chegará a 1,1 bilhão de toneladas em 2050 (GEYER, 2020). Pesquisadores estimam que no mínimo 5,25 trilhões de partículas de plástico pesando 270.000 toneladas estão flutuando nos oceanos do mundo (ZAMBRANO *et al.*, 2020).

Os materiais plásticos se quebram em partículas cada vez menores por meio de mecanismos foto-oxidativos, mas a estrutura molecular fundamental do material altera-se muito pouco ao longo desse processo. Um plástico torna-se microplástico, que se torna nanoplastico, e assim por diante. Ou seja, alteram-se apenas as dimensões das partículas expostas, mas o material continua presente no meio ambiente (MASON, 2018).

O poli(tereftalato de etileno) (PET) é o polímero sintético mais produzido e consumido do mundo. Ele é quimicamente inerte e altamente resistente à biodegradação. A persistência de produtos PET em ambientes naturais pode exceder 1.000 anos em ambientes secos (EGAN, 2022).

O Fundo Mundial da Natureza, do inglês *World Wildlife Found* (WWF), afirma que resíduos plásticos já atingiram todas as partes do oceano e afetam 88 % das espécies marinhas, provocando colapso do ecossistema em alguns locais. Eirik Lindebjerg, especialista da WWF, pede a diminuição rigorosa da poluição e produção de plástico, sugerindo foco na emissão e poluição zero, e que ocorra o mais rápido possível.

A Assembleia das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEA) aprovou o primeiro tratado global a fim de combater a poluição gerada pelo plástico, restringindo sua produção e uso. A pesquisa realizada pelo Instituto Ipsos divulgou dados sobre grande apoio do público (DW, 2022).

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) são um apelo global para acabar com os principais e mais agravantes problemas do mundo, dentre eles, defender o meio ambiente. A Agenda 2030 para os ODS é um plano de ação com 17 objetivos e 169 metas que conta com o apoio da Organização das Nações Unidas (ONU). Uma das vertentes deste panorama é proteger o planeta da degradação, por meio do consumo, produção, gestão sustentável e recursos naturais (ONU, 2022).

As metas e objetivos traçados pelos ODS para serem atingidos até 2030 incluem o incentivo do uso de fibras e materiais de fontes renováveis, gestão eficiente dos recursos naturais, fortalecer o modelo circular, reduzir o consumo de insumos petroquímicos e a desaceleração de descarte de materiais não biodegradáveis (AGENDA 2030, 2015).

O programa *Corporate Fiber and Materials Benchmark* (CFMB) desenvolvido pela *Textile Exchange*, oferece um direcionamento para medir, acompanhar e comparar o progresso de sustentabilidade das empresas relacionadas a fibras e materiais, integrados e alinhados com os ODS. O documento enfatiza o uso de fibras biodegradáveis, a redução do consumo de plástico e o modelo circular (CFMB, 2019), visando promover a longevidade dos produtos e resíduos, concentrando esforços para reter o valor dos materiais existentes por meios de ciclos perpétuos (TEXTILE EXCHANGE, 2022).

Atualmente, existem duas fortes estratégias para combater as vertentes ambientais relacionadas ao uso de materiais sintéticos e de origem animal: a primeira persegue materiais fibrosos de origem natural e livres de animais; a segunda estratégia busca reduzir ao máximo o teor não renovável dos materiais substitutos ao couro, como policloreto de vinila (PVC), poliuretano (PU) e revestimentos sintéticos (MEYER, 2021).

O desenvolvimento de biopolímeros biodegradáveis também pode ser uma solução para os danos ambientais causados pelo acúmulo de resíduos descartados. O uso de materiais de base biológica permite a obtenção de novas funcionalidades, incluindo a biodegradabilidade (AL MAMUN *et al.*, 2020).

A busca por produtos têxteis mais ecológicos que representem menor impacto ambiental, concentra-se em otimizar a seleção de materiais e seguir diretrizes de sustentabilidade (NAYAK, 2019). Essa busca trouxe o desenvolvimento de novos produtos, apresentados comercialmente como “têxteis sustentáveis substitutos ao couro animal”, com rótulos veganos e/ou materiais de origem vegetal na sua composição.

Pelo crescente aparecimento dos produtos substitutos ao couro animal rotulados como "amigos do ambiente", "veganos" e "sustentáveis", surge a seguinte pergunta de pesquisa: com base nas características de biodegradabilidade dos materiais e nas projeções e objetivos globais futuros em prol da sustentabilidade, quais materiais têxteis fibrosos substitutos ao couro animal estão mais alinhados com as expectativas futuras? De que forma a preferência dos consumidores e as expectativas dos ODS podem impactar diretamente nas decisões da indústria têxtil para o desenvolvimento e design de produto?

Em resposta ao problema de pesquisa, este trabalho de conclusão de curso tem como objetivo realizar uma análise comparativa entre os materiais têxteis substitutos ao couro animal, usando como base as características e percentuais de biodegradabilidade de suas composições.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Comparar diferentes substratos têxteis substitutos ao couro animal, comercialmente rotulados como sustentáveis e/ou de origem vegetal, com base na biodegradabilidade dos seus constituintes, associados ao novo comportamento e preferências do consumidor e às perspectivas futuras dos ODS.

1.1.2. Objetivos Específicos

- a) Analisar a tendência de comportamento do consumidor em relação às opções de origem animal;
- b) Apresentar novos materiais fibrosos usados para substituir o couro animal;
- c) Apresentar metas e objetivos globais com base nas estratégias traçadas pelos ODS, associados à substituição e escolha de matéria-prima para indústria têxtil;

- d) Realizar uma análise comparativa entre os produtos substitutos ao couro animal, a partir das quantidades percentuais de materiais biodegradáveis e não biodegradáveis na sua composição;
- e) Classificar o desempenho de biodegradabilidade dos produtos substitutos ao couro, levando em consideração as perspectivas dos ODS.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo é dedicado à uma revisão bibliográfica do tema abordado neste trabalho. Inicialmente, disserta-se sobre a tendência de comportamento do consumidor em relação ao uso e aceitação de produtos de origem animal. Em seguida, são apresentados outros tipos de materiais com classificação relacionada à sua origem e a correlação com a biodegradabilidade. Na sequência, as principais superfícies têxteis são abordadas. Por fim, foram selecionados e apresentados cinco produtos têxteis substitutos ao couro.

2.1. COMPORTAMENTO DO CONSUMIDOR E PERSPECTIVAS DE PRODUÇÃO ORIENTADAS PELOS ODS

A questão dos abates cruéis de animais para a manufatura de vestuário e adornos, como peles e couro, é polêmica na indústria da moda moderna, levando a severas críticas. Além disso, a prioridade da produtividade industrial sobre o bem-estar animal tem sido debatida (CHOI *et al.*, 2021).

A era da informação trouxe aos consumidores a possibilidade de investigar a procedência dos produtos. Em contrapartida, o estudo de comportamento de preferências do consumidor tornou-se possível para o mapeamento dos interesses nas buscas dos usuários e gerações futuras. Empresas como *Worth Global Style Network* (WGSN) são plataformas especializadas em realizar estudos de tendências sobre as preferências e tomada de decisão do consumidor, com base em curadoria de dados, análises do panorama global e conhecimento aprofundado sobre a indústria (WGSN, 2022).

Google Trends é uma ferramenta do Google que gera relatórios personalizados a partir da tendência de interesses dos usuários do mundo todo. É possível verificar a frequência e o número de buscas de um termo específico na internet, a partir da introdução de filtros, como período de tempo, região geográfica e categoria.

Com a tendência de alta dos produtos sustentáveis e livres de crueldade animal na indústria da moda, termos como "casaco de couro" perderam sua popularidade, conforme apresentado na Figura 1, que indica a frequência de buscas por "*leather coat*", em inglês, na

categoria "moda e estilo" entre 2004 até abril de 2022 por todo o mundo na plataforma *Google Trends*.

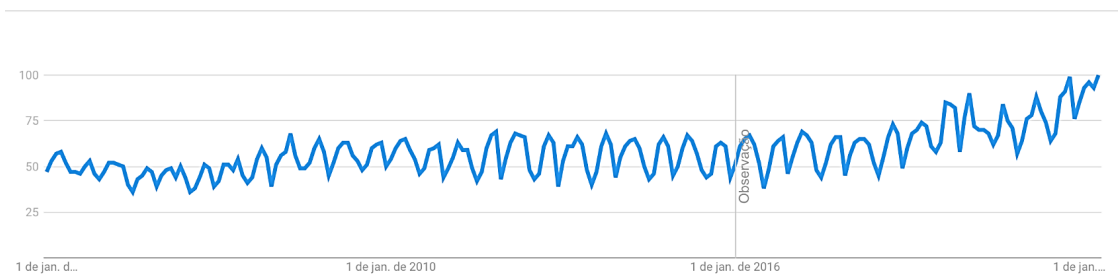
Figura 1 — Tendência de busca no *Google Trends* por *leather coat*



Fonte: A autora (2022)

De forma inversamente proporcional, a busca pelas palavras *sustainability* e *vegan*, traduzidos do inglês como sustentabilidade e vegano, respectivamente, cresce na categoria "moda e estilo" na plataforma *Google Trends*, entre o período de 2004 a abril de 2022 em todo o mundo conforme ilustrado na Figura 2 e 3, respectivamente.

Figura 2 — Tendência de busca no *Google Trends* por *sustainability*



Fonte: A autora (2022)

Figura 3 — Tendência de busca no *Google Trends* por *vegan*



Fonte: A autora (2022)

O *People for the Ethical Treatment of Animals* (PETA) é um dos grupos que trabalha pela proteção animal e incentiva a substituição de produtos animais por materiais veganos (REIMERS *et al.*, 2016).

Muitos países já acataram os incentivos e limitações das organizações similares ao PETA em relação ao uso de peles e couro. Por exemplo, a Inglaterra, que proibiu a criação de animais para esta finalidade em 2000, a Áustria em 2004 e a Holanda em 2012 (ECOTEXTILE, 2020).

Os principais problemas relacionados aos produtos de couro, além da percepção de alguns grupos e estudos referentes à aceitação do consumidor final em relação ao bem-estar animal, é a toxicidade dos produtos químicos usados na etapa de curtimento. Algumas alternativas são a preferência por materiais derivados de fibras naturais, biopolímeros, celulose bacteriana e produtos compósitos proveniente de fungos (HILDEBRANDT *et al.*, 2020).

A tendência na tomada de decisão durante o desenvolvimento de produtos têxteis é muito influenciada pela preferência dos consumidores, conforme apresentado nos indicadores do *Google Trends*, e pelos estudos das novas e futuras gerações realizados por empresas como a WSGN. Além das vertentes comerciais orientadas pelos consumidores e pesquisas, as perspectivas governamentais futuras, como os ODS, também orientam as rotas de consumo e produção. Dessa forma, a correlação entre todos os fatores resulta em um novo comportamento de escolhas industriais e comerciais.

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) são um apelo global para combater os principais problemas sustentáveis do mundo, dentre eles, proteger o meio ambiente e o clima, com metas traçadas para serem alcançadas até 2030 (ONU, 2022). Os

ODS reúnem 17 objetivos e 169 metas em prol da sustentabilidade social, ambiental e econômica. A Agenda 2030 é um acordo intergovernamental desenvolvido a partir dos objetivos e metas, reunindo 193 países do mundo (CFMB, 2019). A Figura 4 apresenta os 17 objetivos dos ODS.

Figura 4 — Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU (2021)

Dentre os 17 objetivos e 169 metas, enfatiza-se a substituição de materiais não biodegradáveis por opções biodegradáveis, redução do consumo de plástico e ações para combater o lixo marinho e microplástico.

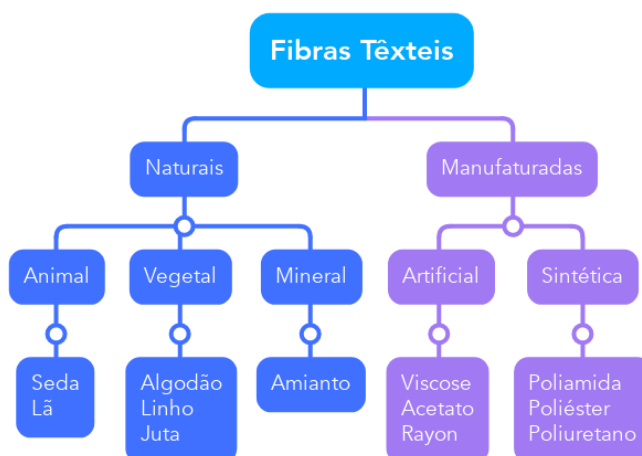
A *Textile Exchange* é uma organização global sem fins lucrativos que impulsiona ações positivas para a indústria têxtil e moda, que desenvolveu o *Corporate Fiber and Materials Benchmark* (CFMB), um documento produzido para auxiliar na estrutura de implementação, substituição e operação das metas a partir dos 17 ODS definidos.

2.2. ORIGEM DOS MATERIAIS TÊXTEIS

A seleção de materiais no projeto e fabricação de um produto desempenha um papel vital no campo da engenharia. Os substratos selecionados para determinada aplicação são usados para explorar propriedades físicas e mecânicas de acordo com a performance esperada e a conquista da satisfação dos clientes (THYAVIHALLI *et al.*, 2019).

A fibra é o elemento têxtil primário, que dá origem ao fio, tecido e outras estruturas têxteis na sequência produtiva. Uma fibra é definida por um material de comprimento, no mínimo, 100 vezes maior em relação ao seu diâmetro (BLACKBURN, 2005) e pode ser classificada de acordo com sua origem em natural e manufaturada (GUPTA, 2008), conforme ilustrado na Figura 5.

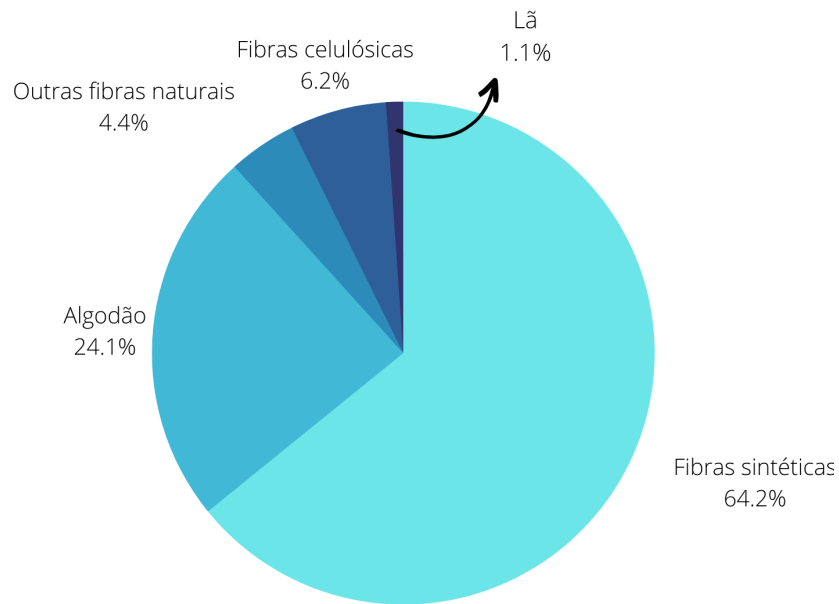
Figura 5 — Classificação das fibras têxteis



Fonte: Adaptado de Gupta (2008)

Em 2017, foi realizado um estudo preliminar de consumo mundial de fibras têxteis, conforme apresentado na Figura 6.

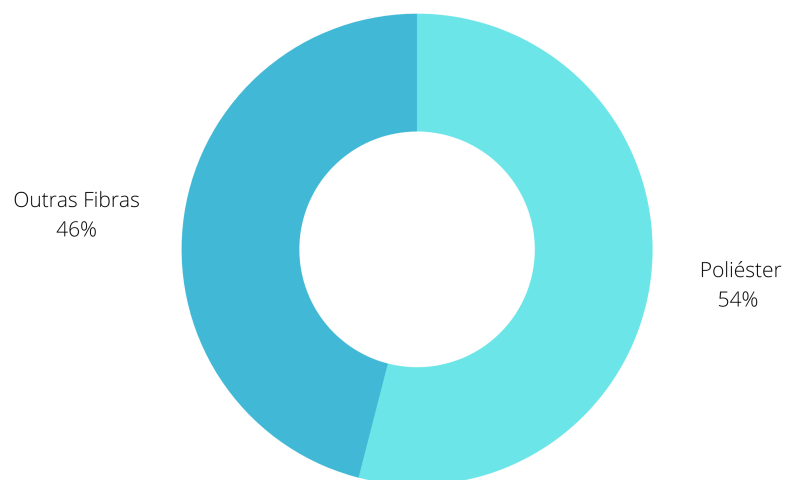
Figura 6 — Consumo mundial de fibras têxteis



Fonte: Adaptado de KOZŁOWSKI *et al.* (2020)

O estudo aponta que 64,2 % do consumo de fibras é de origem petroquímica. A *Textile Exchange* desenvolveu um estudo em 2021, voltado especificamente para a produção e consumo do poliéster comparado a outras fibras. Os dados complementares indicam que o poliéster representa 54 % da fabricação total mundial, conforme a Figura 7.

Figura 7 — Produção mundial de fibras em 2021



Fonte: Adaptado de *Textile Exchange* (2021)

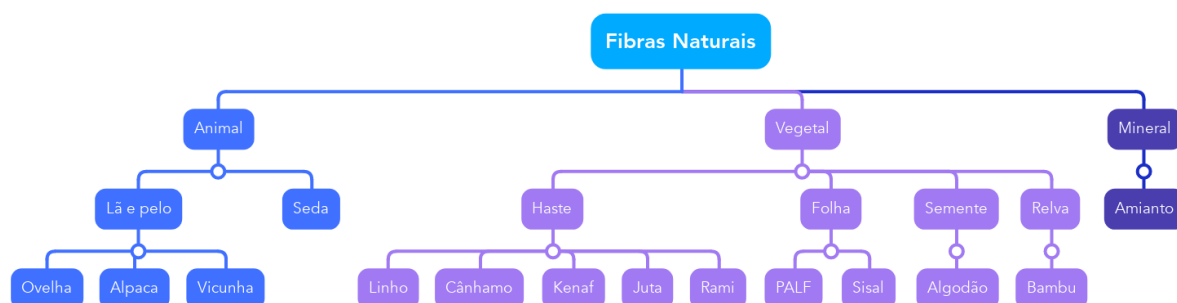
Os pesquisadores têm mostrado muito interesse no desenvolvimento de produtos a partir de insumos naturais para substituir os sintéticos, uma vez que se tem percebido um aumento na conscientização sobre os danos causados por materiais de origem petroquímica (THYAVIHALLI *et al.*, 2019).

A indústria têxtil tem sido impactada por novas técnicas e desenvolvimento de processos de fabricação e artigos mais ecológicos. Muitos polímeros manufaturados biodegradáveis estão sendo pesquisados e desenvolvidos, como o poliácido láctico (PLA), que pode ser submetido a processos de manufatura têxtil, como fiação e posteriormente tecelagem e malharia (YOUNES, 2017).

2.2.1.MATERIAIS TÊXTEIS DE ORIGEM NATURAL

As matérias-primas têxteis de origem natural são aquelas disponíveis e produzidas pela natureza, sendo materiais fibrosos prontos para entrar na cadeia produtiva têxtil. Os substratos de origem natural são majoritariamente de origem vegetal e animal. O primeiro é essencialmente à base de celulose, enquanto o segundo de base proteica (PEÇAS, 2018). As fibras de origem mineral representam uma terceira classe de matéria-prima natural, mas não são utilizadas no segmento têxtil. A Figura 8 ilustra a classificação das principais fibras naturais de acordo com sua origem.

Figura 8 — Classificação de fibras naturais



Fonte: Adaptado de KOZŁOWSKI *et al.* (2020)

As fibras de origem natural vegetal podem ser extraídas de plantas, a partir de suas folhas, cascas e frutos. A disponibilidade destes materiais, sua biodegradabilidade, massa

reduzida, resistência mecânica e capacidade de cultivo em amplas regiões demográficas do mundo, tornaram as fibras naturais altamente viáveis em diferentes aplicações e em diversas áreas (MADHU *et al.*, 2018).

O algodão (CO) é o material têxtil natural mais consumido no mundo, correspondendo a aproximadamente 24 % da produção mundial de fibras. É uma matéria-prima versátil, comumente usada para produção de vestuário em geral e compósitos para aplicações industriais (KOZŁOWSKI *et al.*, 2020).

A fibra da folha de abacaxi (PALF), extraída das folhas durante seu cultivo, geralmente é descartada como resíduo. É abundante e de fácil disponibilidade, tornando-se um material viável. A PALF apresenta propriedades mecânicas superiores quando comparada a outras fibras naturais. É um substrato usado em vários setores e diferentes aplicações, como automobilística, materiais para construção, compósitos avançados e produtos têxteis em geral (THYAVIHALLI *et al.*, 2019). São fibras celulósicas, resistentes à tração, possuem baixa densidade e são brilhosas (JOSE *et al.*, 2016).

A fibra de coco é obtida a partir da casca da fruta, proveniente de coqueiros, cultivados principalmente em regiões tropicais, majoritariamente cultivados na Índia, Sri Lanka, Indonésia, Filipinas e Malásia. É uma fibra leve, resistente, resiliente e possui maior diâmetro quando comparada a outros materiais fibrosos de origem natural (THYAVIHALLI *et al.*, 2019).

Dentre as principais fibras de origem natural animal, pode-se citar a seda e a lã. A primeira é proveniente do bicho da seda, enquanto a segunda pode ser proveniente de uma ampla variedade de animais, como ovelha, alpaca e carneiros. Os materiais têxteis de origem animal podem ser considerados nobres e de valor agregado. A produção mundial de lã representa 1 % da fabricação total de fibras têxteis (CFMB, 2021).

Os recursos naturais fibrosos são renováveis e totalmente biodegradáveis. Em um futuro próximo, as fibras naturais podem se tornar uma das fontes sustentáveis e renováveis aptas para substituir fibras sintéticas em muitas aplicações (KOZŁOWSKI *et al.*, 2020).

2.2.2. MATERIAIS TÊXTEIS DE ORIGEM SINTÉTICA

Os polímeros sintéticos são provenientes do petróleo e originados a partir de centenas ou milhares de moléculas orgânicas menores, os monômeros, que fazem fortes ligações químicas covalentes (CHAMAS *et al.*, 2020). Estas características resultam em materiais excelentes para muitas aplicações, como embalagens e têxteis médicos estéreis, mas também resultam em uma elevada durabilidade quando descartados.

Os polímeros sintéticos compreendem principalmente sete materiais básicos: polietileno (PE), polipropileno (PP), PVC, PET, poliestireno (PS), policarbonato e poli(metacrilato de metila) (NDREEßEN *et al.*, 2019). Na área têxtil, a poliamida e o elastano são considerados materiais sintéticos essenciais para essa indústria e representaram 5 % e 5,2 % do consumo mundial de fibras em 2021, respectivamente, segundo o relatório anual do *Corporate Fiber and Materials Benchmark* (CFMB) (TEXTILE EXCHANGE, 2021).

Os polímeros sintéticos podem ser classificados como termoplásticos, também conhecidos como plásticos, e termofixos. A principal diferença entre polímeros termoplásticos e termofixos está em suas modificações quando uma determinada temperatura é atingida no aquecimento do material. Essa temperatura é denominada temperatura de transição vítrea (Tg). Os termoplásticos, quando aquecidos além da sua Tg, passam para o estado líquido viscoso, ou seja, se fundem, e podem ser moldados novamente com o resfriamento subsequente, sem a alteração química e estrutural do composto. Os materiais termofixos caracterizam-se pelo processo de solidificação irreversível, sofrendo decomposição química e severa alteração estrutural quando aquecidos além da sua Tg (BÎRCĂ *et al.*, 2019).

Os materiais plásticos possuem excelentes propriedades mecânicas, podem resistir à água e outros danos ambientais, e sua versatilidade os tornam adequados para múltiplas aplicações. Em geral, os polímeros derivados do petróleo não são biodegradáveis e seu acúmulo no meio ambiente representa uma preocupação social que impacta a saúde humana e o funcionamento normal dos ecossistemas naturais (ZAMBRANO *et al.*, 2020).

A fabricação e consumo dos polímeros sintéticos representa mais de 60 % da produção mundial, sendo destinado a diversas aplicações como têxteis e embalagens (KOZŁOWSKI *et al.*, 2020). Verifica-se um aumento exponencial na produção de plástico nas últimas décadas, chegando a 400 milhões de toneladas por ano. Indica-se que a quantidade deve dobrar até 2040 (UNEP, 2022).

2.2.3. BIOPOLÍMEROS

Um biopolímero pode ser definido como um material polimérico constituído por matérias-primas de base biológica (natural renovável) e/ou biodegradáveis. Dessa forma, existem três grupos de biopolímeros: i) biopolímeros biodegradáveis proveniente de insumos petroquímicos; ii) biopolímeros biodegradáveis, de recursos renováveis; iii) biopolímeros não biodegradáveis, de recursos renováveis. A biodegradabilidade do material depende da estrutura química e molecular do composto, sendo independente da origem dos monômeros. Isso significa que nem todo biopolímero é biodegradável (AL MAMUN *et al.*, 2020).

Os biopolímeros podem ser de origem natural, artificial ou sintética. Dentre os principais presentes no mercado atualmente, o PLA e fibras comercialmente registradas como Lyocell, Modal, Meryl Skinlife e Diolen Care, podem ser aplicados em diversos setores como vestuário, têxteis técnicos e esportivos (YOUNES, 2017).

O PLA é um dos principais biopolímeros usados para substituir polímeros sintéticos convencionais. Ele é um termoplástico biodegradável, produzido a partir de recursos renováveis como milho e arroz e é amplamente usado em aplicações médicas por ser biocompatível. Sua versatilidade produtiva permite que seja utilizado em diferentes processos, como fundição, formação de filme, extrusão e moldagem por sopro ou processo de fabricação de fibras têxteis (AL MAMUN *et al.*, 2020).

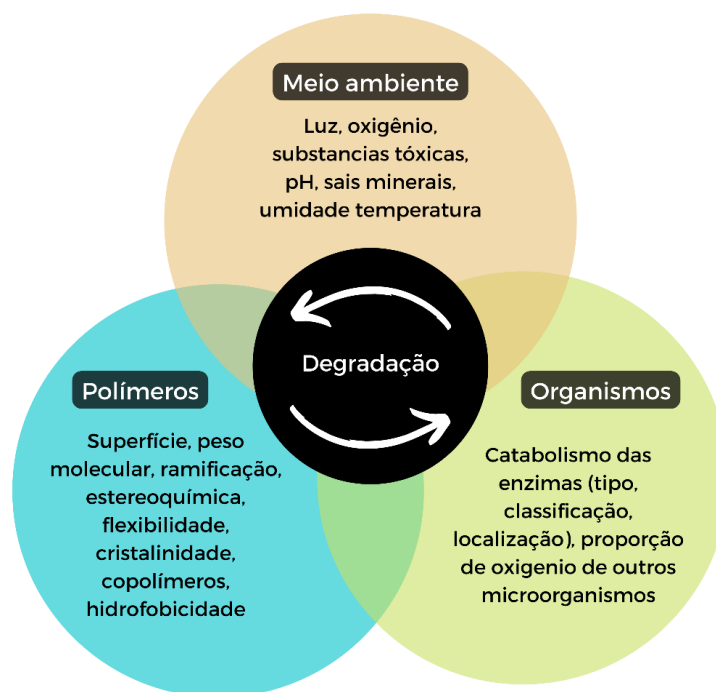
2.3. BIODEGRADABILIDADE

O tempo de decomposição dos materiais é decorrente de diversas variáveis, dentre as principais, a estrutura molecular e química do composto, ambiente e condições de exposição do descarte (AL MAMUN *et al.*, 2020). Cristalinidade, hidrofobicidade e características intrínsecas da estrutura física e química do polímero também são fatores que influenciam na sua biodegradabilidade. Em geral, os polímeros sintetizados biologicamente são facilmente biodegradáveis em ambientes naturais, mas os polímeros sintéticos são menos biodegradáveis ou degradam-se muito lentamente (ZAMBRANO, 2020).

Além disso, a definição para o termo 'biodegradável' aplicada para o estudo dos materiais, também gera controvérsias e possivelmente conclusões distintas para o mesmo

objetivo, uma vez que alguns autores definem biodegradável como um material que sofre mudanças químicas e estruturais ao longo do tempo; outros definem o termo pela perda de massa e redução das dimensões das moléculas do substrato; e uma terceira definição consiste nos polímeros que podem ser assimilados e digeridos por sistemas biológicos, como ataques enzimáticos (KINT *et al.*, 1999). Outro ponto falho em definições é a escala de tempo e extensão da decomposição do processo para que o material seja ou não considerado biodegradável (GARCÍA-DEPRAECT *et al.*, 2021). A Figura 9 apresenta algumas variáveis que influenciam na biodegradabilidade dos materiais.

Figura 9 — Variáveis que influenciam na biodegradabilidade dos materiais



Fonte: Adaptado de MIERZWA-HERSZTEK *et al.* (2019)

O aumento prejudicial no uso de plásticos convencionais levou ao desenvolvimento de alternativas totalmente biodegradáveis para reduzir as poluições ambientais. As fibras naturais são possibilidades que mostram excelência nessa substituição (AALYIA *et al.*, 2019).

Um dos principais problemas enfrentados em relação aos polímeros sintéticos é o acúmulo de resíduos, proveniente do pós-consumo dos produtos, uma vez que são materiais não biodegradáveis e geram uma enorme concentração na natureza. Esse é um forte estímulo para substituí-los por materiais de origem natural ou biodegradável (SHEN *et al.*, 2010).

O descarte e biodegradação adequada dos plásticos pode ser uma estratégia para evitar os efeitos negativos sobre o meio ambiente. A preferência por plásticos compostáveis ou biodegradáveis é uma alternativa eficaz. Mesmo que não seja possível a substituição completa na composição dos materiais, os percentuais nocivos podem ser reduzidos (THYAVIHALLI *et al.*, 2019).

O poliéster representa mais da metade da produção mundial de fibras têxteis (TEXTILE EXCHANGE, 2021) e existem mecanismos distintos para sua degradação. A presença do ácido tereftálico (TA) no polímero de PET, cria obstáculos para sua biodegradação devido ao anel de hidrocarboneto aromático que confere rigidez e hidrofobicidade à cadeia polimérica (EGAN *et al.*, 2022).

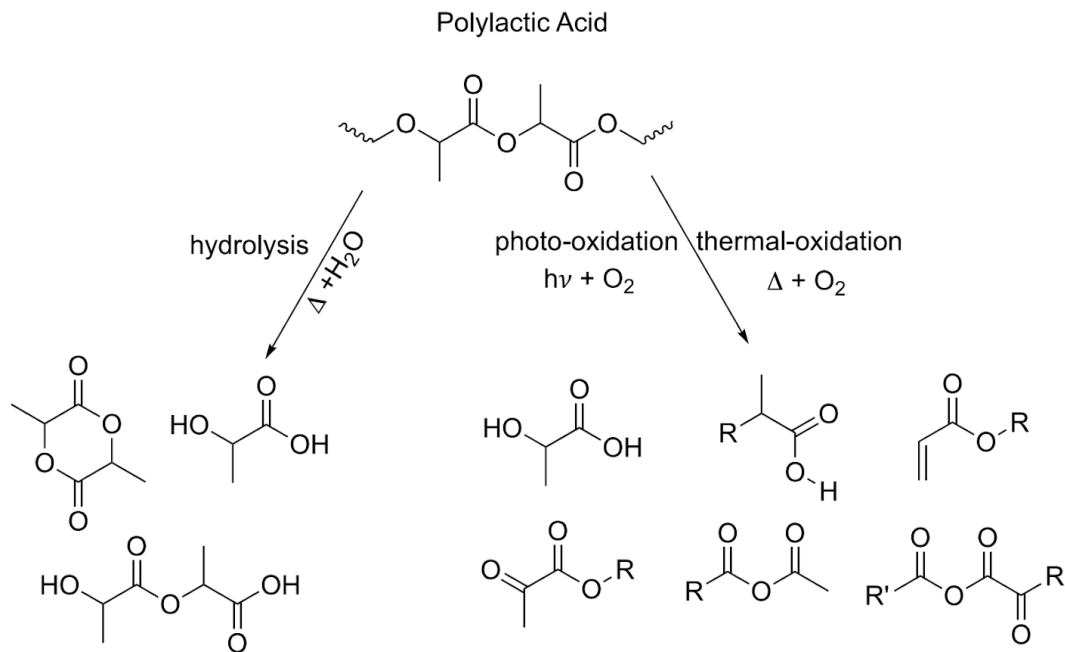
A biodegradação pode ser definida como a biotransformação de um material em biomassa, CO₂, CH₄, água e metabólitos, através de microrganismos e suas enzimas (GARCÍA-DEPRAECT *et al.*, 2021).

Conceitualmente, para ocorrer a degradação do PET a partir de microrganismos, é necessário ocorrer uma despolimerização catalisada por enzimas para diminuir a dimensão da molécula, passando da configuração de polímero para monômeros, para posteriormente serem consumidos por microrganismos. Uma vez que ocorre a despolimerização, o monômero passará por reações bioquímicas (SALVADOR *et al.*, 2020). Essas reações podem ocorrer por diversas vias, conforme os tipos de microrganismos envolvidos.

Com o crescimento e preferência por materiais biodegradáveis, alternativas para tornar as fibras sintéticas mais suscetíveis à degradação ambiental passaram a ser exploradas. Os polímeros sintéticos podem ser produzidos com modificações químicas para obterem maior capacidade de biodegradação. Pela adição de aditivos na cadeia carbônica do substrato, promove-se a reação do material sob raios ultravioleta, induzindo a degradação por foto-oxidação. Uma segunda alternativa para o mesmo objetivo, é o desenvolvimento de polímeros com estruturas hidrolisáveis, como éster, amida e uretano, que se quebram em moléculas de dimensões menores no processo de degradação (VROMAN *et al.*, 2009).

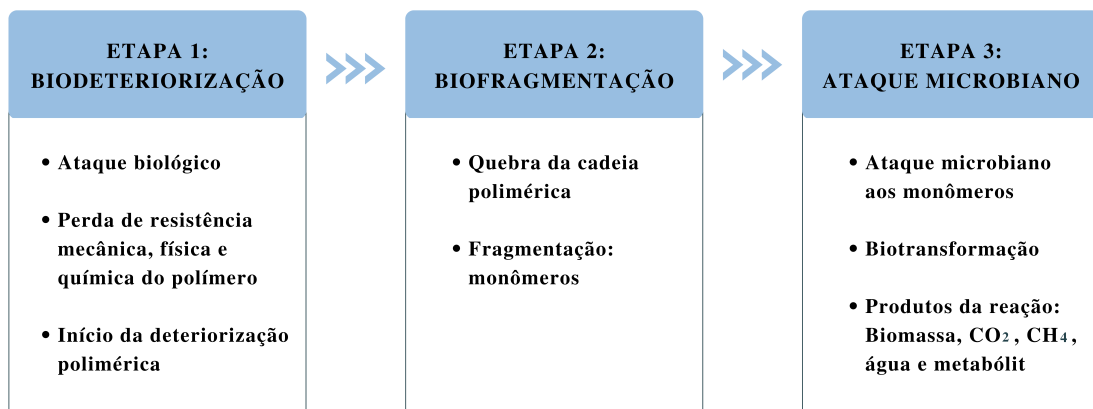
O PLA é um poliéster bioderivado e biodegradável sob condições de compostagem industrial. Sua degradação normalmente ocorre através de hidrólise ou degradação foto-oxidativa, conforme ilustrado na Figura 10, que apresenta os principais produtos dessa reação (CHAMAS *et al.*, 2020).

Figura 10 — Mecanismos de biodegradação do PLA



A principal característica para que um polímero seja biodegradável é a presença de ligações hidrolisáveis, como grupos ésteres, amidas, glicosídicas e uretanos na cadeia carbônica ou conter grupos oxidáveis e que permitam clivagem de ligações (GARCÍA-DEPRAECT *et al.*, 2021). A Figura 11 apresenta as etapas de biodegradação dos materiais poliméricos biodegradáveis.

Figura 11 — Etapas de de biodegradabilidade de polímeros biodegradáveis



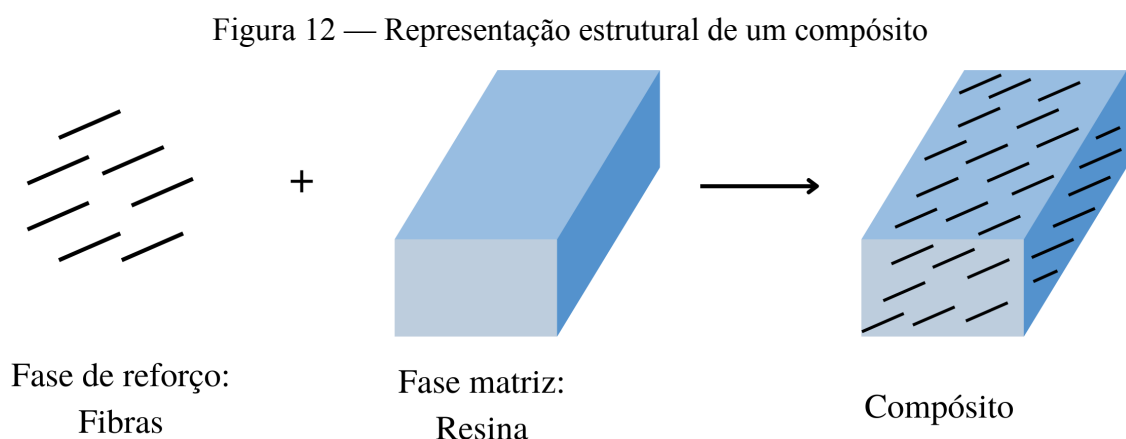
Fonte: Adaptado de GARCÍA-DEPRAECT *et al.* (2021)

2.4. SUPERFÍCIE TÊXTIL

Uma superfície têxtil, como um nãotecido, é produzida diretamente a partir de processos de formação e consolidação de fibras, distribuídas de maneira orientadas direcional ou aleatoriamente, consolidadas por fricção e/ou coesão e/ou adesão (RUSSEL, 2006). O entrelaçamento de fios, por sua vez, dá origem a outros dois tipos de superfícies têxteis: tecido plano (cruzamento de fios na direção da largura e do comprimento) e malha (decorrente da formação de laçadas) (OGULATA, 2006; SPENCER, 2001). Para os setores de confecção e vestuário, peles e couros podem ser considerados superfícies têxteis (BITTNER, 2004).

2.4.1. COMPÓSITOS

Um compósito é uma estrutura que possui dois ou mais componentes. É constituído por um elemento de reforço, que pode ser uma superfície têxtil em estrutura de nãotecido, tecido plano ou malha, por exemplo, e fornece as características mecânicas necessárias ao material. A fase matriz é o segundo componente, que permite uma deformação uniforme dos elementos de reforço (VASILIEV, 2017). A resina é o polímero usado como matriz nos compósitos, podendo ser de origem sintética ou biológica. As resinas de base biológica são polímeros total ou parcialmente obtidos a partir de recursos renováveis (GHOLAMPOUR, 2020). A Figura 12 ilustra a estrutura de um material compósito.



Fonte: Adaptado de NAIR *et al.* (2021)

As fibras sintéticas foram muito utilizadas nas últimas décadas para o desenvolvimento de novos materiais compósitos, com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas e aumentar a resistência à fricção e desgaste. A matéria-prima petroquímica não é renovável e origina produtos não biodegradáveis, além da liberação de elevada quantidade de dióxido de carbono na produção. Com base nisso, os pesquisadores passaram a buscar diferentes fibras, como as de origem natural, para serem usadas como reforço no desenvolvimento de materiais compósitos, com o objetivo de substituir as fibras sintéticas (THYAVIHALLI *et al.*, 2019).

Biocompósitos são considerados uma subcategoria dos compósitos, onde se utilizam materiais biopolímeros, seja na fase matriz ou na fase reforço (DICKER, 2014). Fibras naturais e materiais sintéticos biodegradáveis podem ser usados para desenvolver biocompósitos, trazendo benefícios ao meio ambiente como biodegradabilidade, renovabilidade do material e redução na emissão de gases de efeito estufa. A redução do acúmulo de resíduos não biodegradáveis é uma das principais vantagens da substituição (THYAVIHALLI *et al.*, 2019).

2.4.2.COURO

O couro pode ser definido como a pele de um animal, com os pelos removidos, preparado para uso por processo de curtume ou similares, que apresentam o objetivo de preservá-lo contra a deterioração e torná-lo maleável ou flexível quando seco (QUA, 2019). O couro pode ser proveniente de diversos tipos de animais, resultando em diferentes tipos, dimensões e qualidades.

Em relação às propriedades do couro, estas se devem à sua estrutura criada durante o processo de curtimento, onde a proteína de colágeno, principal componente sólido da pele, é quimicamente estabilizada, dando origem a um material fibroso tridimensional. O processo de curtimento e acabamento do couro envolve elevados níveis de químicos tóxicos, como amônia e sulfeto de hidrogênio. Além disso, o curtimento gera uma grande quantidade de resíduos. Uma tonelada de couro cru rende 250 – 300 kg de couro como produto final e dá origem a aproximadamente 600 kg de resíduos sólidos (QUA, 2019).

A maioria dos produtos de pele e couro é proveniente de animais criados em cativeiro, onde existem relatos de condições precárias, como gaiolas pequenas e abates cruéis. Para a confecção de uma bolsa de couro de jacaré são necessários três animais. Além disso, a indústria de couro está entre as cinco do mundo que mais emite metais tóxicos (CHOI *et al.*, 2021).

A etapa de curtimento do couro, responsável por evitar a putrefação e agregar resistência à degradação térmica e biológica do material, quando executada em processo convencional, emprega metais como cromo, alumínio, ferro e zinco. Alguns problemas associados são o elevado teor de toxicidade dos efluentes gerados e ações cancerígenas e mutagênicas (KRISHNAMOORTHY, 2013).

2.4.2.1. LEI DO COURO

Os principais materiais têxteis substitutos ao couro lançados no mercado foram os comercialmente chamados de "couro ecológico", "couro sintético" e "couro vegano", termos considerados errôneos perante a Lei 4.888, vigente desde 1965, intitulada Lei do Couro, que destaca que somente produtos oriundos de pele animal podem receber a denominação "couro".

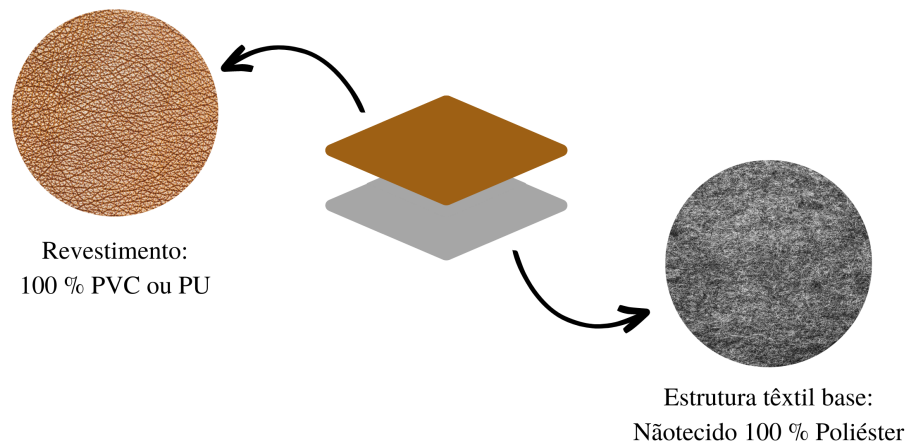
Esta lei varia conforme o país, sendo que alguns seguem a mesma regra de nomenclatura, como o padrão europeu DIN EN 15987 *Leather – Terminology – Key definitions for the leather trade*, que define as terminologias apropriadas para o material. Outros países não possuem definições de nomenclatura, dessa forma muitos autores descrevem os materiais têxteis substitutos ao couro como *unleather*, *synthetic leather*, *artificial leather* e *vegan leather*, traduzidos do inglês como não couro, couro sintético, couro artificial e couro vegano, respectivamente.

2.4.3. TÊXTEIS SUBSTITUTOS AO COURO

As alternativas sintéticas convencionais que substituem o couro, normalmente consistem em estrutura têxtil com base de não tecido (geralmente poliéster) revestida por duas ou mais camadas de polímero sintético, como PVC ou filmes de PU (MEYER, 2021),

conforme representado na Figura 13. Os polímeros sintéticos possuem origem petroquímica, sendo uma fonte não renovável, e resultando em materiais não biodegradáveis (BLACKBURN, 2005).

Figura 13 — Estrutura de um material têxtil sintético substituto ao couro

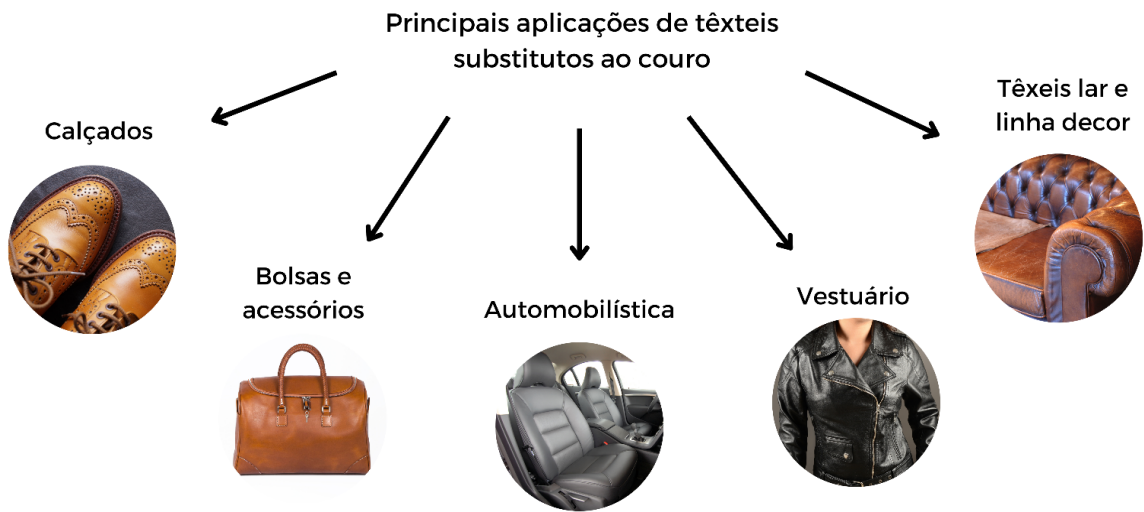


Fonte: A autora (2022)

Na produção de têxteis sintéticos convencionais substitutos ao couro com base de nãotecido, a técnica de agulhagem é comumente utilizada para consolidar o material, o qual recebe posteriormente uma impregnação de resina de PU para proporcionar uma superfície lisa, livre de marcas de agulha e com elevada resistência à abrasão (RUSSEL, 2006).

Os materiais desenvolvidos para substituir substratos têxteis de origem animal, neste caso o couro, apresentam uma ampla gama de aplicações finais, nos mais variados setores, conforme apresentado na Figura 14.

Figura 14 — Principais aplicações de têxteis substitutos ao couro

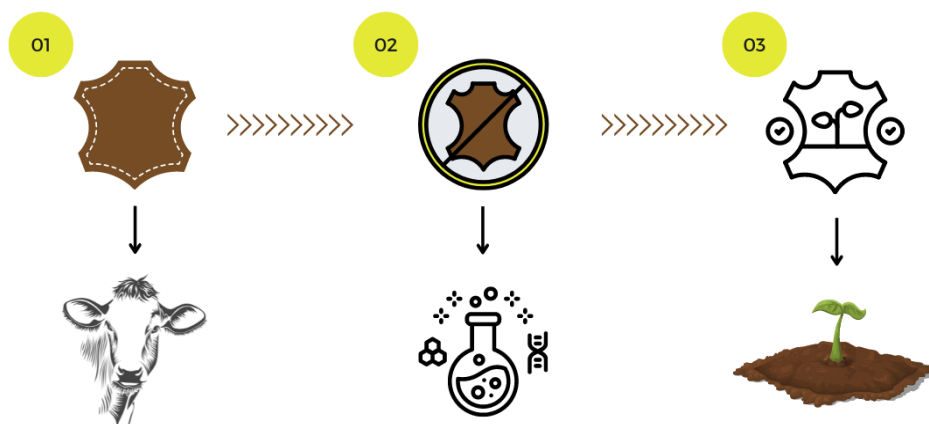


Fonte: A autora (2022)

2.4.3.1. Nova geração de têxteis substitutos ao couro

Para alcançar a sustentabilidade na moda e produção têxtil, os fabricantes devem se concentrar em diferentes aspectos durante a produção, como a seleção de matéria-prima, e seguir diretrizes de sustentabilidade (NAYAK, 2019). Essa busca trouxe o desenvolvimento de novos produtos, apresentados comercialmente como uma nova geração de têxteis substitutos ao couro animal, com apelo sustentável e rótulos veganos e/ou materiais de origem vegetal na sua composição.

Figura 15 — Representação da evolução do couro e seus substitutos



Fonte: A autora (2022)

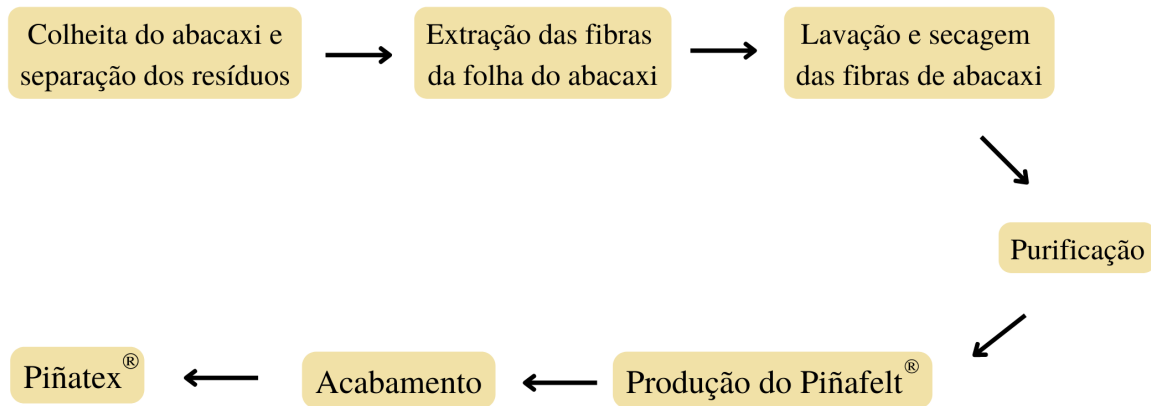
Neste sentido, a seguir, serão apresentados alguns dos produtos mais atuais do mercado, desenvolvidos com objetivo de entregar opções mais sustentáveis, produzidos com materiais de origem vegetal: Piñatex®, Desserto®, Malai e Mylo™.

2.4.3.1.1. Piñatex®

Piñatex® é um produto têxtil substituto ao couro da marca Ananas Anam, produzido a partir de fibras provenientes dos resíduos de folhas da planta de abacaxi. Essas folhas são um subproduto da colheita de abacaxi (ANAS ANAM, 2022).

Segundo o fabricante, a estrutura têxtil base do Piñatex® é o Piñafelt®, um não-tecido proveniente de PALF e PLA, ambos combinados na construção e submetidos a um processo de consolidação mecânica. Em seguida, o Piñafelt® é submetido ao acabamento com poliuretano e/ou biopoliuretano (Bio PU) para resultar no têxtil Piñatex®, conforme o processo indicado na Figura 16.

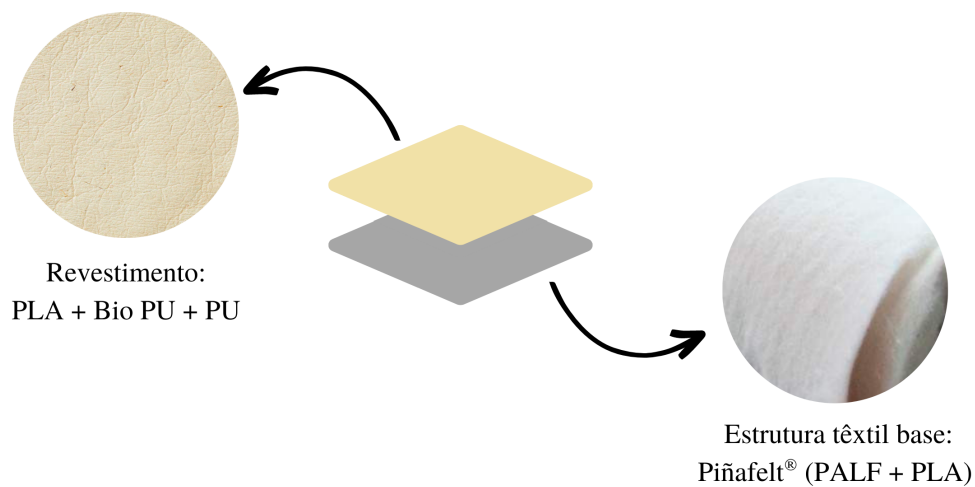
Figura 16 — Etapas do processo de produção do Piñatex®



Fonte: Adaptado de Ananas Anam (2022)

A estrutura têxtil do Piñatex® segue o padrão dos primeiros materiais sintéticos convencionais substitutos ao couro lançados no mercado. A principal diferença entre eles é a composição final do produto, resultado da seleção de materiais e características das matérias-primas, atribuindo diferenças na constituição do produto final. A Figura 17 ilustra a estrutura têxtil do Piñatex®.

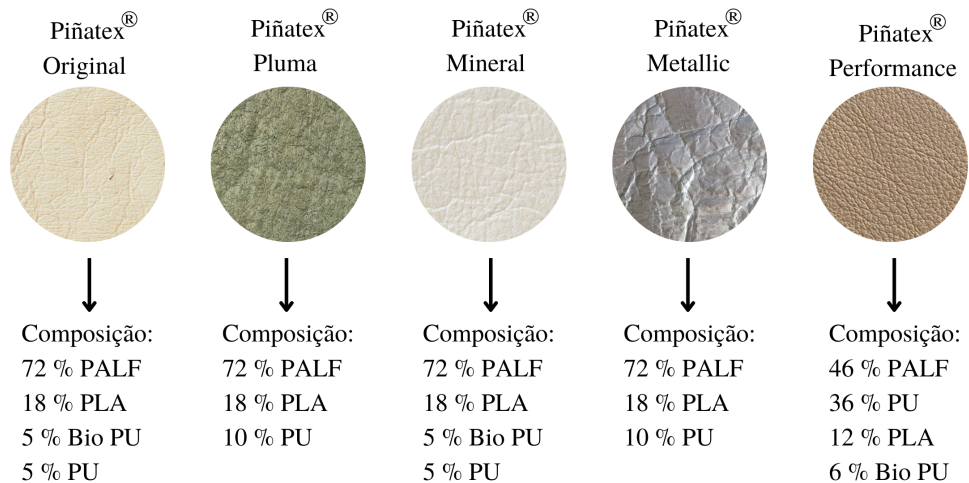
Figura 17 — Representação estrutural do Piñatex®



Fonte: A autora (2022)

O Piñafelt® é a estrutura base de cinco tipos de produtos finais oferecidos pela marca. Cada uma das cinco linhas de produto Piñatex® (Original, Pluma, Mineral, Metallic e Performance) recebe um acabamento diferente, resultando em aparências superficiais distintas, conforme indicado na Figura 18.

Figura 18 — Linha de produtos Piñatex®

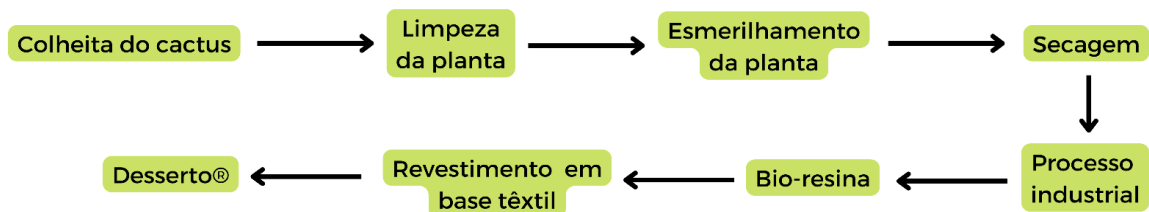


Fonte: Adaptado de Ananas Anam (2022)

2.4.3.1.2. Desserto®

Desserto® é um produto de origem mexicana, sendo o cactus a matéria-prima para a produção de bioresina para o revestimento do produto final (DESSERTO, 2022). O processo de fabricação segue as etapas descritas na Figura 19.

Figura 19 — Processo de fabricação do Desserto®



Fonte: A autora (2022)

Atualmente, os produtos da marca Desserto® são encontrados nas mais diversas áreas, conforme apresentado na Figura 20.

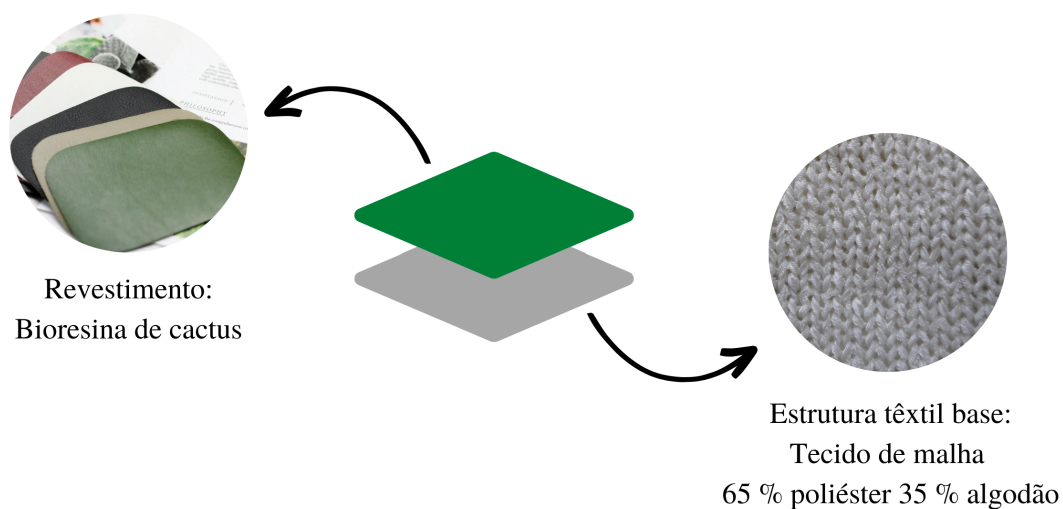
Figura 20 — Confeção e aplicações com Desserto®



Fonte: Adaptado de Desserto® (2022)

O catálogo da marca apresenta quatro linhas de produtos com diferentes estruturas, composições e cores de revestimentos. A Figura 21 representa a estrutura do principal produto da marca.

Figura 21 — Estrutura têxtil do Desserto® Standard Line (SKU 10005)



Fonte: A autora (2022)

Todos os produtos do Desserto® possuem o mesmo revestimento superficial de fórmula orgânica proveniente do cactus combinado com PU na composição, resultando na bioresina de cactus (RODRIGUES, 2022).

2.4.3.1.3.Malai

Malai é um material desenvolvido inteiramente com celulose bacteriana orgânica e sustentável, cultivada a partir da polpa da fruta que representa resíduos agrícolas provenientes da indústria de coco, localizada no sul da Índia. Os desperdícios de água de coco são usados para alimentar a polpa para a sua produção. Os resíduos da água de coco são colocados em recipientes para que se inicie o processo de fermentação da celulose bacteriana. O material proveniente da fermentação passa então por um processo de refinamento e é enriquecido com fibras naturais, gomas e resinas para criar um material mais durável (MALAI, 2021). A Figura 22 apresenta o processo de fabricação do Malai.

Figura 22 — Processo de fabricação do Malai



Fonte: Adaptado de Malai (2022)

Malai é um biocompósito que entra no mercado como proposta de material têxtil substituto ao couro, descrito como um produto flexível, durável e resistente à água. A Figura 23 apresenta algumas aplicações que podem ser feitas a partir do Malai.

Figura 23 — Aplicações com Malai



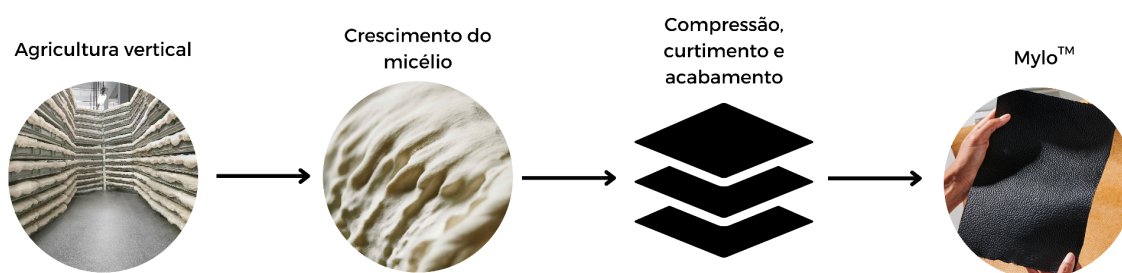
Fonte: Adaptado de Malai (2022)

2.4.3.1.4. Mylo™

Mylo™ é um biomaterial desenvolvido por cientistas e engenheiros da Bolt Threads, produzido a partir do micélio. Espumas à base de micélio compreendem uma categoria emergente de biocompósitos, agregando valorização dos resíduos lignocelulósicos e o crescimento natural de fungos (GIROMETTA *et al.*, 2019).

Os cogumelos são os frutos do micélio, que é um material fibroso, renovável e presente no solo a partir de plantas e outras árvores. O processo de produção do Mylo™ consiste no crescimento vertical do micélio em camadas, seguido de compressão, curtimento, tingimento e acabamento (MYLO, 2022) conforme ilustrado na Figura 24.

Figura 24 — Processo de fabricação do Mylo™



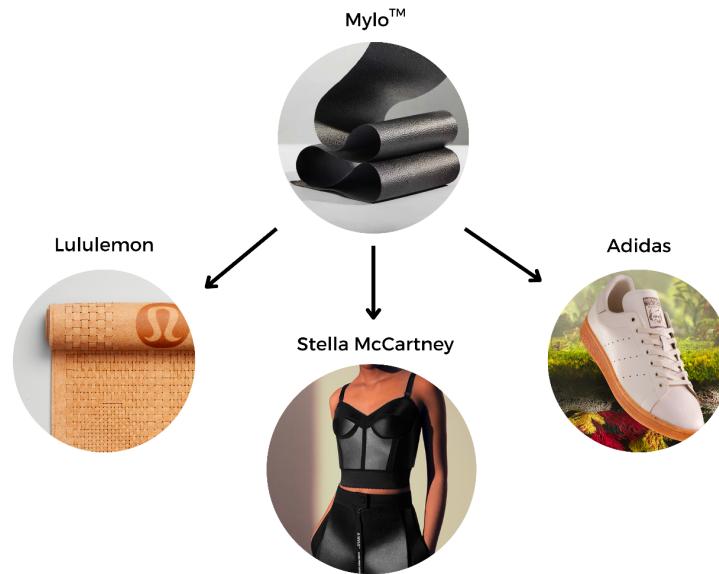
Fonte: Adaptado de Bolt Threads (2022)

Sobre a produção do micélio, as células que o compõem crescem em uma massa de ramos semelhantes a fios, chamados hifas, que formam uma estrutura tridimensional densa. O material resultante é submetido a um processo de compressão até se obter a espessura desejada. No final, recebe um acabamento de acordo com um padrão selecionado (QUA, 2019).

Mylo™ é um compósito reforçado com fibras de micélio e matriz sintética polimérica. Não é um produto livre de plástico, não é biodegradável e possui certificação de produto vegano pela Eurofins Chem-MAP (MYLO, 2022).

A Figura 25 apresenta produtos confeccionados por marcas que apoiaram a pesquisa e desenvolvimento do material a base de micélio.

Figura 25 — Produtos desenvolvidos com Mylo™



Fonte: Adaptado de Bolt Threads (2022)

Com base nos cinco materiais e produtos têxteis substitutos ao couro apresentados, a Figura 26 ilustra suas respectivas origens.

Figura 26 — Têxteis substitutos ao couro e suas respectivas origens



Fonte: A autora (2022)

Conforme divulgado pelo *Google Trends*, é evidente a crescente tendência e busca por produtos livres de origem animal, gerados pela mudança no comportamento e interesse dos consumidores associados a conscientização dos impactos ambientais e éticos relacionados

à criação da pecuária. A plataforma apontou um crescimento de mais de 600 % pelo termo *vegan leather*, traduzido do inglês como couro vegano, no período de junho de 2013 a dezembro de 2021 em todo o mundo.

Mesmo observando o aumento na preferência dos consumidores por produtos sustentáveis e veganos, são escassas as informações sobre a biodegradabilidade destes materiais, que entram no mercado como uma alternativa aos produtos de origem animal. O tempo de degradação dos materiais na natureza é um dos principais pontos de debate para perspectivas futuras globais, como mencionado pelas diretrizes dos ODS, uma vez que a indústria têxtil e moda são grandes geradoras de resíduos, mas raramente é um assunto associado ao produto final. Consequentemente, a falta de esclarecimento do consumidor em relação aos produtos têxteis e de moda relacionados ao descarte e a biodegradabilidade dos mesmos, é um assunto pouco explorado e estudado.

Com base nas informações citadas sobre os cinco produtos têxteis substitutos ao couro apresentados: sintético convencional, Piñatex[®], Desserto[®], Malai e Mylo[™], é evidente a falta de informações mais precisas sobre a biodegradabilidade dos materiais. Dessa forma, vê-se como uma interessante possibilidade de estudo a verificação sobre o tempo de biodegradabilidade dos materiais que compõem os mesmos, como uma maneira de conscientizar o consumidor sobre a origem dos produtos que adquire e as consequências do descarte incorreto e pós-consumo, neste caso, substitutos ao couro.

3.METODOLOGIA

O conteúdo apresentado nesta etapa é dedicado à descrição dos métodos utilizados para a realização deste trabalho de conclusão de curso, que se refere à análise comparativa entre os materiais e produtos têxteis substitutos ao couro.

3.1. FONTES DE PESQUISA E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A investigação sobre os objetivos, metas e perspectivas futuras dos ODS foi realizada através de sites oficiais, relatórios de estratégias e documentos governamentais.

Foi utilizada a plataforma *Google Scholar* para busca de artigos científicos, livros e artigos antecedentes ao presente estudo sobre os produtos têxteis apresentados, relacionando com informações fornecidas pelos fabricantes de cada artigo substituto ao couro (Piñatex®, Desserto®, Malai e Mylo™) sendo a fonte exclusiva, os sites institucionais das marcas comerciais Ananas Anam, Desserto, Malai e Bolt Threads, respectivamente.

3.2. ANÁLISE DE BIODEGRADABILIDADE DE POLÍMEROS SINTÉTICOS

Foram utilizados artigos científicos a partir da plataforma *Google Scholar* para realizar uma análise de biodegradabilidade dos materiais de origem natural e sintética. A escassez de métodos e testes que possam mensurar de forma aproximada o tempo de biodegradabilidade de cada material apresentado no presente estudo levou à classificação dos insumos em duas classes: biodegradável e não biodegradável, a partir de estudos antecedentes para cada material isoladamente.

3.3. SELEÇÃO DE MATERIAIS SUBSTITUTOS AO COURO E ANÁLISE COMPARATIVA

Para a análise comparativa, foi selecionado apenas um produto final das marcas Piñatex® e Desserto®, respectivamente Piñatex® Original e Desserto® Standard Line (SKU 10005), uma vez que os fornecedores apresentam em seu portfólio de produtos variações no

que se refere à composição, estrutura e revestimento dos materiais têxteis substitutos ao couro. Os produtos Malai e Mylo™ não apresentam variedade de produtos.

As informações de composição de cada material selecionado foram encontradas nos sites oficiais de cada fabricante junto a artigos científicos pesquisados na plataforma *Google Scholar*.

A análise comparativa foi realizada com base nas taxas biodegradáveis totais de cada produto, analisando sua constituição, origem das matérias-primas e características de biodegradabilidade.

4.RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados, com objetivo de responder a pergunta de pesquisa, a qual está dividida nos seguintes subtópicos: i) projeções para os ODS que influenciam a escolha de materiais na engenharia de produtos têxteis; ii) biodegradabilidade dos polímeros sintéticos; iii) análise comparativa de biodegradabilidade entre materiais têxteis substitutos ao couro.

A análise elaborada baseou-se na taxa de biodegradabilidade dos materiais, apta a ser realizada com qualquer substrato têxtil ou produto final, levando em consideração sua constituição, origem e características de biodegradabilidade. Para o presente estudo, foram selecionados produtos têxteis substitutos ao couro.

4.1. PROJEÇÕES DOS ODS E INFLUÊNCIA NAS TOMADAS DE DECISÃO NA ENGENHARIA TÊXTIL

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) constituído por 17 objetivos e 169 metas movimentou organizações, projetos e ações governamentais em prol da sustentabilidade.

A ONU declarou na Assembleia de Nairóbi em fevereiro de 2022, o fortalecimento das ações em prol da natureza para alcançar os objetivos dos ODS e progresso na implementação das resoluções sobre o lixo marinho e microplásticos (UNEA, 2022).

A assembleia determinou novas ações para abolir a poluição plástica e aprovar um acordo internacional jurídico até 2024. Chefes de Estado, ministros do meio ambiente e outros representantes de 175 nações abordaram sobre o ciclo de vida do plástico, desde a origem até o descarte. Inger Andersen, diretora executiva do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), disse que se refere ao mais importante acordo ambiental multilateral internacional desde o acordo climático de Paris, assinado em 2015 (UNEP, 2022).

As ações que serão definidas judicialmente até 2024 envolvem o design de produtos e materiais, considerando o ciclo de vida completo dos plásticos. O PNUMA divulgou que trabalhará com qualquer governo e empresa dispostos em toda a cadeia de valor a abandonar

plásticos de uso único, bem como para mobilizar o financiamento privado e remover as barreiras aos investimentos em pesquisa e em uma nova economia circular (ONU, 2022).

O *Corporate Fiber and Materials Benchmark* (CFMB), desenvolvido pela *Textile Exchange* para auxiliar na estrutura de implementação a partir dos 17 ODS, abordando estratégias para fibras e materiais na indústria, onde se destaca:

ODS 8 – Trabalho Decente e Crescimento Econômico. Dentre os objetivos a serem alcançados no tópico 8, enfatiza-se: i) uso de fibras e materiais de fontes renováveis; ii) inovação em algodão, lã e couro; iii) desassociação do crescimento econômico com a degradação ambiental;

ODS 12 – Consumo e Produção Responsável. Dentre os objetivos traçados para serem alcançados até 2030, inclui-se cumprir: i) a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais; ii) gestão ambientalmente saudável de produtos químicos e todos os resíduos ao longo do seu ciclo de vida; iii) reduzir a geração de resíduos pela prevenção, redução, reciclagem e reutilização; iv) garantir que os consumidores tenham acesso à informação e conscientização para o desenvolvimento sustentável de produtos; v) racionalizar combustíveis fósseis, ou seja, insumos petroquímicos, e seus impactos ambientais.

ODS 15 – Vida Terrestre. Enfatiza o uso de fibras e materiais proveniente de fontes renováveis e programas de sustentabilidade, como produtos e materiais certificados.

Com base nos objetivos e metas globais estabelecidos para 2030, é evidente o impacto direto na tomada de decisão na indústria têxtil, desenvolvimento de produtos e escolhas do consumidor final. A legislação prevista para regulamentar a fabricação de itens, prevista para 2024, irá impactar diretamente a gestão das corporações e insumos, incluindo o incentivo do uso de fibras e materiais de fontes renováveis, gestão eficiente dos recursos naturais, fortalecer o modelo circular, reduzir o consumo de insumos petroquímicos e a desaceleração de descarte de materiais não biodegradáveis (AGENDA 2030, 2015). O CFMB enfatiza o uso de fibras biodegradáveis, redução do consumo de plástico e o modelo circular (TEXTILE EXCHANGE, 2022).

Baseado nos ODS apresentados associados aos projetos de implementação para a indústria têxtil, a Figura 27 representa a correlação entre as ações, metas e objetivos.

Figura 27 — Relação dos ODS e projetos de implementação para a indústria



Fonte: A autora (2022)

A partir das perspectivas futuras e a influência dos ODS para substituição de materiais de origem petroquímica por fibras de fontes renováveis e a preferência por produtos biodegradáveis, foi realizada uma análise comparativa com base na biodegradabilidade dos materiais têxteis substitutos ao couro.

4.2. BIODEGRADABILIDADE DE POLÍMEROS SINTÉTICOS

Principalmente quando se trata de polímeros sintéticos, a literatura é escassa em testes, métodos e respostas que consigam mensurar o tempo de degradação destes materiais, tornando-se complexo de se obter dados exatos. A falta de metodologia e padronização para os ensaios de biodegradabilidade é apontada como uma das principais dificuldades para os temas relacionados.

Existem muitas variáveis intrínsecas e extrínsecas, que influenciam significativamente no tempo de degradação dos materiais poliméricos sintéticos, tais como orientação molecular, cristalinidade, hidrofiliidade, grupos químicos presentes nas cadeias moleculares que determinam a acessibilidade aos sistemas de degradação, condições ambientais de descarte, superfície de contato dos produtos e propriedades do polímero (HOWARD, 2002).

A influência das condições de descarte relacionado ao tempo de degradação dos materiais na natureza pode ser verificada na Tabela 1. O estudo mensurou e apresentou dados

estimados para o tempo de degradação de meia-vida dos materiais, ou seja, a deterioração de 50 % da massa inicial de produtos finais específicos a partir de PET, PVC e PLA (CHAMAS *et al.*, 2020).

Tabela 1 — Estimativa de biodegradabilidade de meia-vida de produtos poliméricos em anos

Configuração do material	Ambiente de descarte		
	Condições de aterro (anos)	Superfície terrestre (anos)	Profundezas marítimas (anos)
Garrafa PET	> 2.500	–	–
Cano de PVC	> 2.500	–	–
Sacola PLA	0,19 (0,035 – 2,5)	0,16	3,1 (1,7 – 6,7)

Fonte: Adaptado de CHAMAS *et al.* (2020)

O estudo apresentou estimativas com base em produtos e condições ambientais específicas, uma vez que são variáveis decisivas para os cálculos. As informações ausentes, onde são mostrados como " – ", na Tabela 1, correspondem a dados para as quais não foram encontrados dados publicados. O estudo de biodegradabilidade a partir das meias-vidas dos materiais é realizado para que seja possível atingir dados mais aproximados da realidade, uma vez que o tempo de degradação de cada meia-vida subsequente é duas vezes maior do que a anterior, tornando os cálculos ainda mais complexos para obterem-se resultados exatos sobre o tempo total de decomposição dos materiais (CHAMAS *et al.*, 2020). Entretanto, estes dados são interessantes por apresentarem uma estimativa do tempo de biodegradabilidade dos produtos relacionados.

Considerando o descarte da garrafa PET e do cano de PVC em condições de aterro, ou seja, enterrado abaixo do solo sem exposição à luz solar, estimou-se um tempo mínimo de degradação de meia-vida de 2.500 anos, uma vez que os testes não revelaram decomposição mensurável, permitindo apenas um limite inferior estimado para a deterioração. Com isso, indica-se que o tempo de degradação para a garrafa PET e o cano de PVC pode levar mais de 5.000 anos para se decompor em condições de aterro.

De acordo com o estudo apresentado na Tabela 1, o PLA foi considerado em sua configuração de sacola biodegradável. O descarte foi calculado e considerado em condições de aterro, com intervalo de tempo de degradação de 0,035 a 2,5 anos. Na condição de se encontrar em profundezas marítimas, a decomposição da sacola plástica de PLA pode chegar a aproximadamente 7 anos.

Em outro estudo, foi verificada a biodegradação do PU, que depende da estrutura química e condições do ambiente de degradação, como presença de água, ácido, circunstâncias químicas externas alcalinas ou oxidativas e presença de enzimas. O poliuretano é muito resistente às condições do meio ambiente e sofre biodegradação em uma taxa muito lenta, podendo levar milhares de anos para se decompor na natureza pela longa cadeia composta de hidrocarbonetos (MAGNIN *et al.*, 2020).

Todos os artigos analisados até o presente momento, voltados para a revisão da literatura ou ensaios para verificar o tempo de biodegradabilidade dos polímeros sintéticos, em especial o poliéster, em condições de ambiente natural como oceanos ou lixões, alegam que nenhuma conclusão é clara e satisfatória, devido à ampla gama de possibilidades e variações nos estudos encontrados. Outros estudos mensuram o tempo de biodegradabilidade do poliéster, porém pouco detalhados em relação às condições de descarte para o processo de degradação.

Por exemplo, um estudo que analisa o desempenho e estabilidade de materiais com filmes de PET, define que isoladamente, o tempo de biodegradabilidade de meia-vida do poliéster demora entre 30 e 40 anos em temperatura de 20°C e umidade relativa do ambiente entre 45 ± 100 % (THONGSONG *et al.*, 2017). O estudo não relata especificações químicas do material ou maiores detalhes do ambiente de descarte.

As garrafas e sacolas plásticas tornaram-se produtos finais famosos por contribuírem para elevados níveis de poluição em ambientes naturais. Um artigo voltado para o estudo de decomposição destes materiais em ambiente de aterro sanitário cita de forma abrangente que produtos plásticos podem demorar aproximadamente 1.000 anos para se decompor. Ao especificar o tempo de decomposição de sacolas plásticas, o tempo exposto pelos autores varia entre 10 e 1.000 anos, enquanto que para garrafas de plástico afirma-se um tempo de 450 anos ou mais (HOSSAIN *et al.*, 2020).

Um estudo voltado para estratégias de biodegradabilidade dos polímeros sintéticos, que leva em consideração as melhores condições de descarte para otimizar os mecanismos de decomposição, reuniu ensaios normatizados do *American Society for Testing and Materials* (ASTM) em diferentes ambientes de degradação, conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 — Métodos utilizados nos ensaios de biodegradabilidade

Método Utilizado	Ambiente
ASTM D5988-18	Solo
ASTM D5338-18	Compostagem
ASTM D5511-18	Condições anaeróbias
ASTM D6691-17	Água do mar

Fonte: Adaptado de EGAN *et al.* (2022)

Diferentes materiais têxteis foram submetidos aos ensaios normatizados pelo ASTM com objetivo de mensurar a taxa de degradação nos diferentes ambientes citados na Tabela 2 em um determinado tempo. O artigo reuniu os resultados e concluiu estimativas para a taxa de degradação dos substratos, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 — Materiais submetidos aos ensaios e suas respectivas taxas de degradação

Material submetido ao ensaio	Taxa de degradação (%)	Tempo (dias)
PLA	60 – 100	40 – 112
Poliamida	< 1	270
PET	< 1	660

Fonte: Adaptado de EGAN *et al.* (2022)

Diante dos dados expostos, fica evidente que os diferentes estudos, considerando a configuração dos materiais e as condições de descarte, indicam tempos de degradação distintos, que podem variar de dias a milhares de anos.

Dado que a resina é o polímero usado como matriz nos compósitos, podendo ser de origem sintética ou biológica, as características de biodegradabilidade são definidas de acordo com a composição utilizada em cada produto. De maneira similar ocorre com as bioresinas, que seguem as características dos biopolímeros, podendo ser biodegradáveis ou não, e usadas como matriz em compósitos e biocompósitos (GHOLAMPOUR *et al.*, 2020). A bioresina de cactus, por exemplo, usada como revestimento para o Desserto® é proveniente de matéria-prima vegetal, porém apresenta em sua composição uma taxa de poliuretano (MEYER, 2021). Enquanto que a bioresina utilizada no produto Malai, de acordo com a própria marca, degrada-se em até 120 dias em condições ideais de descarte, que consiste em caixa de compostagem, sem peças de metal e acessórios anexados (MALAI, 2021).

As fibras de origem natural, como algodão, PALF, coco e micélio, encontrados nos produtos têxteis substitutos ao couro do presente estudo, apresentam como uma das suas principais características a biodegradabilidade (GHOLAMPOUR *et al.*, 2020).

O aumento da conscientização da indústria têxtil e moda tem buscado por melhores resultados ambientais e sociais relacionados às escolhas de fibras e materiais alternativos às convencionais. O objetivo é fortalecer a economia circular, rumo ao uso de materiais reciclados ou biodegradáveis e não permitir que novas fibras de origem fóssil entrem no sistema (TEXTILE EXCHANGE, 2022).

As problemáticas apresentadas em relação a biodegradabilidade dos materiais sugere o fortalecimento da economia circular, que tem como objetivo valorizar resíduos, evitar e postergar os tratamentos de fim de vida de artigos descartados e fortalecer a reciclagem têxtil e *upcycling* (HILDEBRANDT, 2020). Um forte indicador é que o poliéster é o material mais produzido e consumido do mundo, representando 54 % da fabricação mundial de fibras, sendo que apenas 14,8 % são reciclados, sendo necessário maior investimento na sua circularidade (TEXTILE EXCHANGE, 2021).

Pela complexidade para calcular e mensurar o tempo de biodegradabilidade dos materiais apresentados nos produtos do presente estudo, a seguir, os insumos apresentados nas composições dos substratos foram classificados entre biodegradáveis e não biodegradáveis para que seja possível comparar suas respectivas taxas de biodegradabilidade.

4.3. BIODEGRADABILIDADE DOS MATERIAIS TÊXTEIS SUBSTITUTOS AO COURO

Para cada um dos produtos abordados na seção de revisão da literatura, relativos à têxteis convencionais substitutos ao couro, Piñatex[®], Desserto[®], Malai e Mylo[™], foi realizada a seleção de um artigo de cada marca para fins comparativos, uma vez que existem variações entre suas composições, estruturas e produtos finais das marcas.

Para representar os materiais têxteis sintéticos convencionais substitutos ao couro, foi selecionado o produto mais comumente produzido e consumido no mercado, que consiste em base de estrutura fibrosa em 100 % poliéster com revestimento em 100 % PVC ou PU. A composição final do produto resulta em um material 100 % sintético e não biodegradável (MEYER, 2021).

O Piñatex[®] possui uma linha de cinco produtos oferecidos pela marca, todos possuem PALF, PLA, Bio PU e PU, porém em diferentes quantidades no material final. Segundo o fabricante, o percentual médio de biodegradabilidade dos produtos é de 87 %, se submetido a condições específicas e ideais, como de compostagem industrial. Foi selecionado o produto Piñatex[®] Original para representar a marca, por ser um artigo perpétuo do fabricante. O têxtil apresenta composição final de 72 % PALF, 18 % PLA, 5 % Bio PU e 5 % PU, conforme descrito pelo próprio fabricante.

A decomposição do Bio PU em condições ambientais, depende da sua estrutura e composição molecular. A maior taxa de grupos polares na constituição química aumenta a hidrofiliabilidade do material, favorecendo a deterioração do mesmo (LUO *et al.*, 2018). Para o Piñatex[®] Original, assume-se que o Bio PU é inteiramente biodegradável, resultando em um produto final 5 % não biodegradável pela constituição do PU.

A linha de têxteis oferecidos pela marca Desserto[®] possui uma ampla gama de variações de materiais, estruturas e composições nos produtos finais, porém todos recebem o mesmo revestimento de bioresina a base de cactus. Estudos e ensaios anteriores realizados na superfície do Desserto[®] revelaram quantidades de poliuretano com carga orgânica à base de celulose (MEYER, 2021), resultando em um biopolímero não biodegradável. O Desserto[®] Standard Line (SKU 10005) foi selecionado para representar a marca. O modelo possui tecido de malha como base, composto por 65 % poliéster e 35 % de algodão, e revestimento de

bioresina. O fabricante Desserto® divulgou que os produtos mais avançados da marca possuem até 90 % do material proveniente de origem vegetal, sendo 10 % sintético (DESSERTO, 2021). Sugere-se que os 10 % de polímero sintético seja destinado ao revestimento de bioresina, assumindo-se o mesmo percentual para o Desserto® Standard Line (SKU 10005), uma vez que para este produto específico não foram divulgados dados sobre a taxa percentual de bioresina. Com base nisso, a composição final do produto, considerando a estrutura base de malha e o revestimento, representa 58,5 % de poliéster, 31,5 % algodão e 10 % bioresina.

O Malai é um biocompósito livre de plástico e apresentado pelo fabricante como 100 % de biodegradável, com tempo de degradação de 120 dias em condições ideais de descarte, que consiste numa caixa de compostagem, sem peças de metal e acessórios anexados. Após o tempo indicado, não haverá nenhum resíduo tóxico permanente no solo (MALAI, 2021).

O Mylo™ é um compósito reforçado com fibras de micélio e matriz sintética polimérica, que resulta em um produto de revestimento não biodegradável. O produto possui certificação de 50 – 85 % de base biológica (BITTING *et al.*, 2022), sugerindo uma taxa de 15 – 50 % de material parcial ou inteiramente não biodegradável no produto final. Com base nos dados apresentados, assume-se uma taxa média aproximada de 33 % de material não biodegradável no produto Mylo™. A Tabela 4 apresenta os produtos e suas respectivas composições finais.

Tabela 4 — Composição dos têxteis substitutos ao couro

Produto	Composição
Substituto ao couro convencional	Base: 100% PES Revestimento: 100% PU ou PVC
Piñatex® Original	72 % PALF 18 % PLA 5 % Bio PU 5 % PU
Desserto® Standard Line (SKU 10005)	58,5 % Poliéster 31,5 % Algodão 10 % Bioresina
Malai	100 % Malai
Mylo™	67 % Micélio 33 % Resina sintética

Fonte: A autora (2022)

Os materiais presentes nas composições dos têxteis substitutos ao couro foram classificados como biodegradáveis e não biodegradáveis, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 — Classificação dos materiais por biodegradabilidade

Materiais biodegradáveis	Materiais não biodegradáveis
Algodão	Bioresina de cactus
Bio PU	Poliéster
Malai	Poliuretano
Micélio	PVC
PALF	
PLA	

Fonte: A autora (2022)

Com base nas características de cada material que compõe os produtos finais selecionados, a Tabela 6 apresenta a taxa de biodegradabilidade de cada artigo.

Tabela 6 — Taxa de biodegradabilidade dos produtos

Produto/material	Substituto ao couro convencional	Piñatex®	Desserto®	Malai	Mylo™
Total biodegradável (%)	0,0	95,0	31,5	100,0	67,0
Total não biodegradável (%)	100,0	5,0	68,5	0,0	33,0

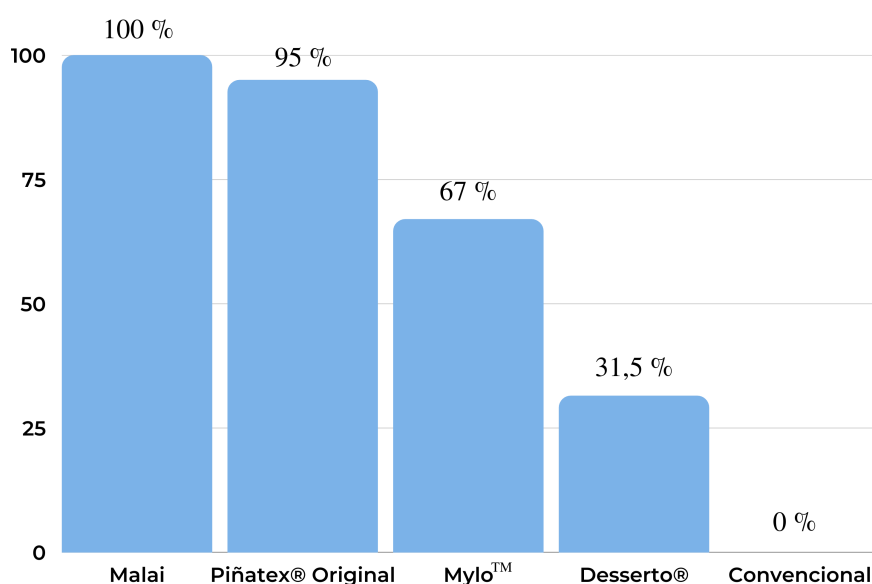
Fonte: A autora (2022)

O têxtil convencional substituído ao couro apresenta taxa de biodegradabilidade nula, pela constituição de poliéster e revestimento de PU ou PVC. Piñatex® Original apresenta uma taxa de 95 % de biodegradabilidade, representado pela constituição de PALF, PLA e Bio PU. Desserto® é constituído por 31,5 % de biodegradabilidade pelo percentual de algodão presente

na base têxtil. Malai possui 100 % de biodegradabilidade. E o produto Mylo™ demonstra ter 67 % de capacidade de degradação pela constituição de base fibrosa de micélio.

Com base nos dados apresentados e associando com as projeções dos ODS sobre a preferência por materiais de origem renovável e a redução do consumo de insumos petroquímicos, foi possível desenvolver uma análise quantitativa baseada no desempenho de biodegradabilidade para indicar quais os produtos mais alinhados com as perspectivas futuras que reforçam o uso de materiais mais ecológicos. A Figura 28 apresenta o resultado da análise quantitativa.

Figura 28 — Ranking de desempenho de biodegradabilidade dos produtos substitutos ao couro



Fonte: A autora (2022)

O produto Malai apresentou melhor desempenho no que se refere a biodegradabilidade, seguido do Piñatex®, Mylo™, Desserto® e em último lugar os materiais têxteis convencionais substitutos ao couro.

Além dos objetivos apresentados dos ODS direcionados para a Engenharia Têxtil, a mudança no comportamento do consumidor e a preferência por produtos mais sustentáveis também influenciam diretamente nas tomadas de decisão durante a etapa de desenvolvimento de produtos. O *Google Trends* divulgou um crescimento de 300 % nas buscas globais pela

palavra *biodegradable*, traduzido do inglês como biodegradável, no período de dezembro de 2015 até março de 2022.

A indústria têxtil e moda será impactada direta e indiretamente pelas metas e objetivos definidos nos 17 ODS. Dentre elas, enfatiza-se: i) o uso de fibras e materiais de fontes renováveis na indústria têxtil e moda; ii) desassociação do crescimento econômico com a degradação ambiental; iii) uso eficiente dos recursos naturais; iv) redução da geração de resíduos pela prevenção, redução, reciclagem e reutilização; v) garantia de que os consumidores tenham acesso à informação e conscientização para o desenvolvimento sustentável de produtos; vi) racionalização de combustíveis fósseis, ou seja, insumos petroquímicos e seus impactos ambientais.

O uso dos resíduos agrícolas são uma possibilidade que promove estratégias circulares para design e desenvolvimento de produtos. Dentre eles, o uso de PALF proveniente da colheita do abacaxi para produção de tecido não-tecido (HILDEBRANDT, 2020) e os resíduos de coco, componentes do Piñatex® e Malai, respectivamente.

Com base nos objetivos dos ODS citados e na análise quantitativa de biodegradabilidade dos produtos têxteis substitutos ao couro apresentados no presente estudo, indica-se os materiais mais alinhados com as tendências de consumo, que avançam ao encontro das perspectivas futuras para a Engenharia Têxtil.

Dos produtos têxteis substitutos ao couro, Malai e Piñatex® posicionaram-se em primeiro e segundo lugar, apresentando melhor desempenho para a presente análise, com 100 % e 95 % de biodegradabilidade, respectivamente. Além disso, ambos possuem vertentes circulares no seu processo, uma vez que são produzidos com resíduos naturais, fortalecendo seu valor ecológico e sua relação com as perspectivas dos ODS para fibras e materiais.

Mylo™ e Desserto® posicionaram-se em terceiro e quarto lugar, com 67 % e 31,5 % de biodegradabilidade, respectivamente, e conforme constatado na literatura, não apresentam vertentes de circularidade de matéria-prima no processo.

O material têxtil convencional substituto ao couro ocupou a última posição em uma análise comparativa de desempenho, pela sua taxa nula de biodegradabilidade e origem inteiramente de insumos petroquímicos.

5. CONCLUSÃO

A rejeição dos produtos de origem animal vem gerando mudanças contínuas no cenário mundial, influenciando o estudo de novos materiais têxteis. O acesso à informação trouxe consciência sobre ética e impactos causados pelos produtos de couro e pele, levando ao desenvolvimento de produtos sintéticos substitutos. Os impactos ambientais causados pelos insumos de origem petroquímica associado ao elevado acúmulo de resíduos e descarte proveniente da produção e do pós-consumo, influenciam a seleção e escolha das matérias-primas, abordagens, comunicação entre a empresa e o consumidor e transparência da indústria têxtil e moda.

Apesar dos novos materiais têxteis substitutos ao couro possuírem rótulos e/ou certificações de sustentabilidade, veganos e de origem vegetal, são escassas as informações sobre sua biodegradabilidade, tempo de decomposição para os principais ambientes de descarte e instruções adequadas de pós-consumo para cada material. Levando em consideração o elevado acúmulo de resíduos no meio ambiente e o impacto causado pelo descarte da indústria têxtil, compreende-se que a biodegradabilidade é uma vertente essencial do ciclo de vida de um produto, porém pouco mensurado no desenvolvimento dos artigos e escasso em informações ao consumidor final.

As metas e objetivos determinados pelos ODS relacionados à substituição, escolha eficiente de matéria-prima, redução no consumo e produção de materiais plásticos, priorização de materiais de origem renovável e descontinuação da degradação ambiental proveniente do descarte e pós-consumo da indústria têxtil, influenciam sobremaneira as tomadas de decisão dentro da indústria. A legislação que visa regulamentar a fabricação de itens, prevista para 2024, irá impactar e promover mudanças consideráveis na gestão das corporações e seus insumos. Substituir as matérias-primas sintéticas por materiais de origem renovável é uma das principais preferências para reduzir o impacto nocivo ao meio ambiente, priorizando a escolha de materiais de origem natural e biopolímeros biodegradáveis.

Com base na análise de desempenho e taxa de biodegradabilidade dos materiais têxteis substitutos ao couro, Malai e Piñatex® ocuparam primeiro e segundo lugar na classificação, respectivamente, por serem os produtos mais alinhados com as perspectivas futuras e pelas suas taxas de biodegradabilidade, além de conterem vertentes de circularidade na reutilização

de resíduos. Mylo™ e Desserto® ocuparam terceiro e quarto lugar, respectivamente, pelo percentual de biodegradabilidade do produto final. Em última colocação, o têxtil substituto ao couro convencional, composto inteiramente de materiais sintéticos, que apresentou biodegradabilidade nula.

Conclui-se que de fato os novos materiais têxteis substitutos ao couro presentes no mercado, que entram em propostas mais sustentáveis pelo seu percentual de origem vegetal, caminham ao encontro das novas perspectivas dentro de suas classificações no *ranking* de desempenho de biodegradabilidade. A escassez de informações e instruções de descarte e biodegradabilidade dos materiais têxteis deve ser levada em consideração, uma vez que contribui para um dos principais problemas ambientais da atualidade.

6. TRABALHOS FUTUROS

A partir dos resultados obtidos neste trabalho de conclusão de curso, pode-se citar como sugestões para pesquisas futuras:

a) Propor solução de rastreabilidade para informações de biodegradabilidade e descarte adequados dos produtos, incentivando o consumidor a investigar e levar em consideração a origem e pós-consumo dos produtos substitutos ao couro adquiridos.

b) Propor modelo de negócio e logística reversa que incentive marcas a receber produtos de pós-consumo dos consumidores com o objetivo de fortalecer a circularidade dos materiais têxteis e seus respectivos produtos finais.

REFERÊNCIAS

AALIYA, Basheer; SUNOOJ, Kappat Valiyapeediyekkal; LACKNER, Maximilian. **Biopolymer composites**: A review. *International Journal of Biobased Plastics*, v. 3, n. 1, pp. 40-84, 2021.

AL MAMUN, Abdullah; CHEN, Jonathan Y. **Industrial applications of biopolymers and their environmental impact**. CRC Press, 2020.

ANANAS ANAM. **Site Ananas Anam**. The manufacturing processes of Piñatex. Disponível em: <https://www.ananas-anam.com/about-us/>. Acesso em: 14 de maio de 2022.

ANDREEBEN, Christina; STEINBÜCHEL, Alexander. **Recent developments in non-biodegradable biopolymers**: Precursors, production processes, and future perspectives. *Applied microbiology and biotechnology*, v. 103, n. 1, pp. 143-157, 2019.

AZAMMI, AM Noor *et al.* **Characterization studies of biopolymeric matrix and cellulose fibres based composites related to functionalized fibre-matrix interface**. *In: Interfaces in particle and fibre reinforced composites*. Woodhead Publishing, pp. 29-93, 2020.

BALAN, Doralice Souza Luro; BERTIN, Guinever. **Concretização de Conceitos Ambientais em Prática de Reaproveitamento de Tecidos-Projeto Upcycling**.

BARI, Ehsan; MORRELL, Jeffrey J.; SISTANI, Asghar. **Durability of natural/synthetic/biomass fiber-based polymeric composites**: laboratory and field tests. *Durability and Life Prediction in Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, pp. 15-26, 2019.

BÎRCĂ, Alexandra *et al.* **Introduction in thermoplastic and thermosetting polymers**. *In: Materials for Biomedical Engineering*. Elsevier, pp. 1-28, 2019.

BITTING, Selina *et al.* **Challenges and Opportunities in Scaling up Architectural Applications of Mycelium-Based Materials with Digital Fabrication**. *Biomimetics*, v. 7, n. 2, p. 44, 2022.

BLACKBURN, R. S. *et al.* **Biodegradable and sustainable fibres**. 2005.

BOLT THREADS. **Site Bolt Threads**. Bolt Technology: Meet Mylo. Disponível em: <https://boltthreads.com/technology/mylo/>. Acesso em: 23 de maio de 2022.

BOUCHER, Julien; FRIOT, Damien. **Primary microplastics in the oceans: a global evaluation of sources**. Gland, Switzerland: Iucn, 2017.

BRAGA, João. **A história da moda: Uma narrativa**. 11ª Ed. 2021.

BRASIL. Lei n.º 4.888, de 9 de dezembro de 1965. Emprego da palavra couro em produtos industrializados. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1950-1969/14888.htm. Acesso em: 15 de junho de 2022.

CALLISTER JR, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia dos materiais: Uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

CHAMAS, Ali *et al.* **Degradation rates of plastics in the environment**. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, v. 8, n. 9, pp. 3494-3511, 2020.

CHOI, Yeong-Hyeon; LEE, Kyu-Hye. **Ethical consumers' awareness of vegan materials: Focused on fake fur and fake leather**. Sustainability, v. 13, n. 1, p. 436, 2021.

COSME, Inês Martins. **A importância das certificações ecológicas para a sustentabilidade na Indústria Têxtil e de Vestuário**. Tese de Doutorado. Universidade do Minho, Portugal, 2019.

COUTINHO, Leandro de Matos. **O Pacto Global da ONU e o desenvolvimento sustentável**. 2021.

DANSO, Dominik; CHOW, Jennifer; STREIT, Wolfgang R. **Plastics: environmental and biotechnological perspectives on microbial degradation**. Applied and environmental microbiology, v. 85, n. 19, 2019.

DARIA, Marczak; KRZYSZTOF, Lejcuś; JAKUB, Misiewicz. **Characteristics of biodegradable textiles used in environmental engineering: A comprehensive review**. Journal of cleaner production, v. 268, p. 122129, 2020.

DESSERTO. **Site Desserto**. What is Desserto?. Disponível em: <https://desserto.com.mx/why-desserto%3F>. Acesso em: 19 de maio 2022.

DHANRAJ, N. D.; HATHA, A. A.; JISHA, M. S. **Biodegradation of petroleum based and bio-based plastics**: Approaches to increase the rate of biodegradation. *Archives of Microbiology*, v. 204, n. 5, pp. 1-11, 2022.

DICKER, MICHAEL P.M. *et al.* **Green composites**: A review of material attributes and complementary applications. *Composites part A: applied science and manufacturing*, v. 56, pp. 280-289, 2014.

DOS SANTOS, Luciano Rigoni *et al.* **Liderança em Indústrias Têxteis**: possíveis convergências às metas de desenvolvimento sustentável. *Anais Seminário de Ciências Sociais Aplicadas*, v. 7, n. 7, 2021.

DW. **Site DW**. 2022. ONU Aprova primeiro acordo global para combate ao plástico. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/onu-aprova-primeiro-acordo-global-para-combate-ao-pl%C3%A1stico/a-60992379>. Acesso em: 10 de novembro de 2022.

ECOTEXTILE. **Site Ecotextile News**. Disponível em: <https://www.ecotextile.com/2020061126198/materials-production-news/calls-for-end-to-fur-farming.html>. Acesso em: 5 de novembro de 2022.

EGAN, Jeannie; SALMON, Sonja. **Strategies and progress in synthetic textile fiber biodegradability**. *SN Applied Sciences*, v. 4, n. 1, pp. 1-36, 2022.

EKEGÅRDH, Natalie; KRISTERSSON, Emma. **From Fungi to Vegan Leather**: A case study made to highlight the potentials of mycelium-based leather in the textile industry and the unique features of its value chain. 2021.

FESSEHA H.; ABEBE F. **Degradation of plastic materials using microorganisms**: a review. *Public Health Open*, pp. 57–63, 2019.

GARCÍA-DEPRAECT, Octavio *et al.* Inspired by nature: Microbial production, degradation and valorization of biodegradable bioplastics for life-cycle-engineered products. *Biotechnology Advances*, v. 53, p. 107772, 2021.

GEYER, Roland. **Production, use, and fate of synthetic polymers**. *In: Plastic waste and recycling*. Academic Press, pp. 13-32, 2020.

GHOLAMPOUR, Aliakbar; OZBAKKALOGLU, Togay. **A review of natural fiber composites: Properties, modification and processing techniques, characterization, applications.** Journal of Materials Science, v. 55.3, e. 829-8. 2020.

GIROMETTA, Carolina *et al.* **Physico-mechanical and thermodynamic properties of mycelium-based biocomposites: a review.** Sustainability, v. 11, n. 1, p. 281, 2019.

HILDEBRANDT, Jakob; THRÄN, Daniela; BEZAMA, Alberto. **The circularity of potential bio-textile production routes: comparing life cycle impacts of bio-based materials used within the manufacturing of selected leather substitutes.** Journal of Cleaner Production, v. 287, p. 125470, 2021.

HOSSAIN, Md Imran; TUHA, Md Akber Subahan Mahbub. Biodegradable plastic production from daily Household waste materials and Comparison the decomposing time with synthetic polyethylene plastic. **International Journal of Advancement in Life Sciences Research**, v. 3, n. 3, p. 16-19, 2020.

HOWARD, G.T. **Biodegradation of polyurethane: a review.** International Biodeterioration & Biodegradation, 49(4), pp. 245-252, 2002.

JOSE, S.; SALIM, R; AMMAYAPPAN, L. **An overview on production, properties, and value addition of pineapple leaf fibers (PALF).** Journal of Natural Fibers, 13(3), pp. 362-373, 2016.

KOZŁOWSKI, Ryszard M.; MACKIEWICZ-TALARCZYK, Maria. **Introduction to natural textile fibres.** *In: Handbook of Natural Fibres.* Woodhead Publishing, pp. 1-13, 2020.

KRISHNAMOORTHY, Ganesan et al. Greener approach to leather tanning process: D-Lysine aldehyde as novel tanning agent for chrome-free tanning. **Journal of cleaner production**, v. 42, p. 277-286, 2013.

LUO, X. *et al.* **Development of high-performance biodegradable rigid polyurethane foams using all bioresource-based polyols: Lignin and soy oil-derived polyols.** International journal of biological macromolecules, 115, pp. 786-791, 2018.

MADHU, P. *et al.* **A review on synthesis and characterization of commercially available natural fibers: Part-I.** Journal of Natural Fibers, 2018.

MAGNIN, A. *et al.* **Evaluation of biological degradation of polyurethanes.** *Biotechnology advances*, v. 39, p. 107457, 2020.

MALAI. **Site Malai.** About Malai Material. 19 de setembro de 2021. Disponível em: <https://malai.eco/blogs/news/about-malai-material>. Acesso em: 20 de maio de 2022.

MASON, Sherri A.; WELCH, Victoria G.; NERATKO, Joseph. **Synthetic polymer contamination in bottled water.** *Frontiers in chemistry*, p. 407, 2018.

MEYER, Michael *et al.* **Comparison of the technical performance of leather, artificial leather, and trendy alternatives.** *Coatings*, v. 11, n. 2, p. 226, 2021.

MIERZWA-HERSZTEK, M.; GONDEK, K.; KOPEĆ, M. **Degradation of polyethylene and biocomponent-derived polymer materials: an overview.** *Journal of Polymers and the Environment*, v. 27, n. 3, pp. 600-611, 2019.

MOHAMED, S. A. N. *et al.* **Introduction to natural fiber reinforced vinyl ester and vinyl polymer composites.** *In: Natural fibre reinforced vinyl ester and vinyl polymer composites.* Woodhead Publishing, pp. 1-25, 2018.

MYLO. **Site Mylo.** Meet Mylo Unleather. Disponível em: <https://www.mylo-unleather.com/>. Acesso em: 23 de maio de 2022.

NAIR, A. B.; JOSEPH, R. **Eco-friendly bio-composites using natural rubber (NR) matrices and natural fiber reinforcements.** *In: Chemistry, manufacture and applications of natural rubber.* Woodhead Publishing, pp. 249-283, 2014.

NAYAK, Rajkishore *et al.* **A review of recent trends in sustainable fashion and textile production.** *Workforce*, v. 13, p. 11.2, 2019.

OGULATA, R.T. **Air permeability of woven fabrics.** *Journal of Textile and Apparel, Technology and management*, 5(2), pp. 1-10, 2006.

ONU. **Site da ONU.** Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 1 de novembro de 2022.

ONU. **Site da ONU.** Agenda 2030 - Documento Oficial. Disponível em: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N15/291/89/PDF/N1529189.pdf?OpenElement>. Acesso em: 1 de novembro de 2022.

PEÇAS, Paulo *et al.* **Natural fibre composites and their applications**: a review. *Journal of composites science*, v. 2, n. 4, p. 66, 2018.

QUA, Frances Jillian S. (Im). **Material**: a qualitative study on sustainable materials for design through a comparative review of leather and its modern alternatives. Tese de Doutorado. Massachusetts Institute of Technology, 2019.

REIMERS, Vaughan; MAGNUSON, Bryce; CHAO, Fred. **The academic conceptualisation of ethical clothing**: could it account for the attitude behaviour gap?. *Journal of Fashion Marketing and Management: An International Journal*, 2016.

RODRIGUES, I.; Mata, T.M.; Martins, A.A. **Environmental analysis of a bio-based coating material for automobile interiors**. *Journal of Cleaner Production*, 367, p. 133011, 2022.

ROTHER, E. T. **Revisão sistemática X revisão narrativa**. *Acta Paulista de Enfermagem*, v. 20, n. 2, pp. 5-6. Jun, 2007.

RUSSELL, Stephen J. **Handbook of nonwovens**. 2006.

SHEN, Li; WORRELL, Ernst; PATEL, Martin. **Present and future development in plastics from biomass**. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining: Innovation for a sustainable economy*, v. 4, n. 1, pp. 25-40, 2010.

SHOKRIEH, M. M.; MOSHREFZADEH-SANI, H. **A novel laminate analogy to calculate the strength of two-dimensional randomly oriented short-fiber composites**. *Composites Science and Technology*, v. 147, pp. 22-29, 2017.

TEIXEIRA, Thainá dos Santos. **Impactos das Indústrias de Curtumes e Inovações sustentáveis para substituição do couro**. Americana. Trabalho Acadêmico. Curso Produção Têxtil. Faculdade de Tecnologia de Americana, f. 39, 2019.

THONGSONG, Weerayut; KULSETTHANCHALEE, Chanin; THREEPOPNAKUL, Poonsub. Effect of polybutylene adipate-co-terephthalate on properties of polyethylene terephthalate thin films. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, n. 5, p. 6597-6604, 2017.

TEXTILE EXCHANGE. **The state of fiber and materials sourcing**. *Material Change Insights*, 2021.

TEXTILE EXCHANGE. **Site Textile Exchange**. Corporate fiber and materials benchmark 2019. Disponível em: <https://textileexchange.org/faq/what-is-the-corporate-fiber-and-materials-benchmark/>. Acesso em: 3 de novembro de 2022.

TEXTILE EXCHANGE. **Site Textile Exchange**. Polyester is the most widely used fiber worldwide. Disponível em: <https://textileexchange.org/polyester/>. Acesso em 12 nov. 2022.

TEXTILE EXCHANGE. **Site Textile Exchange**. Materials Dashboard. Disponível em: <https://textileexchange.org/materials-dashboard/>. Acesso em 12 nov. 2022.

TEXTILE EXCHANGE. **Site Textile Exchange**. Preferred Fiber and Materials. Disponível em: <https://textileexchange.org/knowledge-center/reports/preferred-fiber-and-materials/>. Acesso em 12 nov. 2022.

TEXTILE EXCHANGE. **Site Textile Exchange**. Circularity. Disponível em: <https://textileexchange.org/circularity/>. Acesso em: 3 de novembro de 2022.

TRIVEDI P. *et al.* **Role of microbes in degradation of synthetic plastics and manufacture of bioplastics**. J Chem Pharm Res, v. 8(3), pp. 211–216, 2016.

THYAVIHALLI GIRIJAPPA, Yashas Gowda *et al.* **Natural fibers as sustainable and renewable resource for development of eco-friendly composites: a comprehensive review**. Frontiers in Materials, v. 6, p. 226, 2019.

VASILIEV, Valery V.; JONES, Robert M.; MAN, Lucia I. **Mechanics of composite structures**. CRC Press, 2017.

VIANA, Fausto; NEIRA, Luz García. **Princípios gerais de conservação têxtil**. Revista CPC, n. 10, pp. 206-233, 2010.

VROMAN, Isabelle; TIGHZERT, Lan. Biodegradable polymers. **Materials**, v. 2, n. 2, p. 307-344, 2009.

WGSN. **Site WGSN**. Quem somos?. Disponível em: <https://www.wgsn.com/pt/wgsn>. Acesso em: 20 de novembro de 2022.

YOUNES, Basileia. **Classificação, caracterização e processos de produção de biopolímeros utilizados na indústria têxtil**. A revista do instituto têxtil, v. 108, n. 5, pp. 674-682, 2017.

ZAMBRANO, Marielis C.; PAWLAK, Joel J.; VENDITTI, Richard A. **Effects of chemical and morphological structure on biodegradability of fibers, fabrics, and other polymeric materials.** BioResources, v. 15, n. 4, p. 9786, 2020.