



Ministério da Saúde

FIOCRUZ
Fundação Oswaldo Cruz



ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE
JOAQUIM VENÂNCIO

Melissa de Souza Henrique

MODA CIRCULAR E BIOTECNOLOGIA: alternativas para uma indústria da moda mais sustentável

Rio de Janeiro

2022

Melissa de Souza Henrique

MODA CIRCULAR E BIOTECNOLOGIA: alternativas para uma indústria da moda mais sustentável

Monografia apresentada à Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz (EPSJV-Fiocruz) como requisito parcial para aprovação no Curso Técnico em Biotecnologia.

Orientador(a): Simone Ribeiro Goulart

Rio de Janeiro

2022

Melissa de Souza Henrique

MODA CIRCULAR E BIOTECNOLOGIA: alternativas para uma indústria da moda mais sustentável

Monografia apresentada como requisito parcial para aprovação no Curso Técnico em Biotecnologia.

Aprovado em __/__/__.

BANCA EXAMINADORA

Simone Goulart Ribeiro
EPSJV/FIOCRUZ

Virginia de Lourdes Mendes Finete
EPSJV/FIOCRUZ

Rio de Janeiro

2022

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio – Fundação Oswaldo Cruz (EPSJV-Fiocruz) por me oferecer oportunidades inimagináveis, experiências memoráveis e abrir infinitamente meu horizonte, me auxiliando a descobrir paixões e pessoas maravilhosas, que espero levar para a vida, e construir a pessoa que sou hoje.

Agradeço à minha orientadora, professora Simone Ribeiro, com quem compartilhei ideias e me ajudou na construção de um trabalho importantíssimo para mim e que espero que se torne importante para outras pessoas também.

Agradeço à professora Virginia Finete por participar da minha banca examinadora, colaborando com a execução de um trabalho correto e completo.

Agradeço a todos os professores que já auxiliaram a minha trajetória acadêmica e tornaram os estudos uma parte de mim e o meio pelo qual vejo a possibilidade de chegar aonde quiser.

Agradeço à professora Flávia Coelho pelo suporte a minha turma desde o início e a capacidade de ser mil pessoas ao mesmo tempo para conseguir nos atender, sendo no estágio, no TCC ou no ensino técnico.

Agradeço à equipe e a todos os funcionários da escola e da Fiocruz que se dedicam todos os dias para ofertar um ambiente e ensino de qualidade e excelência.

Agradeço à minha mãe, Valéria Coutinho, e ao meu irmão, Yann de Souza, por não serem apenas minha base, mas toda a minha estrutura. Pelo apoio e suporte durante todo o meu percurso até agora, garantindo condições para me dedicar aos meus estudos e ao meu futuro. Serei eternamente grata por sempre acreditarem em mim e, apesar das dificuldades, não desistirem de me ofertar o melhor possível. Amo muito vocês!

Agradeço aos meus amigos, especialmente Ana Clara Nunes, Pedro Felipe Abreu e Taiza Mello, por me proporcionarem boas risadas e alegria, além de compartilharmos esse último período tão corrido e cansativo para todos do jeito mais divertido e leve possível. Por sempre nos apoiarmos, nas dificuldades e nas conquistas, mas sem medo de puxar a orelha um do outro quando necessário. Por produzirmos tantos momentos que ficarão para sempre na memória e no coração.

Por fim, a todos aqueles que de alguma forma, direta ou indiretamente, colaboraram para a construção desse trabalho e da minha formação. Muito obrigado!

“Até na práxis do trabalho científico existe ‘moda’. Conhecemos o enorme poder e a força esmagadora que ela representa. O único problema é que a palavra soa horrivelmente mal em conexão com a ciência, pois evidentemente gostaríamos de acreditar que esta é superior ao que meramente promove a moda.”
(Hans-Georg Gadamer)

RESUMO

Atualmente, a moda é o mercado que movimenta bilhões de dólares anualmente e emprega milhões de trabalhadores, o que, por consequência, a torna uma das maiores indústrias mundiais e mais danosas, prejudicando não somente o meio ambiente, mas também o social. Com isso, a Economia Circular e a biotecnologia podem ser apresentadas no setor da moda, não como uma solução de todos seus problemas causados, mas sim como alternativas que visam à diminuição dos impactos gerados durante a produção e pós-produção de têxteis e vestuários. Portanto, esse trabalho apresenta uma compreensão de como a aplicação da biotecnologia junto à Economia Circular pode auxiliar as indústrias da moda e têxtil a causarem menos impactos ao meio socioambiental por via de uma revisão bibliográfica da literatura científica, utilizando as bases de dados Google Acadêmico e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e dissertações (BDTD), além de matérias jornalísticas, livros e podcasts. Como resultado, foi possível concluir, principalmente, que é imprescindível uma mudança radical e global de toda a cadeia da moda, tendo uma visão sistêmica e exigindo inovação, para alcançar um sistema realmente sustentável com menores impactos negativos sobre a sociedade e a natureza e ainda se ter benefícios econômicos, podendo ter a Economia Circular e a Biotecnologia como métodos aliados a esse objetivo.

Palavras-chave: moda, economia circular, biotecnologia, sustentabilidade e indústria têxtil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema representativo das etapas produtivas da cadeia têxtil e seus impactos.....	07
Figura 2 - Ciclo de vida das roupas	21
Figura 3 - Tripé da sustentabilidade	25
Figura 4 - Transição da Economia Linear para a Economia Circular	32
Figura 5 - Ciclos biológico e técnico do Cradle to Cradle	34
Figura 6 - Ambições para Uma Nova Economia Têxtil	37
Figura 7 - Ciclos biológico e técnico da Ellen MacArthur Foundation.....	40
Figura 8 - Pilares teóricos da Perspectiva Sistêmica Para Circularidade	42
Figura 9 - Moda Circular da Modifica.....	45
Figura 10 - Gráfico de conversão de substrato em produto catalisado na presença e na ausência de enzima; Modelo chave-fechadura.....	55
Figura 11 - Esquema da inibição enzimática competitiva (A), não competitiva (B) e mista (C). S = substrato; I = inibidor	56
Figura 12 - Triângulo invertido do tratamento de efluentes industriais	59
Figura 13 - Fluxograma do tratamento de lodo ativado	61
Figura 14 - Tubos com pré-inóculo da bactéria; Culturas das bactérias na placa petri; Retalho de algodão orgânico tingido; Erlenmeyer com inóculo e retalhos de tecido; Processo de tingimento da camisa	65
Figura 15 - Etapas de desenvolvimento do biomaterial fabricado de kombucha: dentre elas, cultivo em meio de cultura; espessamento; secagem; estampagem	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a. C. - antes de Cristo

Abit - Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV - Avaliação de Ciclo de Vida

atm - Atmosfera

BDTD - Biblioteca Digital Brasileira de Teses e dissertações

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

Bt - *Bacillus thuringiensis*

C2CPII - Cradle to Cradle Product Innovation Institute

CB - Celulose bacteriana

Criatec - Fundo de Investimentos em Capital Semente

d. C. - depois de Cristo

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DNA - Ácido desoxirribonucleico

DOU - Diário Oficial da União

DQO - Demanda Química de Oxigênio

EFSI - European Fund for Strategic Investments

EIB - European Investment Bank

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Agropecuária

FGVces - Centro de estudo em sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas

Finep - Financiadora de Estudos e Projetos

Fiocruz - Fundação Oswaldo Cruz

GEE - Gases do efeito estufa

ISO - International Organization for Standardization

KEMI - Agência Sueca de Produtos Químicos

LB - Luria-Bertani

OCDE - Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONU - Organização das Nações Unidas

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

pH - Potencial hidrogeniônico

PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

Profarma - Programa de Apoio ao Desenvolvimento do Complexo Industrial da Saúde

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SPFW - São Paulo Fashion Week

SRC - Centro de Resiliência de Estocolmo

SUS - Sistema Único de Saúde

USD - Dólar americano

UV - Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	01
1.1 OBJETIVOS	04
1.1.1 Objetivo geral	04
1.1.2 Objetivos específicos	04
1.2 METODOLOGIA	04
2. MODA E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS	05
2.1 CONTEXTO DA MODA	05
2.2 CICLO DE VIDA DAS ROUPAS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS	06
2.2.1 Matéria prima	07
2.2.2 Fiação	12
2.2.3 Tecelagem	12
2.2.4 Beneficiamento	13
2.2.5 Corte e costura	14
2.2.6 Comércio	17
2.2.7 Uso	18
2.2.8 Fim de vida	19
3. SUSTENTABILIDADE E MODA CIRCULAR	22
3.1 CONCEITUANDO SUSTENTABILIDADE	22
3.2 SUSTENTABILIDADE NA MODA	26
3.3 MODA CIRCULAR	30
3.3.1 Economia Circular	30
3.3.2 Cradle to Cradle – William McDonough e Michael Braungart	33
3.3.3 A New Textiles Economy – Ellen MacArthur Foundation	35
3.3.4 Perspectiva Sistêmica Para Circularidade – Modifica	41
4. BIOTECNOLOGIA APLICADA À MODA CIRCULAR	47
4.1 O QUE É BIOTECNOLOGIA?	47
4.2 BIOTECNOLOGIA E MODA?	51
4.2.1 Controle biológico	51

4.2.2	Uso de enzimas	54
4.2.3	Tratamento de efluente industrial	58
4.2.4	Corantes naturais	62
4.2.5	Biofabricação	66
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
6.	REFERÊNCIAS	74

1. INTRODUÇÃO

Têxteis¹ e tecidos² são partes importantes do nosso dia a dia, sendo difícil imaginar o mundo sem eles, já que quase todos, aproximadamente o dia inteiro, por toda a vida, usam roupas. Sendo, então, o vestuário a maior aplicação dos têxteis ao representar mais de 60% do seu uso, considerados bens de primeira necessidade (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Para muitos, a roupa é mais do que apenas uma proteção para o corpo, mas também uma forma de expressar sua individualidade ao mundo. Logo, a moda está intrinsecamente relacionada com as vestimentas, sendo algo transitória, assim como nós, buscando sempre o novo. Se olharmos a moda além da esfera das roupas, considerando que esse fenômeno invade os limites de todas as outras áreas do consumo e que sua lógica também penetra a arte, a política e a ciência, fica evidente que estamos falando sobre algo que reside praticamente no centro do mundo moderno (SVENDSEN, 2010), mesmo muitas vezes sendo considerado como algo fútil.

Hoje, a indústria da moda se tornou o mercado que gera bilhões de dólares no mundo, sendo um importante setor para a economia global ao somar um faturamento de US\$ 48,3 bilhões e empregando 1,5 milhão de trabalhadores diretamente, em 2018 (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020). Nesse mesmo ano, a produção de fibras mundial foi de aproximadamente 107 milhões de toneladas (TEXTILE EXCHANGE, 2019 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020), sendo os principais atuantes nesse mercado a China, Índia e os Estados Unidos (MENDES JUNIOR, 2019 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

Já o Brasil, ocupando a 83^a posição na lista de países exportadores de vestuário, possui uma parcela de 0,3% do mercado, o que representa USD 2,57 milhões (IEMI, 2019 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020). Anualmente são confeccionados, no Brasil, cerca de 8,9 bilhões de peças, o equivalente, em média, a 42,5 peças/habitantes/ano (ABIT, 2018 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

Essa produção de roupas tem se intensificado muito desde os anos 80, devido, principalmente, ao fenômeno do *fast fashion* que consiste na criação mais rápida de estilos, maior

¹ São todos os materiais e produtos manufaturados que passam da fiação a tecelagem, podendo ser também o processo de converter os fios em tecido.

² Conjunto de fios entrelaçados que constituem uma relação estável; O produto final do tricô, crochê e da tecelagem, que pode ser usado para produzir roupas, acessórios, decorações e entre outros produtos.

número de coleções durante o ano, muitas vezes, menores preços (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017), além de seguir o modelo econômico linear, que é presente no sistema capitalista e se baseia em extrair recursos, produzir bens e descartá-los, não se preocupando qual é a origem, nem qual vai ser o destino desses produtos.

Com isso, devido ao rápido crescimento demográfico da população, o grande desenvolvimento industrial e o aumento da produção em escala, hoje, se tornou uma das indústrias mais danosa ao meio ambiente. Logo, a indústria da moda está diretamente ligada aos dois principais problemas ambientais do mundo: aquecimento global, com a emissão de 2,1 bilhões de toneladas de gases do efeito estufa, em 2018 (MCKINSEY & COMPANY; GLOBAL FASHION AGENDA, 2020 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020), e despejo de plástico no oceano, com aproximadamente meio milhão de toneladas de microfibras de plástico todo ano, em 2015, através da lavagem das roupas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017), causando, assim, sérias consequências à sociedade como um todo.

Dentro desse sistema, durante décadas a indústria da moda vem sendo construída sobre a exploração do trabalho, proporcionando más condições aos trabalhadores, e dos recursos naturais, retirando da natureza grandes quantidades de recursos não renováveis que são utilizados para a produção de roupas, as quais são utilizadas poucas vezes, acabando em aterros sanitários ou incineradas. Estima-se que mais da metade das produções do *fast fashion* sejam descartadas em menos de um ano (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017). Isso causa um esgotamento dos recursos naturais e uma enorme geração de resíduos, ocasionando sérios impactos em escala local, regional e global, tornando, assim, esse atual sistema insustentável e necessitando de uma mudança.

Pelo fato da moda ser vista como algo cultural e não natural, é difícil analisá-la pelo aspecto ambiental, o que, por consequência, afeta o social. Entretanto, ao fazer essa análise percebe-se que há métodos que diminuem os impactos ambientais e capte consumidores mais conscientes. Isso devido à moda ditar o que se usa em determinado tempo, como deve ser e aparentar, tendo o poder de influenciar uma enorme parcela da população, independente de classe, etnia, religião e ideologia, a tornando muito mais responsável pelo que dita. Assim, é possível que a moda adote atitudes sustentáveis e faça com que as pessoas sejam mais conscientes sobre o que compram, contribuindo para um consumo ambientalmente correto, pois, entre os consumidores, há uma falta de compreensão e valorização do verdadeiro preço das

peças, já que a etiqueta não reflete os custos sociais e ambientais durante a sua produção e, muitas vezes, falta instrução e transparência das marcas (GÓIS, 2012).

Para que a moda melhore o perfil sustentável das roupas é preciso que de fato contribua com o meio ambiente. Então, utilização de menos produtos químicos, redução de resíduos, menos utilização de recursos não renováveis e melhores condições para trabalhadores são questões importantes para que haja sustentabilidade na produção de roupas. Além disso, recursos como energia, água e materiais utilizados podem, e devem, ser completamente reutilizados ao invés de ir para aterros sanitários e aumentar ainda mais a quantidade de resíduos.

Essas mudanças não afetariam apenas o meio socioambiental, mas também a economia, já que foi estimado por Kerr e Landry, no relatório *Pulse of the fashion industry* (2017), que o benefício geral para a economia mundial poderia ser de aproximadamente 160 bilhões de euros por ano, em 2030, se a indústria da moda lidasse com as consequências ambientais e sociais do atual *status quo*.

A Economia Circular é uma das várias estratégias e ações que podem ser adotadas na tentativa de atenuar o atual modelo econômico focado no crescimento infinito, consumismo, iniquidade e desigualdade social em que vivemos, e o qual a indústria da moda reproduz e reforça (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020), já que esse sistema se baseia em manter um longo ciclo do produto, utilizando e transformando infinitamente para que haja o menor descarte possível, e um uso mais consciente dos recursos naturais finitos.

Ainda, com o auxílio da biotecnologia, enquanto processo inovador que utiliza agentes biológicos para obter bens ou assegurar serviços, pode se mostrar muito benéfico para o movimento de tornar a moda ecológica, já que, juntos produzirão menos subprodutos residuais, produtos de melhor qualidade e menos prejuízos ecológicos (BRUNO, 2014).

Logo, tendo em vista a finitude dos recursos naturais e os limites da Terra³, é de extrema importância compreender de que forma a indústria da moda agride o meio ambiente e a adoção de novos métodos que gerem menos impactos socioambientais e promovam ações sustentáveis, já

³ “Os limites planetários” é um conceito desenvolvido por um grupo de cientistas liderado pelo Centro de Resiliência de Estocolmo (SRC), que identifica nove limites ambientais nos quais o ser humano pode se desenvolver seguramente sem que os impactos no meio ambiente se tornem irreversíveis. Dentre os nove limites, já ultrapassamos quatro: mudanças climáticas, perda da biodiversidade, mudança no uso do solo e fluxos bioquímicos; estamos próximos do limite de três: destruição do ozônio estratosférico, uso da água potável e acidificação do oceano; e dois não possuem dados o suficiente: Carga atmosférica de aerossóis e incorporação de novas entidades (BBC NEWS BRASIL, 2021).

que, no estado que nosso planeta já se encontra, “a sustentabilidade não é mais uma questão de opção, e sim de necessidade” (GÓIS, 2012, p. 5).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Compreender como a aplicação da biotecnologia junto à Economia Circular pode auxiliar as indústrias da moda e têxtil a causarem menos impactos ao meio ambiente.

1.2.2 Objetivos específicos

- 1) Compreender os impactos socioambientais consequentes da indústria da moda;
- 2) Compreender como a sustentabilidade e a Economia Circular se aplicam na moda;
- 3) Identificar a aplicação da biotecnologia para uma moda mais sustentável.

1.3 METODOLOGIA

O presente trabalho se baseou na abordagem qualitativa e usou como estratégia de pesquisa a revisão de literatura por meio da busca nas bases de dados Google Acadêmico e Biblioteca Digital Brasileira de Teses e dissertações (BDTD), tendo como referência os descritores moda circular, sustentabilidade, indústria têxtil, biotecnologia e impactos ambientais.

Também se fez o uso da revisão de matérias jornalísticas, livros e podcasts, tendo como referência as instituições Modifica e Ellen MacArthur Foundation e os autores Lilyan Berlim, Leonardo Boff, Lars Svendsen, entre outros.

A monografia estrutura-se em três capítulos, sendo o primeiro referente a Moda e seus impactos socioambientais, o segundo a Sustentabilidade e Moda Circular e o terceiro a Biotecnologia aplicada à Moda Circular.

2. MODA E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

2.1 CONTEXTO DA MODA

Segundo o historiador Paulo Debom (2022), a moda pode ser conceituada como a busca do novo pelo novo como prioridade na construção social das aparências, com o indivíduo tentando se afirmar dentro do seu cenário histórico. Logo, a moda vai ser um elemento de comunicação através do que o indivíduo vai se mostrar e se expressar para o mundo (MODA POR AMOR, 2022).

Entretanto, a moda não é um fenômeno restrito ao vestuário, já que é uma área multifacetada e multidisciplinar, e nem sempre os dois conceitos passam o mesmo sentido. Por isso é importante diferenciar roupa e moda: sendo as roupas relacionadas à produção material, as peças em si, e a moda à produção simbólica, a identidade e estilo. Ainda assim, ambas muitas vezes se conectam em uma mesma peça e contribuem para o bem-estar do ser humano em aspectos funcionais e emocionais, porém se conectam conosco de maneiras diferentes (FLETCHER, 2010 apud BERLIM, 2012).

O filósofo Lipovetsky (1994) conceitua moda como:

Uma forma específica de mudança social, independente de qualquer objeto particular; antes de tudo, é um mecanismo social caracterizado por um intervalo de tempo particularmente breve e por mudanças mais ou menos ditadas pelo capricho, que lhe permitem afetar esferas muito diversas da vida coletiva (LIPOVETSKY, 1994 apud SVENDSEN, 2010, p.13).

Por mais que haja evidências de vestimentas sendo criadas a milhares de anos a.C., a moda só é considerada a partir do século XIV, já que antes disso houve pouquíssimas mudanças na aparência durante o tempo, e a moda como conhecemos hoje, ocidental que implica na transformação periódica dos estilos, a partir do século XIX (POLLINI, 2007). A história da moda foi escrita com um olhar europeu e elitizado, restringindo os outros fenômenos da moda pelo mundo, assim como a grande parte da história humana.

As roupas surgem, a princípio, como forma de proteção ao corpo e manifestação cultural de diversos povos, se relacionando, ainda hoje, com aspectos sociais e culturais e sendo alterada pela maneira de se pensar da época. Logo, em 1350 d.C., na Europa, ao final da Idade Média e início da Renascença, com a valorização da razão, o desenvolvimento de novas tecnologias e a

prosperidade da burguesia que crescia no período, o vestuário começou a apresentar uma preocupação menor com questões utilitárias e enfocaram mais os aspectos ornamentais e estéticos. Isso em razão do crescente individualismo que cercava as pessoas ao procurarem demonstrar elementos únicos presentes nelas, o gosto pelas novidades, além, é claro, das constantes competições sociais, buscando a distinção social de classes (POLLINI, 2007).

No século XVIII, durante a Revolução Industrial, a moda sofreu uma grande transformação com, em 1767, a criação da fiadeira mecânica, por James Hargreaves, que fiava vários fios de uma só vez utilizando energia humana, e em 1785, com o desenvolvimento do tear mecânico, por Edmund Cartwright. Assim, a relação com as roupas foi alterada, pois a produção de tecidos ficou muito mais rápida, aumentando sua disponibilidade no mercado e se tornando mais baratos (POLLINI, 2007).

Ainda no contexto da Revolução Industrial, com o foco da economia da época nas indústrias e na produção desenfreada de produtos, os bens de consumo, principalmente o vestuário, passam a ter uma produção mais rápida e ser mais barato, tornando o materialismo e o consumismo comuns a todos e transformando a moda no que é hoje, com os seus ciclos se acelerando desde então (POLLINI, 2007).

As roupas para a burguesia eram elementos de ostentação da prosperidade e de exercício de seu desejo pelas novidades estéticas e foi apenas no século XX que a moda deixa de ser uma expressão e ocupação desse seletivo grupo e explode suas barreiras (POLLINI, 2007), tornando-se mais democrática, porém não igualitária (SVENDSEN, 2010).

2.2 CICLO DE VIDA DAS ROUPAS E SEUS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS

No atual sistema presente na indústria da moda, todas as peças produzidas possuem uma linearidade em seu período de vida, que vai desde a extração da matéria prima, que criará a fibra, até o descarte, ao perder sua funcionalidade, para depois reiniciar o mesmo processo incontáveis vezes, de acordo com a demanda do mercado consumidor.

O Brasil possui a maior cadeia têxtil completa do Ocidente por garantir todas as etapas produtivas (ABIT, 2022) e essa constante sequência de extração, produção e descarte gera

inúmeros impactos tanto para o meio ambiente quanto para a sociedade do país, sendo possível serem observados durante cada uma das etapas produtivas (Figura 1).

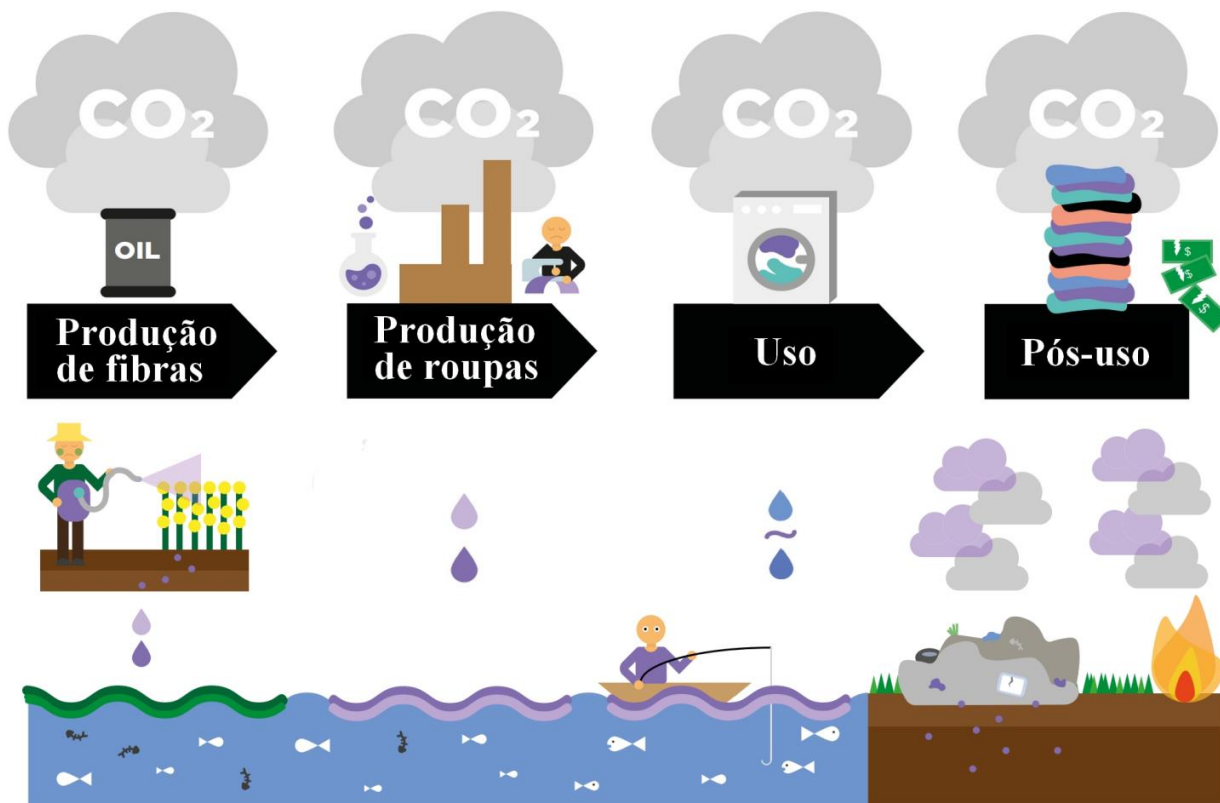


Figura 1 – Esquema representativo das etapas produtivas da cadeia têxtil e seus impactos.

Fonte: Adaptado de ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017.

Infere-se que a indústria da moda seja uma das dez mais poluentes do mundo (COLERATO, 2017 apud OLIVEIRA, 2021), valor não oficial visto que essa indústria é composta de processos fragmentados que dificultam quaisquer análises de um cenário completo (OLIVEIRA, 2021). Sendo, então, importante ter noção do ciclo de vida completo das peças de vestuário e seus impactos, para se ter noção de qual é a melhor abordagem para atenuar a problemática.

2.2.1 Matéria prima

A primeira etapa necessária para a produção têxtil é a extração de matéria prima da natureza, que são os recursos a partir do qual as fibras serão formadas para gerar as roupas.

As fibras têxteis podem ser divididas em fibras naturais e fibras não naturais: As fibras naturais podem ter origem animal, vegetal ou mineral, assim, podendo ser a seda, fio do conhecido bicho-da-seda, o algodão ou o amianto, proibido há alguns anos após comprovação de que causa danos à saúde. Já as fibras não naturais são aquelas que são criadas pelo homem, podendo ser as sintéticas, que são produzidas a partir das matérias primas da indústria petroquímica, assim como o poliéster e a poliamida, ou as artificiais (ou regeneradas), produzidas a partir de polímeros naturais, assim como a viscose e o acetato, ambos produzidos com celulose de madeira (ALCÂNTARA, 1996).

Para a confecção das fibras naturais vegetais, as mais usadas em vestimentas, temos o principal problema da necessidade de terras para plantação, em que há grandes conflitos entre o plantio de alimentos para suprir o crescente volume da população ou de plantas para a produção de bens de consumo. Logo, a solução encontrada pelos agricultores é abrir mais áreas para expandir essas terras, o que ocasiona uma série de problemas ambientais e sociais.

Um desses problemas é o conflito de terras que há com as populações locais. Segundo o Mapa de Conflitos da Fundação Oswaldo Cruz (Fiocruz), são encontrados conflitos com empresas monocultoras de algodão em todas as regiões do país, atingindo trabalhadores rurais, quilombolas, agricultores familiares, ribeirinhos, comunidades indígenas e até mesmo comunidades urbanas. As atividades geradoras do conflito e os impactos socioambientais são os mais diversos (FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ, 2022).

Além disso, com o desmatamento exacerbado das florestas, uma das primeiras consequências que observamos é a redução da biodiversidade dos ecossistemas, já que, com a retirada e queimada de espécies para transformar em terreno agrícola, se modifica o nicho ecológico⁴ e extermina diversas espécies de toda uma região. Segundo os autores Cleffi, Trivelato e Rodrigues (1985):

Para dispor de espaço para seus cultígenos⁵, o homem destrói florestas e campos naturais e, muitas vezes, irriga regiões semi-áridas ou drena pântanos. Ao fazer isso, extermina as teias alimentares complexas e estáveis desses ecossistemas. Ao plantar e criar animais, cria outros ecossistemas, nos quais pretende manter cadeias alimentares curtas, em que

⁴ Espaço de variáveis ambientais, bióticas (relação entre seres vivos) e abióticas (temperatura, umidade, pH, etc.), as quais condicionam a existência de uma determinada espécie (CANTERLE, 2021).

⁵ Conjunto de plantas cultivadas e de animais domesticados (CLEFFI; TRIVELATO; RODRIGUES, 1985).

ele é o último elo, atuando como herbívoro ou carnívoro (CLEFFI; TRIVELATO; RODRIGUES, 1985, p. 153).

O sistema agrícola mais comum para a produção dessas matérias primas é de monocultura extensiva, produção de uma única espécie em grandes extensões de terras, logo, reduz a biodiversidade, empobrece o solo e normalmente é altamente mecanizada, resultando na redução de empregos no campo, acúmulo de terras e expulsão dos trabalhadores para as cidades, além de favorecer a multiplicação de parasitas (vírus, bactérias, fungos, etc) e herbívoros (insetos), dados como pragas, uma vez que se dispõe de alimento abundante e não há a procura entre uma diversidade de plantas (CLEFFI; TRIVELATO; RODRIGUES, 1985; EPSJV, [20--]).

Na maioria dos países que há o predomínio das monoculturas, os prejuízos causados por pragas preocupam os agricultores continuamente, recorrendo, assim, a três principais alternativas para proteger seus cultígenos: cultivo de variedades resistentes às pragas mais comuns, uso de controle biológico e/ou de agrotóxicos. A alternativa mais usada, e mais prejudicial ao meio e ao homem, é a do uso de praguicidas, mais popularmente conhecido como os agrotóxicos. No Brasil, o Decreto Federal n.º 4.074, de 4 de janeiro de 2002, que regulamenta a Lei Federal n.º 7.802, de 11 de julho de 1989, em seu Artigo 1º, Inciso IV, define o termo agrotóxico como:

Produtos e agentes de processos físicos, químicos ou biológicos, destinados ao uso nos setores de produção, no armazenamento e beneficiamento de produtos agrícolas, nas pastagens, na proteção de florestas, nativas ou plantadas, e de outros ecossistemas e de ambientes urbanos, hídricos e industriais, cuja finalidade seja alterar a composição da flora ou da fauna, a fim de preservá-las da ação danosa de seres vivos considerados nocivos, bem como as substâncias e produtos empregados como desfolhantes, dessecantes, estimuladores e inibidores de crescimento (BRASIL, 2002, p. 1).

Esses produtos reúnem inseticidas (substâncias destinadas a matar insetos), herbicidas (substâncias usadas para matar ervas daninhas) e fungicidas (substâncias empregadas contra fungos), que, apesar dos nomes, não possuem uma ação específica, agindo, de modo geral, sobre todos os organismos, não só em insetos, ervas daninhas e fungo, já que são substâncias tóxicas (CLEFFI; TRIVELATO; RODRIGUES, 1985).

Logo, os agrotóxicos também são nocivos à saúde humana, seja pela exposição direta dos trabalhadores ao aplicarem os químicos ou indireta dos consumidores dos produtos que foram utilizados agrotóxicos. O contato pode ser por vias dérmicas, respiratórias e orais, podendo gerar efeitos agudos, subagudos, subcrônicos e crônicos.

A intoxicação aguda é devido à exposição de uma dose elevada da substância por um período de 24 horas, podendo os efeitos surgirem imediatamente ou dentre alguns dias. Entre os sintomas estão: tontura, fraqueza, cólicas abdominais, irritação nos olhos, visão turva, dor de cabeça, irritabilidade, cansaço, dormência, coceira na pele, diarreia, falta de apetite, enjoo, vômito, tremores, convulsão, falta de ar e aceleração dos batimentos cardíacos (ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE, 1996 apud INCA, 2021). Esse tipo de intoxicação, normalmente, atinge mais os trabalhadores rurais e a população regional das plantações.

A intoxicação crônica desenvolve-se com exposições pequenas ou moderadas de uma ou múltiplas substâncias por um longo período, podendo os efeitos surgirem mais tardiamente, levando semanas ou anos para se manifestarem, acarretando por vezes danos irreversíveis. Entre os principais problemas estão: efeitos endócrinos, neurotóxicos, reprodutivos, imunológicos e câncer (INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER, 2018; MOSTAFALOU, ABDOLLAHI, 2013; RIGOTTO, AGUIAR, 2015 apud INCA, 2021). As pessoas mais afetadas por esse tipo de intoxicação são os consumidores de produtos que há o uso de agrotóxicos, como alimentos e até mesmo as roupas.

Ademais aos danos à saúde humana pelos pesticidas, são inúmeros os efeitos causados ao meio ambiente. Os resíduos químicos, ao entrarem em contato com o meio, podem permanecer inalterados no ambiente, exercendo sua ação venenosa durante anos, além de se acumular também nos organismos, permitindo que sejam transferidos nas cadeias alimentares e acabem prejudicando os animais dos últimos níveis tróficos (CLEFFI; TRIVELATO; RODRIGUES, 1985).

De modo geral, “os impactos vão desde a alteração da composição do solo, passando pela contaminação da água e do ar, podendo interferir nos organismos vivos terrestres e aquáticos, alterando sua morfologia e função dentro do ecossistema” (LOPES, 2018, p. 523-524).

Ainda, visando o aumento da produtividade dos seus cultígenos, é necessário nutrir o solo com os sais minerais essenciais às plantas, podendo ser a incorporação de matérias orgânicas e/ou a atribuição de leguminosas entre as plantações. Porém, com o avanço das tecnologias agrárias, começou a predominar o uso de fertilizantes químicos, produzidos industrialmente.

Com a aplicação excessiva dos fertilizantes, pode-se causar sérias consequências. Uma delas é o acúmulo de sais minerais no solo, já que a maioria das plantas não absorvem todos os nutrientes, nem toda a quantidade de fertilizantes acrescentados ao seu ambiente, causando a lixiviação⁶ e erosão⁷ do solo. Pode, também, exterminar muitos microrganismos decompositores, responsáveis pela fertilização natural dos solos, o que faz com que uma fração do nitrogênio total disponível se torne óxido nitroso inorgânico, com um potencial de aquecimento global quase 300 vezes maior que o dióxido de carbono (TEXTILE EXCHANGE, 2014 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020). Além de parte dos fertilizantes serem transportados pelas águas que escoam das plantações ou pela absorção do solo, chegando a uma fonte hídrica, onde altera as comunidades desses ecossistemas e acaba por destruí-los, causando a eutrofização⁸ do rio ou lago (CLEFFI; TRIVELATO; RODRIGUES, 1985).

Esse uso indiscriminado tanto de fertilizantes, quanto de agrotóxicos, acaba por interferir nos ciclos biogeoquímicos do gás carbônico, do oxigênio e do nitrogênio, ao fixar mais matéria do que liberá-la, causando um desequilíbrio terrestre (CLEFFI; TRIVELATO; RODRIGUES, 1985).

Ainda para a produção/extração das matérias primas, é necessário o uso de grandes quantidades de recursos não renováveis como o petróleo, para a produção de fibra sintética, estimado o uso de 342 milhões de barris de óleo todo ano (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017), ou para combustível, energia, para as máquinas, carvão, como combustível, entre outros. Também há o alto consumo de água potável para a irrigação da plantação, que pode chegar a aproximadamente 93 metros cúbicos de água por ano, contribuindo com problemas em áreas de escassez (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017). Logo, o uso de diversos recursos essenciais à vida humana pode acabar por nos prejudicar ao existir o risco de se esgotarem ou de liberarem substâncias tóxicas na atmosfera, como os Gases do Efeito

⁶ Infiltração de nutrientes e outros elementos químicos para profundidades além das raízes das plantas pelo escoamento das águas superficiais (VELOSO, 2022).

⁷ Processo de remoção de materiais por agentes naturais em movimento na superfície terrestre, como água corrente, gelo e vento.

⁸ Quando um corpo de água recebe uma grande quantidade de efluente com matéria orgânica enriquecida com nutrientes e minerais, o que induz o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, níveis de oxigênio baixíssimos e aparência turva da água, levando a morte de peixes (pela falta de oxigênio) e de plantas (pela dificuldade de se realizar a fotossíntese).

Estufa (GEE)⁹ (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

2.2.2 Fiação

A segunda etapa, depois da obtenção da matéria-prima, é a fiação, em que consiste na produção de fios a partir das fibras naturais ou não naturais.

As fibras naturais, como o algodão, passam por uma série de processos em máquinas, entre limpeza, desagregação e diversas etapas de estiragens e retorcimentos, para tornar o fio resistente, havendo a formação de uma grande quantidade de resíduos de fibras.

Nesse processo, há a aplicação de óleos lubrificantes, sejam eles óleos minerais com emulsificante ou óleos vegetais etoxilados¹⁰, para tornar as superfícies das diversas fibras mais parecidas e diminuir a carga elétrica e atrito entre as fibras, impedindo a sua separação. Esses lubrificantes necessitam ser solúveis em água para facilitar sua lavagem das roupas, o que possui uma grande probabilidade de, ao descartar essa água com resíduos sem um tratamento devido, acabe por contaminar uma fonte hídrica (ALCÂNTARA, 1996).

Por outro lado, as fibras artificiais ou sintéticas necessitam de processos químicos antes da fiação para poder criar a fibra a partir da madeira, da celulose ou do petróleo, por exemplo. Por isso, há a adição de diversos produtos químicos, não só prejudiciais ao meio ambiente, mas também à nossa saúde.

Logo depois das fibras prontas, sofrem o processo de extrusão¹¹ para, então, passar pelo mesmo procedimento de fiação das fibras naturais, visando a maior resistência dos fios.

2.2.3 Tecelagem

⁹ Gases naturalmente presentes na atmosfera (Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hexafluoreto de Enxofre (SF₆), Hidrofluorcarbono (HFC) e Perfluorcarbono (PFC)) que são responsáveis por absorver parte da radiação infravermelha emitida pelo Sol e refletir pela superfície terrestre, mantendo a Terra aquecida, sendo esse fenômeno conhecido como efeito estufa. Porém, com a emissão excessiva desses gases, a energia irradiada da superfície fica presa na atmosfera, incapaz de escapar do planeta, acabando por retorna para a superfície, na qual é reabsorvida, fazendo com que o planeta chegue a altas temperaturas (UNEP, 2022).

¹⁰ Processo que consiste na reação de moléculas graxas com óxidos de etileno, fazendo com que o óleo se torne mais ou menos solúvel em água, dependendo do grau de etoxilação, e mantenha suas características lubrificantes (ALCÂNTARA, 1996).

¹¹ Processo mecânico contínuo em que o material é forçado através de uma matriz ou orifício, adquirindo o formato pré-determinado.

Nessa etapa é quando os fios são transformados em tecido propriamente dito pelos teares.

Antes de começar, os fios necessitam passar por um processo de engomagem, em que “consiste na impregnação e revestimento dos fios de urdume¹², com substâncias adesivas e formadoras de um filme sobre suas superfícies, para aumentar a resistência mecânica dos fios pela melhor adesão entre as fibras” (ALCÂNTARA, 1996, p. 323) e diminuir suas tensões e atritos para que não arrebentem durante a tecelagem.

A goma, substância aplicada nos fios, normalmente é formulada de amido de milho, mandioca ou batata, cozidos em água, que necessita de agentes auxiliares que melhorem seu desempenho. Além de apresentarem problemas para serem retirados dos tecidos, ainda poluem o meio ambiente, já que o amido apresenta uma alta demanda biológica de oxigênio, que reduz o nível de oxigênio dos rios onde são descartados (ALCÂNTARA, 1996).

Atualmente, começam a utilizar o álcool polivinílico, a carboximetilcelulose, o carboximetilamido ou poliacrilatos, que melhoram a resistência da película de amido e são solúveis em água, se tornando tão poluentes quanto o amido. O crescente uso desses produtos, principalmente do álcool polivinílico e dos poliacrilatos, no Brasil e em diversos outros países, é devido a fácil desengomagem, necessitando apenas uma lavagem do tecido com tensoativos, e a possibilidade de recuperação da goma durante a desengomagem por ultrafiltração¹³ (BELTRAME, 2000).

2.2.4 Beneficiamento

“O beneficiamento engloba todas as etapas de transformação do tecido quanto à aparência, capacidade de absorção de água, aumento de resistência, etc” (ALCÂNTARA, 1996, p. 324) e é a etapa que mais preocupa em termos de poluição ambiental. Isso se deve ao fato de utilizar diversas substâncias químicas com processos de risco ambiental acentuado e potencialmente poluidores. A poluição é encontrada principalmente na água e no ar (SANTOS, 1997).

¹² Fios paralelizados que entram no tear.

¹³ Processo que utiliza membranas tubulares e espirais, sob pressão, que permite a recuperação da goma, do corante e da água utilizada no método com baixo teor de sólido, podendo os reciclar em uma nova produção (FIESC – IEL, 1999 *apud* BELTRAME, 2000).

Essa etapa envolve os processos de desengomagem, limpeza, mercerização, alvejamento químico, tingimento e estamparia, em que, muitos deles, necessitam de vários produtos químicos, altas temperaturas e grande quantidade de água e corantes químicos. Tudo isso se torna muito prejudicial ao planeta devido à poluição do ar, solo e água, esgotamento de recursos naturais, destruição do ecossistema, entre diversas outras consequências.

Anualmente, 43 milhões de toneladas de produtos químicos são usados na produção de têxteis. A Agência Sueca de Produtos Químicos (KEMI) revisou mais de 2 400 substâncias diferentes que são usadas na fabricação e descobriu que aproximadamente 30% das substâncias identificadas representavam risco para a saúde humana (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017), logo, também para a ambiental.

Os efluentes provindos das indústrias são caracterizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de acordo com a norma brasileira NBR 9800/1987, como:

Despejos líquidos provenientes das áreas de processamento industrial, incluindo os originados nos processos de produção, as águas de lavagem de operação de limpeza e outras fontes, que comprovadamente apresentem poluição por produtos utilizados ou produzidos no estabelecimento industrial. (ABNT, 1987, p. 1)

Sendo assim, o Banco Mundial estima que 20% da poluição por efluentes industriais em todo o mundo se origina da indústria têxtil (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017), já que esses líquidos na maioria das vezes estão contaminados com substâncias químicas, o que traz grandes preocupações, devido à falta de controle de seu tratamento antes do despejo no ambiente. Isso causa uma série de impactos em corpos hídricos, como alteração do ecossistema e danos às espécies, e nas populações locais, que dependem desse espaço tanto para realizar atividades do seu cotidiano (consumo, banho, alimentação) como para seu sustento econômico, com a pesca (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Ademais, durante todo o processo de produção têxtil, que inclui fiação, tecelagem e beneficiamento, há o uso de máquinas que demandam energia, seja elétrica ou térmica, necessitando de recursos não renováveis como carvão mineral, petróleo ou gás natural, assim, favorecendo a liberação de GEE. Também há a exposição dos trabalhadores a riscos ergonômicos, como ruído, calor e pó das fibras, produzidos pelas máquinas, além de produtos químicos (SANTOS, 1997).

2.2.5 Corte e costura

É nessa etapa em que os tecidos começam a se tornarem roupas, com a talharia, corte do tecido, e a confecção, montagem e costura das peças.

Nessa parte já não há mais tantos riscos ao meio ambiente além da alta quantidade de resíduos que é criado após o corte do tecido e na costura, com os restos de panos, linhas e fiapos, podendo chegar a 20% de perda do total manipulado (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020), e da energia necessária para o funcionamento das máquinas de costura. Porém, em relação aos impactos sociais, deve-se chamar atenção para a questão da precarização do trabalho que afeta principalmente essa fase de produção.

Desde o estouro do modelo de produção e consumo *fast fashion* que a moda vem mostrando sua crescente exploração do trabalhador ao disponibilizar má qualidade de trabalho, trabalho análogo ao escravo, subcontratações, falta de proteção para uso de agrotóxicos e substâncias químicas, trabalho infantil, terceirização do trabalho, entre outros problemas (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

A crescente adoção do trabalho informal e terceirizado vem com o fenômeno da globalização e a mudança na forma de Estado, se constituindo no neoliberalismo, que adota novas formas de trabalho além do Taylorismo e Fordismo (POERNER, 2021). Esse processo busca a produção em larga escala e eficiência produtiva com uma mão de obra abundante e barata para que consigam aumentar ao máximo a margem de lucro.

Só o Brasil, como o segundo empregador industrial, possui 1,36 milhão de empregados diretos na área da indústria da moda (IEMI, 2021 apud ABIT, 2022) e 8 milhões de empregados se adicionado os empregos indiretos e efeito de renda, em que 60% são de mão de obra feminina e nenhuma, ou quase nenhuma, é qualificada, as tornando vulneráveis a várias formas de abusos (ABIT, 2022; BERLIM, 2012).

Os trabalhadores informais ganham 27% a menos que os trabalhadores contratados diretamente, resultando em baixíssimos salários para muito trabalho e alta carga horária, em que o funcionário mal consegue se sustentar. Com base na Global Living Wage Coalition, o salário digno estimado para o Brasil é de R\$ 1629 por mês (BARBOSA, 2016 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020), entretanto, é presumido que o trabalhador médio do vestuário

ganha em média R\$ 1.322,82 para uma jornada de trabalho de 44 horas semanais (SALÁRIO, 2020 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

A terceirização da produção acontece muito em países periféricos do capitalismo, principalmente, no continente Asiático, onde se concentra 75% da mão de obra da indústria da moda (POERNER, 2021), se aproveitando das fracas leis trabalhistas e fiscalizações. Cordeiro (2021) afirma que:

Devido a esse contexto, uma peça de roupa de uma marca estadunidense que tem suas contas em paraísos fiscais, pode ser comprada no Brasil, ter sua matéria prima vinda de plantações de algodão indianas, ser confeccionada por trabalhadoras em Bangladesh e após o uso e doação dessa peça, ela pode ser enviada a um lixão têxtil sudanês (CORDEIRO, 2021).

Um acidente que marcou a indústria da moda foi o desabamento do Rana Plaza, ocorrido no dia 24 de abril de 2013, em Daka, capital de Bangladesh, onde o prédio de 3 andares contendo 4 fábricas de roupas desabou. Estima-se que, aproximadamente, 3000 pessoas trabalhavam no momento do desastre, deixando 1134 pessoas mortas e 2500 feridas. O acidente aconteceu devido à negligência dos proprietários ao ignorarem as queixas de rachaduras pelo prédio (CALEIRO, 2018; NORTH, 2013).

As fábricas eram fornecedoras de algumas grandes marcas de roupas como Zara, Walmart, Carrefour, H&M, Primark, GAP, entre outras, e a maioria dos produtos eram destinados à venda nos países do ocidente, principalmente na Europa e Estados Unidos (NORTH, 2013).

Bangladesh é a segunda maior produtora de têxteis do mundo, depois da China, e é em Daka que se concentra a maior parte das fábricas de roupas do país. O acidente já era precedido por outros, em fábricas ilegais, na mesma região, em que não cumpriam requisitos mínimos de segurança (CALEIRO, 2018; NORTH, 2013).

O ocorrido serviu para alertar a todos sobre o que ocorre por trás da produção de roupas e para regulamentar medidas de leis e fiscalizações mais rígidas nessa indústria. Entretanto, ainda hoje, as condições de trabalho em países como Bangladesh não são muito melhores e justas (NORTH, 2013).

A pandemia do novo coronavírus paralisou todo o mundo e tornou as condições dos trabalhadores da indústria da moda ainda mais difíceis, já que 4,1 milhões de brasileiros

perderam seus empregos e houve uma flexibilização nas leis trabalhistas no Brasil (FASHION REVOLUTION, 2020). Com isso, muitos trabalhadores tiveram que optar pelo trabalho autônomo em suas casas.

O Diário Oficial da União (DOU) incluiu as atividades da indústria da moda entre os 34 setores econômicos mais impactados pela pandemia após a decretação da calamidade pública decorrente do Covid-19, deixando claro como essa situação impactou os trabalhadores da área.

2.2.6 Comércio

A etapa do comércio é quando as roupas já estão produzidas e prontas para serem adquiridas pelos consumidores.

Mais uma vez, nessa etapa não há grandes preocupações em relação a danos diretos ao meio ambiente, porém há a influência em futuros impactos ao final da cadeia da vida das roupas, já que as empresas visam o lucro através das vendas, tendo que incentivar o consumismo desenfreado em seus clientes.

O homem é um ser que necessita consumir em razão de suprir certas necessidades básicas da vida, como comida e bebida. O problema é que esse tipo de consumo diminui cada vez mais, dando lugar ao consumismo, ato de consumir qualquer coisa sem saber ou se importar com as consequências, visando o consumo para criar uma identidade e como forma de entretenimento (SVENDSEN, 2010).

Colocamos o valor simbólico dos produtos acima do valor de utilidade tentando criar uma individualidade e refletir quem somos, de onde pertencemos, o que possuímos, ao mesmo tempo em que tentamos nos encaixar nos padrões estabelecidos pela sociedade. Entretanto, não conseguimos estabelecer uma identidade pessoal por meio do consumo, pois, se nossas identidades estiverem ligadas aos valores simbólicos das mercadorias que nos cercam, seremos tão transitórios quanto elas. O prazer no consumo não mais está no objeto em si ou em sua funcionalidade, mas sim na constante busca pelo objeto idealizado e pelo novo, o melhor, já que o 'velho' já não possui tanto sua capacidade de encantar (SVENDSEN, 2010).

Esse consumismo deixa bem marcado a desigualdade que cerca a nossa sociedade e, em meio a uma sociedade capitalista do consumo, uma situação utópica seria onde nós, como

indivíduos, pudéssemos nos realizar por meio do consumo ilimitado de bens (SVENDSEN, 2010).

Além disso, os produtos, desde a implementação do sistema produtivo Toyotista, são feitos para terem qualidade, mas não serem muito duráveis, processo esse chamado de obsolescência programada, que mantém o mercado sempre em funcionamento. Seguindo a lógica da moda, o mercado visa criar em uma velocidade constante crescente e fazer um objeto se tornar supérfluo rapidamente de modo a abrir espaço a um novo. Sendo caracterizado, assim, como um modelo econômico baseado em crescimento contínuo num planeta de recursos finitos.

2.2.7 Uso

Após adquirida a peça, é necessário a transmissão de informações ao consumidor de como cuidar de suas roupas. A falta desses conhecimentos gera o manuseio inapropriado das peças, o que pode resultar tanto na rápida deterioração das vestimentas, como na liberação de diversas substâncias no meio.

Um dos principais problemas nessa etapa é a liberação de microfibras plásticas no manuseio e, especialmente, na lavagem de tecidos sintéticos, como poliéster, nylon e acrílico. Com o atrito entre os tecidos, são liberadas partículas microscópicas de plástico, que remanesce na água e no ar, acabando no oceano.

Devido ao tamanho, as fibras podem ser facilmente confundidas com os plânctons, base da cadeia alimentar aquática, por animais marinhos que os consomem, logo passando e acumulando essas substâncias ao longo da cadeia trófica (SINGER, 2015).

O microplástico já foi encontrado em diversos produtos que consumimos, como cerveja, mel, sal e açúcar, além de pesquisas recentes já apontarem sua presença no sangue humano. Os impactos específicos na saúde humana e ao meio ambiente ainda são estudados, mas é estimado o despejo no oceano de aproximadamente meio milhão de toneladas de microfibras de plástico todo ano (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017), isso equivale a 50 bilhões de garrafas plásticas de 500 mL. O oceano possui mais microplástico do que peixes atualmente.

Ademais das microfibras de plásticos, também é despejado junto à água da lavagem dos tecidos corantes e produtos químicos que permanecem do processo de beneficiamento, contribuindo também para prejuízos ambientais. Essas substâncias remanescentes podem,

também, prejudicar nossa saúde, contribuindo com alergias, doenças respiratórias e até mesmo com o aumento de casos de câncer em humanos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Nessa mesma etapa de uso das roupas, há a necessidade de grandes quantidades de recursos naturais como água e energia, além da liberação de Gases do Efeito Estufa.

2.2.8 Fim de vida

Quando as roupas, de alguma forma, já não servem mais de seu propósito para o usuário, elas chegam a sua etapa final da vida, podendo tanto ser passada para um próximo usuário, se ainda estiverem em condições de uso, ser reciclada ou mesmo ser descartada. Sendo a última a alternativa mais danosa ao meio ambiente.

Clientes de todo o mundo perdem por ano USD 460 bilhões ao descartarem roupas que ainda poderiam ser usadas, já que é estimado que se desfaçam das peças após apenas sete ou dez usos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017). De acordo com a Fundação Ellen MacArthur (2017):

Do total de fibras usadas para confecções, 87% são depositadas em aterros ou incineradas, representando uma oportunidade perdida de mais de US\$ 100 bilhões anuais. Até 73% do material que entra no sistema de vestuário é perdido após o uso final da roupa, 10% é perdido durante a produção da roupa e 2% de roupas que são produzidas, mas nunca chegam ao mercado, são enviados para aterros ou incineração. Uma perda adicional de 2% ocorre na coleta e triagem de roupas descartadas. No geral, um caminhão de lixo têxtil é depositado em aterro ou incinerado a cada segundo (FUNDAÇÃO ELLEN MACARTHUR, 2017, p. 36, tradução nossa).

Só o Brasil, segundo a SEBRAE, produz 170 toneladas de resíduos têxteis por ano, em 2014, sendo que 80% são destinados para lixões¹⁴ e aterros sanitários¹⁵, onde podem ser incinerados¹⁶ (AMARAL, 2018 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020). Logo, apenas 20% são reciclados ou reaproveitados de alguma forma.

Porém, o número não condiz com os dados da região central de São Paulo, nos bairros Brás, Bom Retiro e Vila Maria, conhecidos por formarem o maior polo produtivo de roupas do

¹⁴ Grande terreno onde lixos são depositados a céu aberto, sem nenhuma pré-seleção entre materiais recicláveis e orgânicos. Esse tipo de destino é o mais prejudicial ao meio ambiente ao poluir o ar, solo e trabalhadores.

¹⁵ Grande terreno onde o lixo é enterrado em camadas, visando o controle e minimização da contaminação do solo e ar.

¹⁶ Processo que realiza a queima do lixo, sendo altamente poluente para a atmosfera com a liberação de diversos gases tóxicos, como o dióxido de carbono e os óxidos de enxofre (LANGANKE, [20--]).

país e onde são coletados por dia 63 toneladas de resíduos têxteis (RECICLA SAMPA, 2020 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

Essa contradição só mostra o quanto falta controle sobre esses resíduos e transparência por parte das marcas em questão de quanto lixo têxtil é descartado durante suas produções, pois, por mais que a legislação brasileira possua normas¹⁷ que tratem dos resíduos sólidos das cidades, nenhuma delas abrange especificamente o lixo proveniente das redes têxteis.

Essa “falta de uma política de gestão de resíduos têxteis dificulta o mapeamento dos verdadeiros impactos socioambientais da indústria têxtil, e também proporciona o aumento exponencial das emissões de GEE oriundas de aterros sanitários e, no caso do Brasil, de lixões” (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020, p. 59).

Ao pararem em aterros sanitário ou lixões, esses resíduos levam décadas ou séculos para se decomporem, causando a contaminação do solo e corpos hídricos, liberação de gases tóxicos, proliferação de doenças, entre diversos outros danos. Além disso, muitas dessas roupas coletadas são vendidas para países periféricos, onde uma parte é tratada e revendida e a outra, grande maioria, é levada para aterros sanitários nesses mesmos países, como acontece no Deserto do Atacama, no Chile, onde fica um dos maiores lixões clandestinos de roupas. Assim, países de primeiro mundo usam esses países, dados como subdesenvolvido, como grandes lixões do mundo, o que não só causa impacto no meio ambiente, mas também para as pessoas que habitam essas regiões.

Além disso, existe a dificuldade da reciclagem têxtil. Os têxteis pré-consumo são relativamente fáceis de ser reaproveitados, já que sua composição é conhecida e a qualidade semelhante à fibra virgem, no entanto, com os têxteis pós-consumo há o problema da falta de homogeneidade, desgaste e risco de contaminação, além do custo e difícil administração e gerenciamento de logística reversa por parte da marca. Até mesmo na tentativa de decompor essas peças há o problema de poucas fibras serem realmente biodegradáveis, seja pelo baixo valor nutricional ao solo ou pela adição de substâncias nocivas em suas composições. Torna-se, assim, complicado achar um destino menos danoso ao meio ambiente (OLIVEIRA, 2020).

¹⁷ Lei nº 12.305/10 - institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos (Brasil, 2010).
Resolução CONAMA nº 313/02 - para o controle e gerenciamento de resíduos industriais (Brasil, 2002).

Com o atual sistema mundial, entre 2015 e 2020, o peso das roupas pode superar em dez vezes o número da população mundial de hoje, chegando a mais de 150 milhões de toneladas de roupas enviadas para aterros sanitários ou queimadas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Em todo o ciclo de vida das roupas (Figura 2) há a emissão de mais GEE, além do já emitido durante a produção, pelo transporte entre os locais destinados para a realização de cada etapa, o que, se a indústria não mudar, poderá, até 2050, usar mais de 26% do orçamento de carbono, sendo associado ao aumento de 2°C da temperatura terrestre (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

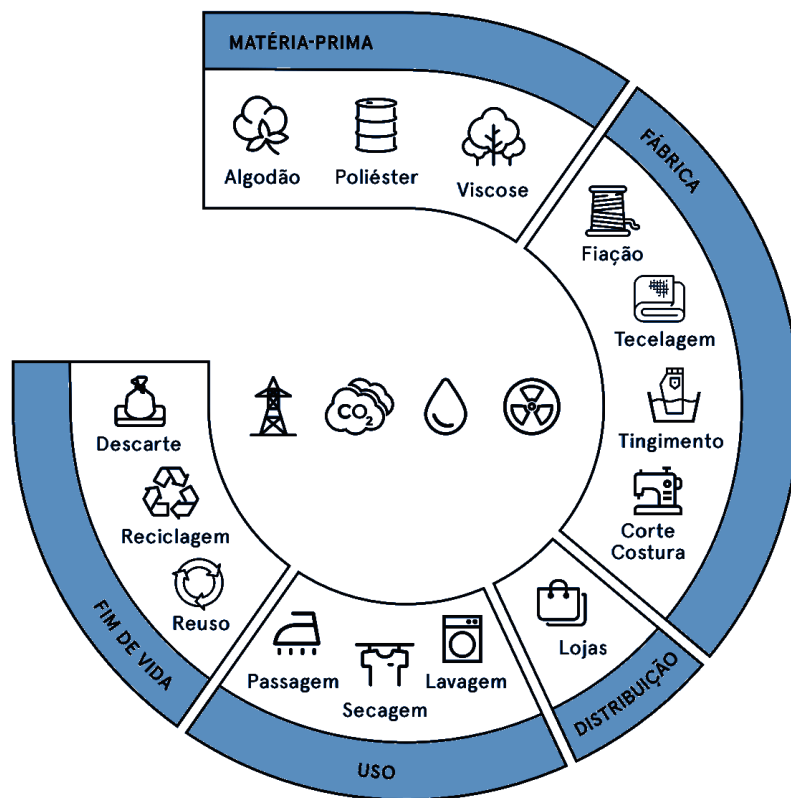


Figura 2 – Ciclo de vida das roupas

Fonte: Adaptado de Modifica; FGVces; REGENERATE, 2020.

3. SUSTENTABILIDADE E MODA CIRCULAR

3.1 CONCEITUANDO SUSTENTABILIDADE

A relação do homem com a natureza vem se alterando muito durante os milênios. Primeiramente, se tratava de uma relação mútua de sinergia e cooperação, passando para a da intervenção, quando o ser humano começou a fazer uso de instrumentos para modificar a natureza. A fase atual, da agressão, é quando o ser humano faz uso de aparatos tecnológicos para submeter a natureza a seus próprios propósitos, (BOFF, 2013) sendo os danos à natureza seu maior problema.

Com isso, aos poucos, a preocupação com a exploração exacerbada da natureza foi crescendo e impulsionando que a população buscasse possíveis soluções para garantir nossa existência e desenvolvimento, se apropriando, então, do termo sustentabilidade.

Segundo o Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa digital (2010), a palavra sustentabilidade representa a “qualidade de sustentável”, que, logo, descreve sustentável como o “que se pode sustentar” ou “capaz de se manter mais ou menos constante, ou estável, por longo período”. Assim, pode-se notar que o significado das palavras que ganharam grande uso em relação com a natureza, na verdade possui um significado bem mais amplo e subjetivo.

O conceito da sustentabilidade começou a ser usado como sinônimo de práticas ecológicas, pela primeira vez, na província da Saxônia, Alemanha, em 1560, sendo traduzida da palavra alemã “*nachhaltigkeit*”. Isso devido ao surgimento da preocupação com os bosques e florestas após a grande extração de árvores para a construção de casas, barcos e para o uso de combustíveis, já que a madeira era a principal matéria prima do século XVI (BOFF, 2013).

Porém, foi apenas em 1713 que o capitão Hans Carl von Carlowitz, novamente na Saxônia, publicou um tratado, o qual passou mais de 50 anos trabalhando, chamado “*Sylvicultura Oeconomica*”, com mais de 400 páginas, em que propunha o uso racional da madeira, ao pegar apenas a quantidade que o bosque suportasse e que permitisse a continuidade de seu crescimento, pensando que, caso houvesse seu esgotamento, acabaria os negócios e o lucro. Logo, os comerciantes locais começaram a incentivar o reflorestamento das florestas por medo de que, caso o contrário, tivessem prejuízos econômicos (BOFF, 2013).

Nesse contexto, podemos notar a relação direta com o significado da palavra sustentabilidade, já que a medida proposta tem objetivo de preservar e manter os recursos naturais estáveis por um longo período, além da adoção de sua prática visando a continuidade também do desenvolvimento econômico e produtivo.

Esse movimento foi tão forte, que deu origem a uma nova ciência chamada Silvicultura, "que estuda as maneiras naturais e artificiais de restaurar e melhorar o povoamento nas florestas, para atender às exigências do mercado. Este estudo pode ser aplicado na manutenção, no aproveitamento e no uso consciente das florestas" (BARROS, 2021).

O termo sustentabilidade e a preocupação com o meio ambiente foram novamente resgatados na década de 60, quando a crise ambiental, devido a uma série de desastres e desequilíbrios ecológicos, começou a ser debatida por pesquisadores e ambientalistas, além de ser considerada um problema de ordem mundial pela comunidade científica e pelos governantes conscientes (BERLIM, 2012).

Logo, em 1972, ocorreu a primeira Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente Humano, em Estocolmo, Suécia, organizada pela Assembleia Geral da Organização das Nações Unidas (ONU). Mesmo dando origem ao Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), seus resultados não foram muito efetivos (BOFF, 2013).

Em 1984, ocorreu uma nova conferência, dando origem à Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Essa comissão não durou muito tempo, se encerrando em 1987, com o informe da Primeira Ministra da Noruega, Gro Harlem Brundtland, que ficou muito conhecido como "Nosso Futuro Comum", ou "Informe Brundtland" (TORRESI; PARDINI; FERREIRA, 2010).

Foi nesse informe que, além de apontarem a incompatibilidade entre os padrões de produção industrial e consumo da época e a possibilidade de um futuro digno para as próximas gerações (BERLIM, 2012), surgiu também a definição de "desenvolvimento sustentável" como sendo "satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades" (TORRESI; PARDINI; FERREIRA, 2010).

O incomum é que o processo de desenvolvimento, na maioria das vezes, é associado com o crescimento econômico e industrial, mesmo que esse tipo de crescimento venha trazendo

bastante danos à humanidade, já que tem seu foco em dominar a natureza e explorar todos os seus bens e serviços. Sendo, portanto, diretamente contrário ao que a sustentabilidade propõe.

Assim, "o que vem sendo questionado é como conciliar crescimento econômico, geração de empregos, acesso à saúde e educação com a melhoria da qualidade de vida [...] em que o ambiente natural, a biodiversidade e os recursos naturais aparecem como base para essa qualidade" (BERLIM, 2012, p. 20). Pensando nisso, o conceito de desenvolvimento sustentável se baseia em três pilares de igual valor: justiça social, viabilidade econômica e preservação ambiental, visando estabelecer uma harmonia entre os seres humanos e a natureza e se opor a esse tipo de desenvolvimento danoso, porém ainda visando o bem estar da economia (BERLIM, 2012). Sendo assim, o conceito de desenvolvimento sustentável assume, também, uma dimensão social, política e cultural.

Já em 1992, aconteceu a ECO-92, ou RIO-92, a Conferência da Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, no Rio de Janeiro, na qual foi pactuada a Agenda 21 para a conservação do planeta, que visa identificar os problemas prioritários, os recursos e meios de enfrentá-los, além das metas para as décadas seguintes (BRASIL, 1995). Embora tenha o foco na conservação da biodiversidade, o acordo foi além e fez críticas aos padrões de desenvolvimento e consumo que são nocivos ao meio ambiente, como afirma o Princípio 8 da Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento: "Para alcançar o desenvolvimento sustentável e uma qualidade de vida mais elevada para todos, os Estados devem reduzir e eliminar os padrões insustentáveis de produção e consumo, e promover políticas demográficas adequadas" (1992).

Houveram, depois, algumas outras conferências organizadas pela ONU, no Rio de Janeiro: Rio+5 e Rio+20, e em outras regiões do mundo como em Copenhague, Dinamarca: COP 15, em Paris, França: COP 21 e em Glasgow, Escócia: COP 26. Essas conferências resultaram no desenvolvimento de vários documentos importantes que discutiam diversas pautas ambientais, entre a "Carta do Rio de Janeiro" e o "Acordo de Paris", e o comprometimento de diversos países para efetivar o desenvolvimento sustentável e a maior consciência humana acerca dos problemas ambientais (BOFF, 2013).

Atualmente, o que vemos é uma série de contradições que normalmente estão sendo atreladas ao conceito da sustentabilidade. É comum usar a ideia para ocultar problemas de agressões à natureza ou como uma estratégia de marketing comercial. Muitas das vezes um

produto que se diz “sustentável” não é, por ocorrer, em algum processo, a adição de produtos químicos, alta geração de resíduos ou uma situação de trabalho precário, havendo, então, o que é chamado de *Greenwashing* (do inglês, “lavagem verde”), que consiste na enganação dos consumidores que buscam produtos sem nenhuma submissão de produtos químicos (BOFF, 2013).

Depois de tantos debates sobre o assunto e lutas pela sua visibilidade, o que acontece é que “o conceito [sustentabilidade] está tão banal que se converteu em um modismo, sem que se esclareça ou se defina seu conteúdo” (BOFF, 2013, p. 26, tradução nossa).

Para algo ser sustentável, não consiste em apenas não adicionar químicos ou racionar a extração de matérias primas, mas também deve se basear no conceito chamado Tripé da sustentabilidade (ou *Triple Bottom Line*, em inglês) (Figura 3), criado pelo sociólogo britânico John Elkington, em 1997, no qual desenvolve melhor os três pilares do desenvolvimento sustentável: social, ambiental e econômico (AZEVEDO, 2022).



Figura 3 - Tripé da sustentabilidade

Fonte: Adaptado de IBICT; CNI, 2014, p. 9.

Assim, a empresa necessita ser socialmente justa, ao garantir que esse processo envolverá todo o mundo e que concederá os meios necessários para uma vida suficiente e decente; ambientalmente responsável, estabelecendo uma relação sustentável entre consumo e produção em termos energéticos, de poluição e de esgotamento de recursos naturais; e financeiramente

viável, de maneira que a alocação e gerenciamento de recursos seja eficaz e haja um constante fluxo de investimentos públicos e privados (AZEVEDO, 2022).

Com isso, o autor Leonardo Boff (2013, tradução nossa), define a sustentabilidade como “um modo de ser e de viver que exige conciliar as práticas humanas às potencialidades limitadas de cada bioma e às necessidades das gerações atuais e futuras” (p.10). Coloca ainda em seu sentido mais completo:

Sustentabilidade é qualquer ação destinada a manter as condições energéticas, informacionais e físico-químicas que sustentam a todos os seres, em especial a Terra viva, a comunidade da vida e a vida humana, em ordem da sua continuidade, além de atender às necessidades das gerações atuais e das gerações futuras, assim como da comunidade da vida que as acompanha, de tal forma que o capital natural seja mantido e enriquecido em sua capacidade de regeneração, reprodução e coevolução (BOFF, 2013, p. 91, tradução nossa).

Seguindo esses conceitos, fica evidente o quão insustentável nosso atual sistema é em seu viés econômico, social e ambiental, não resultando em qualidade de vida e sendo excludente para a maior parte da população.

Portanto, as transformações necessárias no atual sistema devem levar em conta a implementação de modos mais benignos de produção e consumo, implicando em um novo modo de civilização que valorize mais a vida e que seja mais respeitoso com os ritmos, as capacidades e os limites da natureza, atuando em sinergia e não se limitando apenas ao ganhar. É importante restaurar a vitalidade da natureza, dando-lhe descanso e devolvendo-lhe mais do que lhe extraímos, para garantir às gerações futuras as reservas naturais e culturais que os permitem viver como é devido (BOFF, 2013).

3.2 A SUSTENTABILIDADE NA MODA

Com a moda no centro desse sistema produtivo-destrutivo, parece contraditório uni-la ao termo sustentabilidade, principalmente com o consumo exagerado de roupas e acessórios se baseando na lógica do *fast fashion* (BERLIM, 2012). Entretanto, a moda é capaz de promover ações com maior consciência diante das questões sociais e ambientais ao melhorar suas condições de trabalho, diminuir o uso de recursos naturais e, principalmente, com o uso de seu poder de expressão e disseminação para conscientizar e informar seus consumidores.

Os estudos sobre a transformação da moda em uma indústria mais sustentável, ainda que possuam suas dificuldades e contradições, vêm crescendo e se aprimorando consideravelmente durante os últimos anos. No início, o foco dessas pesquisas estava mais no produto e no processo de produção, voltado para o desenvolvimento de produtos ecológicos. Mais recentemente, passaram a abranger as questões sociais, econômicas, políticas e culturais, além do aspecto ambiental, analisando não só o processo produtivo, mas também o de consumo até o descarte desses bens e o papel do consumidor em toda essa cadeia (BERLIM, 2012). Como exemplo de autores que estudam essa área temos Kate Fletcher, Lynda Grose, Lilyan Berlim, André Carvalhal, entre outros.

A moda sustentável pode ser expressa de várias formas, com isso ainda não se possui uma definição formal acordada (OLIVEIRA, 2020). No entanto, Berlim (2012) afirma que a moda geralmente se diz sustentável ao usar “fibras naturais, tingimentos não poluentes, materiais orgânicos e reciclados, lojas ecoeficientes, plantio de árvores, coleta e reciclagem de lixo, entre outras ações que remetem ao tema” (p. 25). Mesmo essas ações sendo de muita importância, não é apenas isso que consiste em algo sustentável, acarretando, então, na apresentação rasa desse assunto.

Implementar medidas como essas é trabalhar com "Responsabilidade ambiental", algumas vezes "Responsabilidade socioambiental", ou seja, a marca está no caminho para a sustentabilidade, contudo o produto não está. Não há intenção de mudar seus processos produtivos ou rever suas escolhas de materiais e o ciclo de vida de seus produtos.

Com isso, Kozlowski et al. (2018) define a moda sustentável como “vestuário criado tendo em consideração não só as fases do ciclo de vida do produto, como também uma perspectiva holística e pensamento sistêmico do design, que minimizam os impactos negativos e maximizam os impactos positivos na economia, no ambiente e na sociedade” (apud OLIVEIRA, 2020, p. 14).

Logo, “Empresas que realmente estão buscando ser mais sustentáveis estão provocando mudanças no coração do seu negócio” (BERLIM, 2012, p. 109), podendo usar materiais sustentáveis, possuir uma equipe de designers e compradores preocupados com os impactos dos produtos, verificar as práticas de seus fornecedores, repensar o ciclo de vida dos produtos, além disso, visar sempre questionar a viabilidade de seus negócios no futuro e em como diminuir os

impactos socioambientais e ainda crescer economicamente. Logo, o agir sustentável não gera apenas oportunidades de diferenciação, antecipação e consciência, mas o estabelecimento de uma nova relação com o consumidor, envolvendo limites entre a atuação do Estado, da iniciativa privada e da sociedade civil (BERLIM, 2012).

Infelizmente, na área da moda, principalmente no Brasil, a sustentabilidade ainda precisa se desenvolver muito, já que é uma pauta recente que começou a ganhar forma a partir da primeira metade do século XX, com os movimentos de agricultura orgânica e suas várias correntes minoritárias (BERLIM, 2012).

Na segunda metade do século XX, começaram a surgir movimentos de ecoconsciência como o “Faça você mesmo” (DIY) e a conscientização dos consumidores sobre o potencial das roupas de segunda mão, devido à alta do consumismo (STYLO URBANO, 2015).

Nos anos 60, surgiram no Brasil e no mundo as primeiras preocupações com impactos ambientais causados pela indústria têxtil, principalmente com sua etapa de beneficiamento, já que é a mais poluente em razão da sua alta quantidade de químicos usados. Na mesma época, surgiu o *Fair Trade* (Mercado Justo) com base na crescente preocupação dos consumidores europeus com a exploração dos trabalhadores em países em desenvolvimento ao redor do mundo. Seus objetivos eram atenuar as discrepâncias comerciais, sociais e éticas entre trabalhadores e pequenos agricultores e as grandes corporações (BERLIM, 2012).

Foi na década de 70, quando as organizações ambientalistas e os consumidores europeus começaram a se preocupar com a qualidade de seus alimentos, que foi entendido ao se comprovar que os agrotóxicos também estavam presentes na produção de suas vestimentas. No mesmo período, a tendência do reuso e do comércio de roupas de segunda mão começaram a crescer no Brasil (BERLIM, 2012).

Já no final dos anos 80 e durante a década de 90, enquanto era publicado o Informe Brundtland e ocorria a RIO-92, as preocupações se voltaram para os impactos da produção da matéria prima, principalmente o algodão, surgindo, assim, as primeiras culturas de algodão orgânico e as primeiras roupas consideradas ecológicas. Além disso, com a necessidade de entender a visão aos padrões de consumo e estilos de vida que demandam essa produção, começaram a surgir discussões e pesquisas acerca da esfera do consumo (BERLIM, 2012).

Por volta de 2004, em Londres, foi cunhado pela primeira vez o termo *slow fashion* pela escritora Angela Murrills, que em tradução literal quer dizer “moda lenta”. O termo não se contrapõe ao *fast fashion*, mas apresenta-se simplesmente como outra abordagem do design e da moda. Inspirado no movimento do *slow food*, o *slow fashion* adaptou alguns pontos para o âmbito da moda, conjugando novamente o prazer em criar, inventar e inovar. Além disso, o movimento preza pela diversidade, prioriza o local em relação ao global, promove consciência socioambiental, contribui para a confiança entre produtores e consumidores, prática preços reais que incorporam custos sociais e ecológicos e mantém seus processos de produção entre pequena e média escalas (LEGNAIOLI, 2022).

Foi apenas em 2007, que apareceu pela primeira vez em passarela brasileira a preocupação socioambiental nas coleções de roupas, na São Paulo Fashion Week (SPFW), maior evento de moda do Brasil. Desde então, o assunto tem se espalhado em revistas, eventos, feiras, pesquisas, cursos, entre outros (BERLIM, 2012).

O assunto ganhou maiores discussões quando foi inserido no campo científico, com o surgimento do primeiro Colóquio Nacional de Moda do país, em 2005, que, depois de algumas edições, já em 2009, criou uma sessão específica para a orientação à pesquisa e à discussão de moda e sustentabilidade. A justificativa dada foi a necessidade de basear a produção de artigos de moda nos princípios do desenvolvimento sustentável - produtos e produções que associam desenvolvimento econômico, justiça social e preservação ambiental. Como afirma Berlim (2012):

Internacionalmente, o que antes era apenas uma tendência é hoje prática consolidada. E sua seriedade é inquestionável: a sustentabilidade na área têxtil não é mais um destaque nas feiras de tecnologia têxtil, mas um segmento tão importante e fundamental quanto os negócios e a própria tecnologia. É por essa razão que se percebe não apenas a expansão de saberes sobre a moda e o crescimento do debate por uma moda sustentável, mas também a interação sistemática entre feiras de negócios e geração de conhecimento. (BERLIM, 2012, p. 93)

Os consumidores estão cada vez mais preocupados com as informações sobre a procedência dos produtos que compram e seus impactos socioambientais, pois, assim, é possível ter consciência de consumir produtos que fazem parte de uma cadeia produtiva ética. Valor esse que vem se perdendo com o *fast fashion*, devido a massificação das peças que são rapidamente descartadas. Logo, as empresas não participarem dessa mudança pode ser o mesmo que se manter

desqualificadas para as novas demandas de consumo, representando sérios riscos econômicos (SCHULTE et al., 2013).

A estética deve novamente andar em comunhão com a ética (sendo a etimologia de ambos os vocábulos derivada de *ethos*¹⁸) e o ambiental jamais pode ser separado do social. Isso porque “a moda não apenas nos espelha – ela nos expressa” (BERLIM, 2012, p. 17) como somos e como nos tornaremos no futuro. Assim, se não investirmos em uma reforma total de todo modelo de produção e econômico da indústria, logo a moda irá expressar a destruição não só nossa, mas também do planeta Terra.

3.3 MODA CIRCULAR

3.3.1 Economia Circular

A Economia Circular é um modelo econômico que “associa o crescimento econômico a um ciclo de desenvolvimento positivo contínuo, que preservar e aprimora o capital natural, otimiza a produção de recursos e minimiza riscos sistêmicos¹⁹, com a administração de estoques finitos e fluxos renováveis” (CNI, 2018).

Esse modelo nasce após o atual sistema linear de extração-produção-consumo-descarte chegar próximo de seu limite. Logo, como um conceito dinâmico, contemporâneo e em construção, principalmente a partir da prática, seus princípios circulares visam a garantia de que materiais e produtos fluam em um modelo circular fechado, no qual não haja resíduos, e, assim, mantenha seu valor de mercadoria e uso pela maior quantidade de tempo possível, além da geração de impactos sociais e econômicos positivos (CNI, 2018; MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

A Economia Circular é um modelo que possui origens históricas e filosóficas e integra diversas escolas e linhas de pensamento como: Economia do Desempenho, Ecologia Industrial, Cradle to Cradle, Economia Azul, Capitalismo Natural, Engenharia do ciclo de vida, Gestão do

¹⁸ “Conjunto dos costumes e hábitos fundamentais, no âmbito do comportamento (instituições, afazeres etc.) e da cultura (valores, ideias ou crenças), característicos de uma determinada coletividade, época ou região” (ETHOS, 2022).

¹⁹ “É o risco que um choque a uma parte limitada do sistema se propague como uma avalanche por todo Mercado Financeiro, podendo atingir tanto instituições insolventes quanto às que eram saudáveis antes de sofrerem o impacto do choque inicial” (DATZ, 2002), ou seja, um efeito em cascata na economia.

ciclo de vida e Economia de Performance (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017; CNI, 2018; MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

Mesmo cada escola atribuindo ênfases ligeiramente diferentes aos aspectos estruturais de suas ideias, eles compartilham de vários princípios comuns e o mesmo objetivo: criar um modelo econômico vantajoso sem a necessidade de destruir os recursos naturais ou criação de resíduos (WEETMAN, 2016 apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

O tema desfrutou de um renascimento nos países industrializados após a Segunda Guerra Mundial, porém ganhou repercussão mundial nos negócios, principalmente, ao lançar, em 2014, o relatório “*Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains*”²⁰ (em tradução livre, “Rumo à Economia Circular: Acelerando a expansão das cadeias de suprimentos globais”), no Fórum Econômico Mundial, elaborado em colaboração com a Ellen MacArthur Foundation (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017; CNI, 2018).

A proposta contemporânea de Economia Circular é uma integração de várias áreas, como economia, gestão, engenharia, design, ecologia, marketing, entre outras. Porém, seu maior destaque é na integração da Economia Circular no *mainstream* econômico²¹, não como “salvadora” do planeta e da espécie humana, mas sim como “salvadora” da própria economia, resultando em consequências benéficas ao planeta e à espécie humana (CNI, 2018).

Com isso, a Economia Circular se volta para a ampliação, diversificação e na maior longevidade na criação, proposição e captura de valor. Buscando restaurar os recursos físicos e as funções dos sistemas naturais e antrópicos²², ao trazer maiores oportunidades econômicas e sociais, com consequências positivas em sustentabilidade (CNI, 2018).

A transição para a Economia Circular deve ser realizada o quanto antes, levando em conta que o modelo linear nos aproxima cada vez mais da destruição e que sua implementação nos trará diversas consequências positivas, como: a redução de custos e maior geração de valor, já que melhora o aproveitamento dos materiais e reduz desperdícios; atrair novas fontes para investimentos, visto que internacionalmente já existem financiamentos específicos designados à

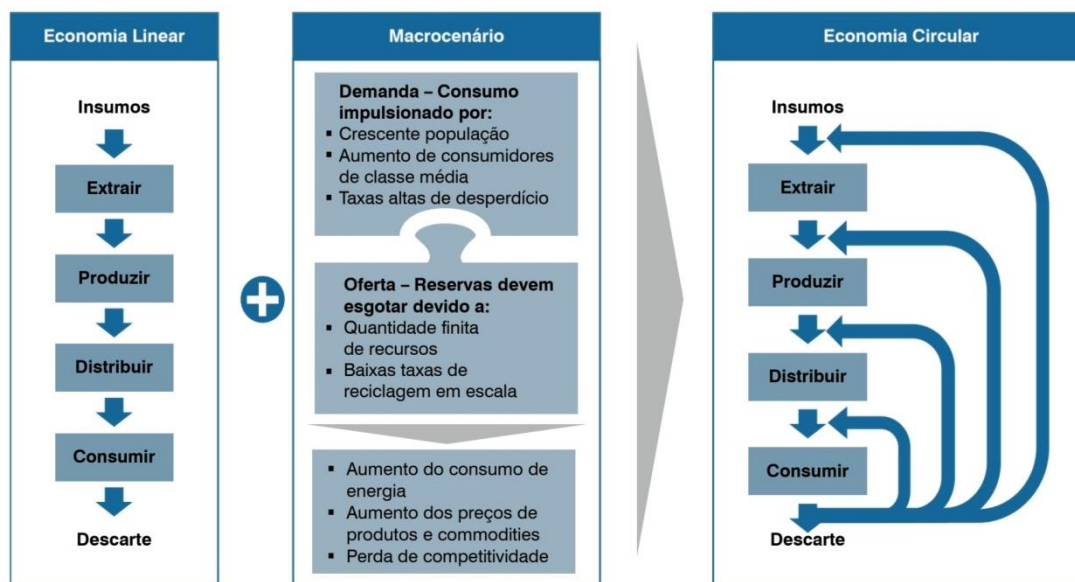
²⁰ Documento disponível em: https://reports.weforum.org/toward-the-circular-economy-accelerating-the-scale-up-across-global-supply-chains/?doing_wp_cron=1665846601.3208808898925781250000

²¹ Termo usado para se referir a um conjunto de escolas de pensamentos econômicos que são mais aceitas e ensinadas de forma habitual nas universidades (MAIS RETORNO, 2020).

²² Ações geradas pelo ser humano (RIBEIRO, 2017).

transição para a Economia Circular, como do banco European Investment Bank (EIB), através do European Fund for Strategic Investments (EFSI); ter maior resiliência e colaboração, devido a menor dependência de matéria prima virgem e, conseqüentemente, da volatilidade dos preços das *commodities*²³, além da regeneração do capital natural e haver a colaboração entre atores dentro e entre os ciclos para torná-lo possível; geração de emprego, pois gerir o que já foi produzido, através de reparos, manutenção, atualização e remanufatura, por exemplo, demanda muito mais mão de obra do que uma Economia Linear; e adquirir uma conformidade legal e normativa, em razão da construção necessária de políticas públicas facilitadoras às mudanças sistêmicas (CNI, 2018).

Portanto, para essa transição dos modelos lineares para modelos circulares (Figura 4), é essencial que haja uma coordenação entre medidas e iniciativas oriundas tanto do setor público, com ações que englobem principalmente ações regulatórias, fiscais e auxílio a negócios e financeiro, quanto do setor privado, assumindo o papel essencial na aceleração desta transição ao implementarem modelos de negócios inovadores (CNI, 2017).



Fonte: Análise ADVISIA OC&C Strategy Consultants

Figura 4 - Transição da Economia Linear para a Economia Circular

²³ “São produtos de origem agropecuária ou de extração mineral, em estado bruto ou pequeno grau de industrialização, produzidos em larga escala e destinados ao comércio externo. Seus preços são determinados pela oferta e procura internacional da mercadoria. No Brasil, as principais *commodities* são o café, a soja, o trigo e o petróleo” (EPSJV, [20--]), podendo se acrescentar também o algodão.

Fonte: Adaptado de CNI, 2017, p. 20.

A seguir, serão apresentadas três linhas de pensamento da Economia Circular: o Cradle to Cradle (2002), o qual é o conceito base para a maioria dos pensamentos que o sucederam; A New Textiles Economy (2017), que direciona a Economia Circular especificamente para a indústria da moda; e Perspectiva Sistêmica Para Circularidade (2021), no qual contextualiza a Moda Circular para as condições brasileiras por meio de ferramentas que validam a efetividade do método, possibilitando, assim, compreender melhor o conceito de Economia Circular do macro para o micro.

3.3.2 Cradle to Cradle – William McDonough e Michael Braungart

O arquiteto americano William McDonough e o químico alemão Michael Braungart, separadamente, dedicaram suas carreiras a questões sustentáveis, até se juntarem e criarem a McDonough Braungart Design Chemistry, uma empresa de desenvolvimento de produtos e sistemas que auxilia clientes, empresas, na implementação de seu protocolo exclusivo de design sustentável.

Em 2002, eles lançaram seu segundo estudo juntos, e o de maior sucesso, no livro *Cradle to Cradle: Remaking The Way We Make Things*, na versão em português, *Cradle to Cradle: criar e reciclar infinitamente* (2014). É nesse livro que eles difundem o conceito *Cradle to Cradle* (no português “do Berço ao Berço”), que hoje é uma das escolas de pensamento e a base da Economia Circular.

No texto, o sistema linear é denominado como *Cradle to Grave* (“do Berço ao Túmulo”), já que os recursos são extraídos, transformados em produtos, vendidos e, eventualmente, terminam em algum tipo de “túmulo”, normalmente um aterro sanitário ou um incinerador.

Já o modelo Cradle to Cradle (Figura 5) propõe um modelo de produção no qual não visa apenas diminuir a geração de resíduos, mas sim eliminá-la, devendo os produtos sempre serem reintroduzidos em um ciclo, onde eles são valiosos e infinitos, gerando efeitos positivos para as pessoas e o planeta. Isso é dito possível através de um design inteligente de produtos, processos e

serviços, de modo que diminua a utilização de insumos e que o design das roupas seja com o foco de serem recicladas infinitamente e utilizadas na criação de novas soluções (OLIVEIRA, 2021).

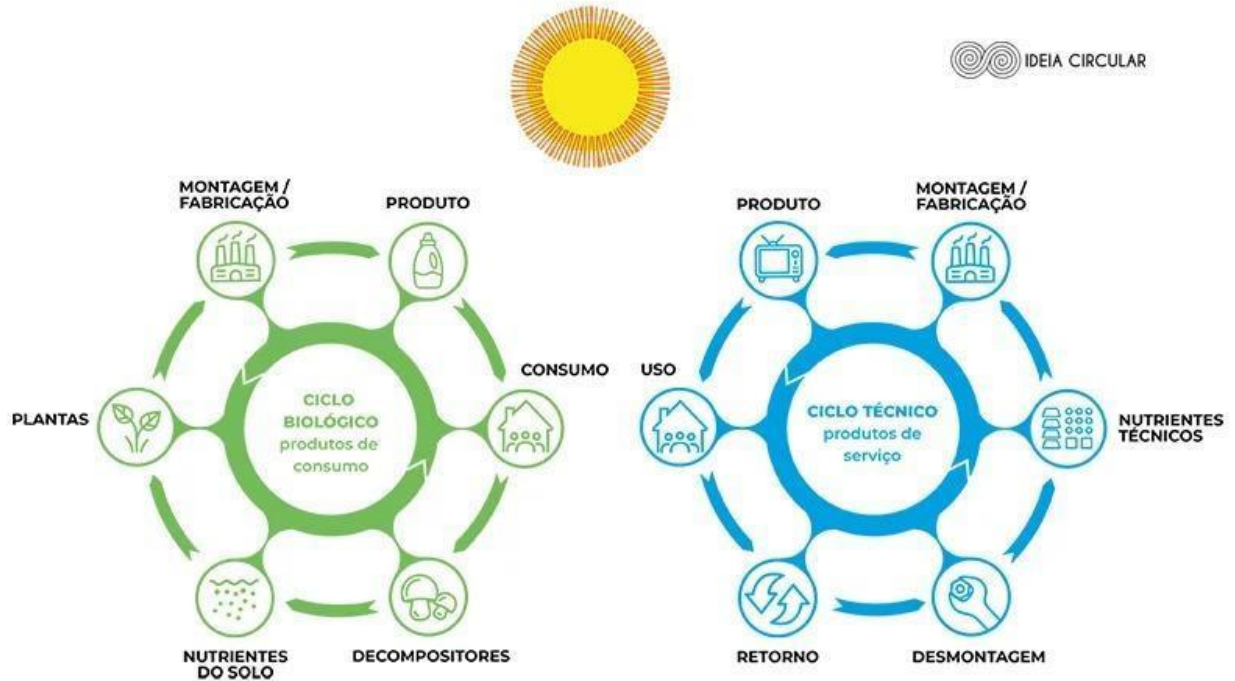


Figura 5 - Ciclos biológico e técnico do Cradle to Cradle

Fonte: GEJER; TENNENBAUM, 2018. p. 9.

O conceito expõe dois metabolismos presentes no planeta, o metabolismo biológico, ou a biosfera, e o metabolismo técnico, ou tecnoesfera. Esses metabolismos contemplam, respectivamente, os ciclos naturais e os ciclos da indústria (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002).

Assim, os materiais que são biodegradáveis se tornam alimentos para os ciclos biológicos, ou materiais técnicos ficam em um ciclo fechado nos ciclos técnicos, e em cada um deles os materiais continuam circulando como ricos nutrientes para a indústria. Entretanto, para isso, seria necessário tomar alguns cuidados já no design do produto, como não conter substâncias que possam causar danos futuros à saúde humana ou ambiental (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002).

Ainda seguindo o raciocínio, o sistema define os produtos de consumo (como comida, roupas de fibras naturais e produtos de higiene e limpeza), os quais após usados, deveriam ser colocados, ou suas embalagens, no solo para que sejam compostados seguramente e gerarem nutrientes biológicos ao meio; e os produtos de serviço (como eletrônicos e eletrodomésticos), em que depois de perderem suas funções, deveria passar por um processo de restauração para que os itens recuperem seus valores e gerem nutrientes técnicos. Logo, não há espaço para a existência de materiais fora dos ciclos (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002; OLIVEIRA, 2021).

O modelo Cradle to Cradle possui três princípios:

- 1) Resíduos são nutrientes - focar no design dos produtos que, além de serem seguros ao ser humano e ao meio ambiente, devem ser também nutritivos ao serem introduzidos em um dos ciclos;
- 2) Uso de fonte solar em seu máximo potencial - é uma fonte energética renovável de entrada constante e infinita, devendo às indústrias serem autossuficientes ao produzirem toda energia que consomem;
- 3) Celebrar a diversidade - a diversidade fortalece os sistemas biológicos e assim industriais (GEJER; TENNENBAUM, 2018).

Atualmente, existe a certificação internacional “Cradle to Cradle”, da Cradle to Cradle Product Innovation Institute (C2CPPI), que certifica produtos que se comprometem com a Economia Circular, ao analisar a segurança à saúde humana e ambiental, sua reciclabilidade e processos de fabricação, no qual requer o engajamento de todos os fornecedores ao longo da cadeia produtiva e do consumidor final, para que se crie um ciclo de produção e reaproveitamento infinito (KLEBA, 2021; OLIVEIRA, 2021).

3.3.3 A New Textiles Economy – Ellen MacArthur Foundation

A New Textiles Economy (“Uma Nova Economia Têxtil”), da fundação Ellen MacArthur Foundation, sendo uma importante escola de pensamento e dentre suas várias outras vertentes da Economia Circular, é focada especificamente na Economia Circular dentro da moda, como um

sistema restaurativo e regenerativo através do design, se baseando, principalmente, no conceito Cradle to Cradle, afirma que:

Em Uma Nova Economia Têxtil, roupas, têxteis e fibras são mantidas em seu valor mais alto durante o uso e reentrada na economia posteriormente, nunca terminando como resíduos. Essa visão é distinta e complementar dos esforços progressivos para tornar o sistema têxtil mais sustentável, minimizando seus impactos negativos. Com ênfase específica na inovação em direção a um sistema diferente, Uma Nova Economia Têxtil apresenta uma oportunidade de oferecer resultados econômicos, sociais e ambientais substancialmente melhores (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017, p. 3, tradução nossa).

Esse sistema possui três princípios liderados pelo design:

- 1) Design sem resíduos ou poluição - diminuindo o despejo de GEE e substâncias químicas no meio ambiente, a poluição do ar, terra e água e o acúmulo de resíduos que podem causar danos à saúde humana e do ecossistema;
- 2) Manter produtos e materiais em uso – para evitar o desperdício de energia, trabalho e materiais, os produtos devem ter seus designs e fabricações para serem reusados, refeitos, reciclados e, em última opção, depois de serem usados e reciclados ao máximo, serem seguramente compostados e voltarem seus nutrientes para o meio ambiente;
- 3) Regenerar o sistema natural - o design deve ser feito para evitar substâncias danosas à saúde ou ao meio ambiente, permitindo que materiais seguros circulem, que não haja poluição liberada no ambiente, além de reduzir a necessidade por insumos virgens, diminuindo o consumo de recursos finitos (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020).

Além de seus princípios fundamentais, Uma Nova Economia Têxtil se baseia em quatro ambições (Figura 6) para que possa conduzir melhores resultados econômicos, sociais e ambientais, capturando oportunidades perdidas pelo atual sistema têxtil de Economia Linear, sendo elas: acabar com substâncias preocupantes e liberação de microfibras, aumentar a utilização de roupas, melhorar a reciclagem radicalmente e fazer uso efetivo dos recursos e mudar para fontes renováveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

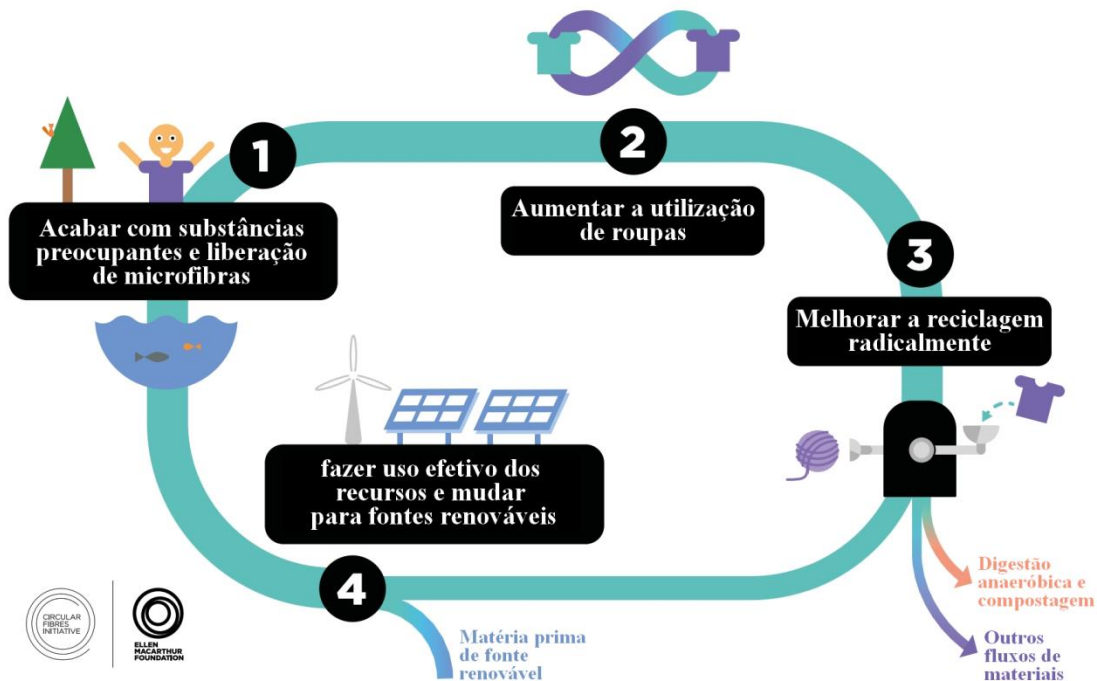


Figura 6 - Ambições para Uma Nova Economia Têxtil

Fonte: Adaptado de ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017.

- 1) Acabar com substâncias preocupantes e liberação de microfibras - é necessário garantir que as matérias primas são seguras para permitir a circularidade e evitar impactos negativos durante as fases de produção, uso e pós-uso (OLIVEIRA, 2020). Isso significa que substâncias que podem impactar tanto nossa saúde, quanto o meio ambiente, devem ser projetadas para não estarem presentes entre os componentes e que poluentes, como as microfibras de plástico, não devem acabar sendo despejadas no meio ou no oceano (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).
- 2) Aumentar a utilização de roupas - projetar e produzir roupas de alta qualidade, feitas para durabilidade, reuso, remanufatura e reciclagem, e proporcionar o acesso delas por meio de um novo modelo de negócio poderia ajudar a mudar a perspectiva das roupas serem itens descartáveis para se tornarem produtos duráveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).
- 3) Melhorar a reciclagem radicalmente - ao transformar o design, a coleção e o reprocessamento das roupas, permitiria a indústria a capturar o valor dos materiais em roupas que não são mais usadas, através da reciclagem. A melhora do sistema de

reciclagem representa uma oportunidade para a indústria de resgatar mais que 100 bilhões de dólares dos materiais perdidos no sistema todo ano (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017), além de reduzir impactos negativos do descarte ao manter materiais, produtos e componentes circulando na economia. Isso só será possível ao pensar melhor no que irá compor a vestimenta durante o design (eliminando as misturas de fibras e os materiais tóxicos), desenvolvendo um processo eficiente de reciclagem, desenvolvendo novos materiais com maiores benefícios ao serem reciclados e investir na tecnologia de rastreabilidade e detecção, para identificar materiais no processo de reciclagem, e nas políticas de transparência das empresas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

- 4) Fazer uso efetivo dos recursos e mudar para fontes renováveis - os recursos poderiam ser drasticamente reduzidos ao aumentar o uso das roupas e melhorar a reciclagem (ambições 2 e 3), porém matérias primas virgens provavelmente sempre serão necessárias. Assim, o uso de fontes renováveis para a extração desses materiais seria mais benéfico, como o uso de matérias primas renováveis para fibras à base de plástico, de energia limpa e da agricultura regenerativa²⁴ para produzir quaisquer recursos renováveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017).

Ademais, a transparência, principalmente na comunicação de impactos e no fornecimento de dados, e rastreabilidade de toda a cadeia produtiva e de suprimentos por parte das empresas e indústrias também são importantes para a Moda Circular como um todo. Isso porque, ao disponibilizar informações para todos os atores durante a cadeia e traçar produtos, componentes e materiais, assim como as condições sociais e ambientais, que ocorrem ao decorrer do ciclo, inclusive no pós-uso, permitem entendimento comum, acessibilidade, comparabilidade e clareza (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020; MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

Proporcionar condições de trabalho justas e dignas dentro da indústria da moda é mais uma das preocupações da Moda Circular da Ellen MacArthur Foundation, com os funcionários recebendo salários decentes, tendo ambientes de trabalhos que não prejudiquem suas saúdes, jornadas de trabalho adequadas, leis e fiscalizações trabalhistas mais rigorosas, entre outras medidas. Assim, a Fundação MacArthur (2020) enfatiza que:

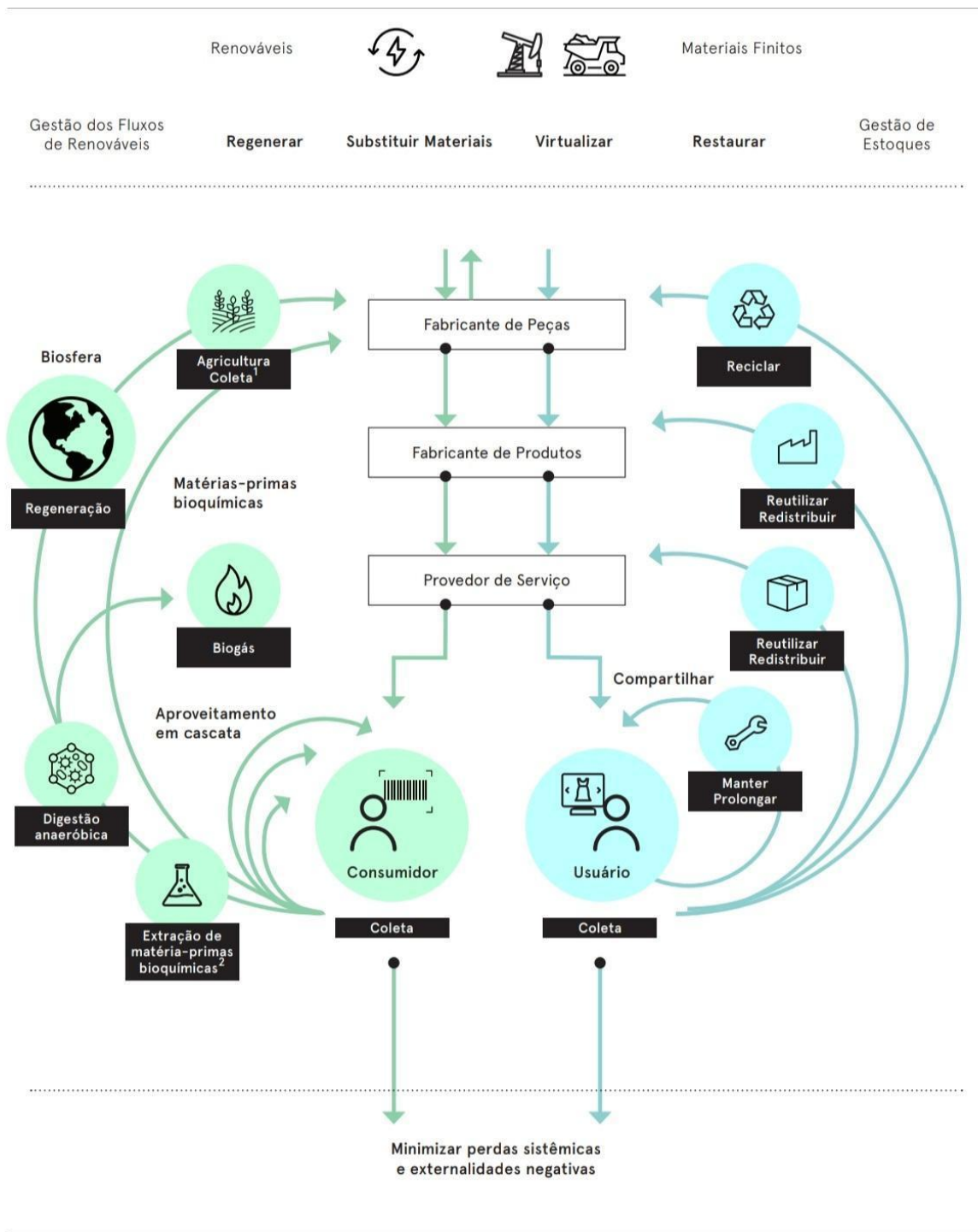
²⁴ Visa melhorar a saúde do solo ou restaurar o solo altamente degradado (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

Uma economia circular para a moda cria melhores produtos e serviços para os clientes, contribui para uma indústria da moda resiliente e próspera e regenera o meio ambiente. Ao entregar a visão, os direitos e a equidade de todas as pessoas envolvidas na indústria da moda são priorizados. A economia circular para a moda cria novas oportunidades de crescimento que são distributivas, diversas e inclusivas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020, p. 2, tradução nossa).

As ambições de Uma Nova Economia Têxtil se relacionam diretamente com os seus princípios, visto que o primeiro princípio da Economia Circular (design sem resíduos ou poluição) pode ser cumprido pela ambição 1 (acabar com substâncias preocupantes e liberação de microfibras). O segundo princípio (manter produtos e materiais em uso) é exercido pelas ambições 2 e 3 (aumentar a utilização de roupas e melhorar a reciclagem radicalmente). Já o terceiro princípio (regenerar o sistema natural) é satisfeito por todas as quatro ambições, assim com a ambição 4 (fazer uso efetivo dos recursos e mudar para fontes renováveis) se relaciona com todos os três princípios.

Assim como no modelo Cradle to Cradle, em Uma Nova Economia Têxtil os materiais podem seguir por dois ciclos diferentes: o ciclo técnico, no qual materiais que não podem retornar ao meio ambiente, como plástico, metais ou sintéticos, rodam continuamente pelo sistema para manter seu alto valor através do reuso, reparação, refazer ou reciclagem, e o ciclo biológico, que consiste em decompor materiais biológicos, como o algodão, por compostagem ou digestão anaeróbica, para a recuperação de seus nutrientes para o meio (OLIVEIRA, 2021).

Seria recomendado que todos os materiais primeiro passassem pelas etapas do ciclo técnico (Figura 7), inclusive os materiais biológicos, para manter seu valor em circulação ao máximo antes de retornarem ao meio ambiente (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2020), já que ciclos menores apresentam maior potencial de preservação de integridade do produto e da energia utilizada em sua produção (CNI, 2017).



¹ Caça e pesca

² Pode aproveitar tanto resíduos pós-colheita como pós-consumo como insumos

Figura 7 – Ciclos biológico e técnico da Ellen MacArthur Foundation

Fonte: MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020, p. 35.

Na Moda Circular, nenhum produto, material ou componente é descartado, ele passa por um design visando ou em ser investido para outro processo produtivo, ou em ser retornado seguramente à biosfera.

3.3.4 Perspectiva Sistêmica Para Circularidade – Modefica

Considerando que a maioria dos conceitos e das escolas de pensamentos provêm de fundações, instituições de pesquisa, academias e outras organizações do Norte Global, a Instituição Modefica, com a ajuda do Centro de estudo em sustentabilidade da Fundação Getúlio Vargas (FGVces) e da Regenerate Fashion, contextualizou o conceito da Moda Circular para as condições brasileiras, além de reconhecer a importância das economias do Sul Global como principais produtoras de matéria prima, voltados para a produção extrativista de *commodities*, e onde mais sofrem os impactos negativos da Economia Linear.

O modelo proposto no relatório Fios da Moda (2020) atribui grande importância ao aspecto social, além do cultural, ambiental, político e econômico, dentro de uma Economia Circular, mesmo que alguns pesquisadores argumentem que esse aspecto ainda não é visto como prioridade de negócio (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020). Além de se basear, principalmente, nos conceitos Cradle to Cradle e Uma Nova Economia Têxtil.

Devido à decisão pela incorporação de uma estratégia de Economia Circular vir sendo questionada quanto ser a melhor estratégia para o produto e para o meio ambiente, a Modefica introduziu em sua pesquisa a ferramenta de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

Reconhecida internacionalmente e padronizada pelas normas ISO 14040 e ISO 14044, a ACV permite avaliar, mapear e comparar os impactos ambientais de produtos durante todo o seu ciclo de vida, ou seja, desde a extração dos recursos naturais até sua disposição junto ao ambiente (ABNT, 2014a, 2014b apud MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020, p. 39).

A ACV é apontada como uma ferramenta consistente e efetiva para avaliar estratégias de reciclagem, reuso e outras opções de recuperação de fim de vida integradas à Economia Circular, além de permitir a previsão dos impactos de diferentes alternativas de produção de um produto, podendo contribuir para o direcionamento das estratégias e das opções de Economia Circular mais promissoras ecologicamente (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020; OLIVEIRA, 2020).

Enquanto a Economia Circular funciona como um modo de pensar filosófico, que busca olhar os sistemas com o intuito de torná-los circulares e não lineares, a ACV já se dá em um nível mais concreto, promovendo um instrumento de mensuração para embasar a tomada de decisão ao analisar toda cadeia produtiva. Isso garante que se tornem técnicas complementares, permitindo mensurar diferentes impactos ambientais e auxiliar a gestão desses impactos na indústria da moda (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

No modelo de Moda Circular também se utiliza do Pensamento Sistêmico, ou Pensamento Holístico, que se refere à habilidade de compreender que as partes de um sistema influenciam o todo, devendo esses componentes sempre atuar em conjunto e harmonia com o ambiente, sistema maior, para manter um bom funcionamento. Logo, tentar compreender somente uma parte de um sistema pode não funcionar (VILHENA, 2016).

Indústrias são sistemas complexos, no qual as partes estão constantemente interagindo e nenhuma ação ou atitude capaz de interferir no sistema como um todo pode ser tomada de forma isolada, portanto qualquer tentativa de transformação exigirá colaboração e uma visão sistêmica clara dos envolvidos (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020, p. 44).

Assim, são propostos seis pilares teóricos (Figura 8), que servirão como uma linha base para a Perspectiva Sistêmica Para Circularidade: Design de produto circular, design de processos e fluxos circulares, sistemas vivos: regenerar a natureza, recursos e toxicidade limitada, condições locais: internalizar externalidades e sociedade: justiça e ecologia social (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

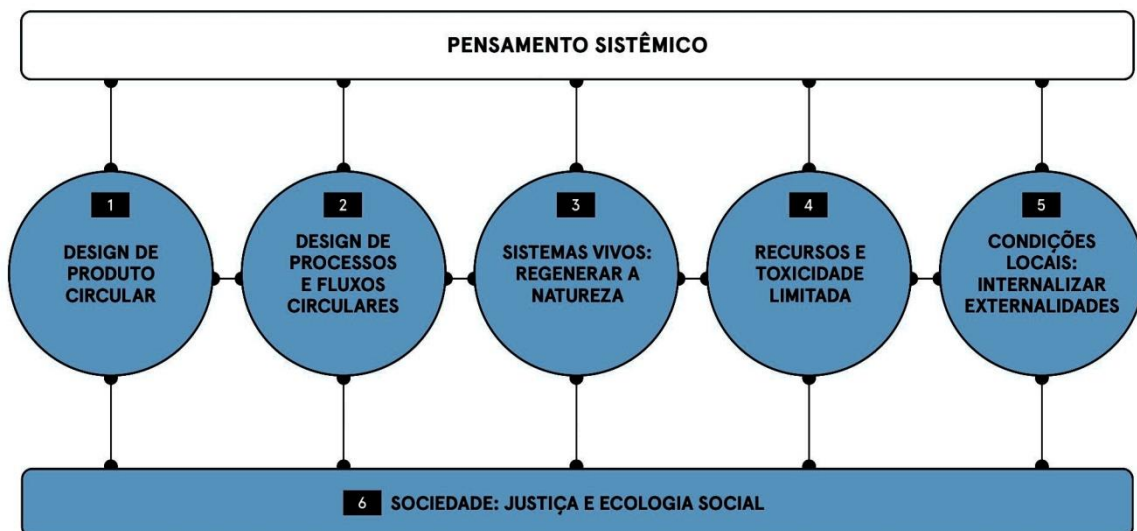


Figura 8 - Pilares teóricos da Perspectiva Sistêmica Para Circularidade

Fonte: Adaptado de MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020, p. 45

- 1) Design de produto circular - os produtos devem ser projetados considerando o sistema que irá habitar. Isso em razão do processo de desenvolvimento ser decisivo e o agente definidor do futuro circular dos recursos investidos no produto no primeiro momento. Assim, eles devem ser pensados através das estratégias de Design para durabilidade, desenvolvendo produtos de qualidade e que visem circular por diferentes usuários, ou de Design para reciclagem, produtos que poderão ser facilmente reciclados, sendo elaborados visando a extensão da vida útil ao longo de vários ciclos de uso (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020);
- 2) Design de processos e fluxos circulares - fluxos circulares permitem que produtos, partes ou materiais utilizados sejam direcionados para um novo ciclo, devendo incluir o planejamento e a redução do uso de recursos durante todo o processo produtivo e a consideração das variantes do pós-consumo e possibilidades de reciclagem, sub-ciclagem (*downcycling*)²⁵ e sob-ciclagem (*upcycling*)²⁶. Logo, o fluxo circular deve buscar promover a circularidade em todos os estágios ao longo da rede produtiva. Nesse sentido, o Design de processos e fluxos circulares seria facilitado pelos seguintes pontos: criação de um bom modelo de negócio de logística reversa²⁷, reciclagem pré-consumo (resíduos da produção têxtil e de roupas), reciclagem pós-consumo (produtos prontos) e doações e consumo de segunda mão (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020);
- 3) Sistemas vivos: regenerar a natureza - a regeneração significa que, ao longo de todo o seu ciclo de vida, da produção ao descarte, o material ou produto irá melhorar o meio ambiente e isso pode ser facilitado por meio de: adoção de práticas de agricultura

²⁵ Processo de reciclagem que gera produtos de baixa qualidade. Isso porque certos materiais, como o plástico e o papel, possuem um limite de vezes que podem ser reciclados, por irem perdendo um pouco de sua qualidade cada vez que passam pelo processo, até chegarem a um estado que já não podem mais ser reutilizados (NÓBREGA, 2022). Com os resíduos têxteis, o tecido é submetido a ações químicas e mecânicas, transformando-o em fibras mais curtas, formando-se fios mais volumosos durante o processo de fiação, servindo como materiais de isolamento térmico e enchimento de colchões, por exemplo, (SCHULTE *et al.*, 2013).

²⁶ Processo de reciclagem que gera novos produtos de boa qualidade e valor ambiental, ao contrário do *Downcycling* (NÓBREGA, 2022). Na indústria da moda, peças são reparadas ou reutilizadas, utilizando técnicas de design como remodelar, costurar e recortar. Isso agrega valor e possibilitando uma nova vida útil a peças antes vistas como não utilizadas (SCHULTE *et al.*, 2013).

²⁷ “Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010).

regenerativa e uso de materiais compostáveis (quando se degradam no meio ambiente e fornecem nutrientes ao solo) (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020);

- 4) Recursos e toxicidade limitada - a indústria deve levar em consideração os agentes tóxicos utilizados em todos os processos, e a capacidade da natureza de absorver e processar essas toxinas para que seja possível a circularidade dos materiais, além de não prejudicar a saúde e segurança dos seres vivos. Para melhorar o uso dos recursos e limitar a toxicidade é necessário considerar o uso de energia, água e solo, as saídas químicas e a redução de resíduos e microplásticos (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020);
- 5) Condições locais do sistema: internalizar externalidades - com o Pensamento Sistêmico, são consideradas também as externalidades não diretamente associadas à cadeia de suprimentos ou ao design dos produtos, mas às circunstâncias locais. Assim, deve-se levar em consideração as políticas públicas e incentivos federais, a porcentagem de produção local e exportação (sendo importante o monitoramento de como os produtos são usados na sociedade e o nível de circularidade dos materiais que estão fluindo para dentro e fora da economia do país, já que estão fora de suas políticas de circularidade originais), a renda média nacional (para ser acessível à renda média do seu público) e as instituições educacionais (para difusão de conhecimentos e formações de profissionais qualificados em práticas sustentáveis) (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020);
- 6) Sociedade: justiça e ecologia social - “O valor material “infinito” proposto pela Economia Circular só pode ocorrer se a indústria têxtil valorizar os trabalhadores, os agricultores e as comunidades marginalizadas como prioridade” (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020, p. 51). Por isso, os principais pontos para alcançar a justiça e a ecologia social são: relações justas (como o pagamento justo de salário), diversidade (igualdade de gênero, raça e origens étnicas e entrada de diferentes deficiências, desempregados de longa data e egressos do sistema prisional), geração de novos empregos (o Brasil possui boas taxas de criação de “empregos verdes”²⁸) e inclusão de atores informais (a integração dos trabalhadores informais na cadeia de valor têxtil representará um fluxo constante de renda para o setor informal e garantirá a preservação de seus serviços no ciclo circular) (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

²⁸ Os “empregos verde” são aqueles que contribuem com ações sustentáveis, estando presentes na agricultura, energia renovável, manufatura e preservação direta (MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020).

O sistema da Perspectiva Sistêmica Para Circularidade pode ser observado na figura 9 a seguir:

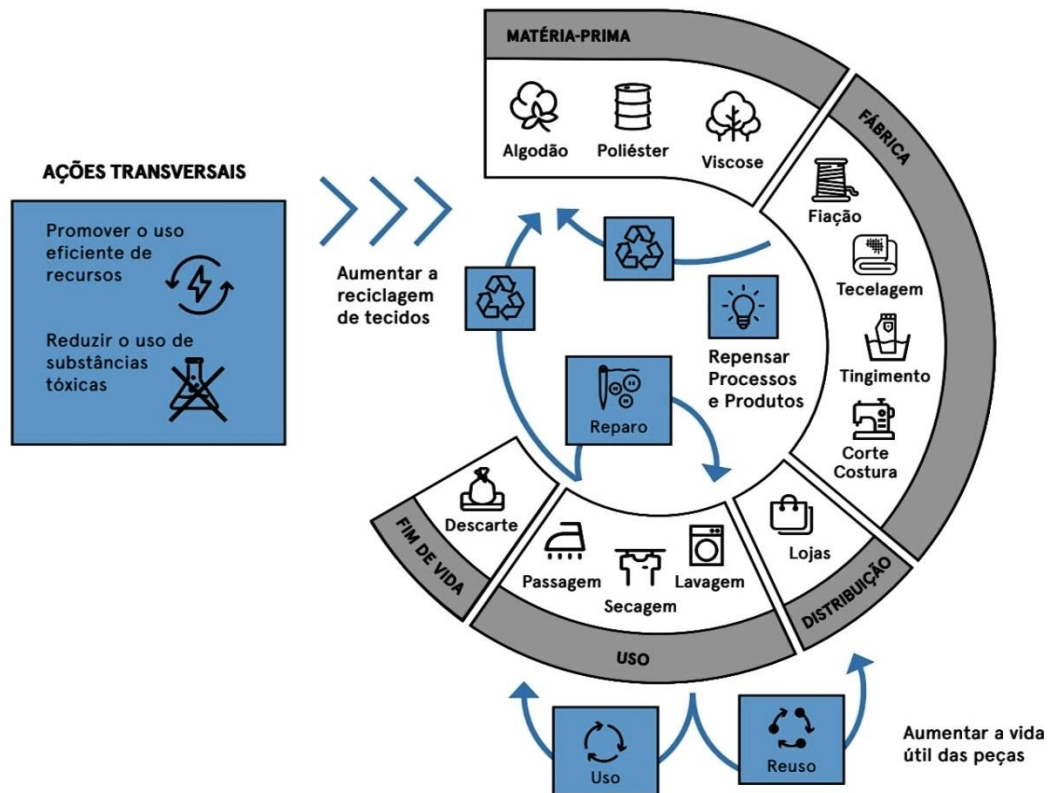


Figura 9 - Moda Circular da Modefica

Fonte: Adaptado de MODEFICA; FGVces; REGENERATE, 2020, p. 104.

Conclui-se, então, que essas linhas de pensamento têm como objetivo, em menor ou maior grau, compor um sistema sustentável, tanto industrial quanto comunitário, sendo capaz de atender a questões sociais e ambientais e ainda contribuir para o crescimento econômico. No entanto, seu conceito ainda é muito mais teórico que prático, podendo indicar que possui dificuldades na sua transição, seja por ser um conhecimento pouco difundido ou pelos altos custos de uma transformação tão radical, que só verá resultados a longo prazo. Por isso, a implementação de outras ferramentas que ofereçam inovações aos processos da indústria têxtil convencionais e

contribua com iniciativas mais ecológicas e positivas às comunidades, apoiadas aos princípios da Economia Circular, pode facilitar e trazer ainda mais benefícios para a sua concretização.

4. BIOTECNOLOGIA APLICADA À MODA CIRCULAR

4.1 O QUE É BIOTECNOLOGIA?

Milênios atrás, o ser humano já cultivava vegetais, domesticava animais, transformava os alimentos e aproveitava as propriedades curativas de algumas plantas para poder sobreviver, se baseando principalmente em conhecimentos empíricos²⁹ (MALAJOVICH, 2016). Isso, a utilização dos organismos vivos como são encontrados na natureza, caracteriza a biotecnologia tradicional (BRUNO, 2014).

Um exemplo comum do uso da biotecnologia na antiguidade é a realização da fermentação para a produção de pães e bebidas alcoólicas através de agentes que a princípio eram desconhecidos (BRUNO, 2014).

No início do século XIX, com o crescente movimento da revolução industrial, o progresso exigia processos industriais mais eficientes. Logo, a compreensão dos fenômenos naturais tornou-se indispensável para responder às necessidades da sociedade (MALAJOVICH, 2016).

Assim, em 1875, o biólogo francês Louis Pasteur descobriu que a fermentação era causada pelas leveduras, organismos eucariontes, unicelulares, do reino *Fungi* e da família *Saccharomyces*, e foi com esse conhecimento que se tornou possível desenvolver o processo de fermentação industrial (BRUNO, 2014).

A partir de 1850 surgem novas áreas do conhecimento, como a Microbiologia, a Imunologia, a Bioquímica e a Genética, e com isso, Karl Ereky, em 1919, desenvolveu a primeira definição de biotecnologia, como "a ciência e os métodos que permitem a obtenção de produtos a partir de matéria-prima, mediante a intervenção de organismos vivos" (MALAJOVICH, 2016).

Logo, com o aprimoramento da ciência e das tecnologias, houve também a melhora em vários setores produtivos, onde os seres vivos constituem a base de itens tão diversos, como a produção de variedades vegetais mais produtivas, a fabricação de novos alimentos, o tratamento do lixo, a produção de enzimas e os antibióticos.

²⁹ “Baseado apenas na experiência e, pois, sem caráter científico; derivado de experimento ou de observação da realidade” (Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa digital, 2010).

Ainda, com as descobertas nas áreas de biologia molecular e genética - como a natureza Química e a estrutura tridimensional do DNA, por J. D. Watson e F. Crick (1953) baseados nos estudos de Rosalind Franklin, e a tecnologia de DNA recombinante, permitindo a mudança do programa genético de um organismo transferindo-lhe genes de outra espécie, por H. Boyer e S. Cohen (1973) - culminou na transição da biotecnologia clássica para a biotecnologia moderna (MALAJOVICH, 2016), que consiste na utilização de organismos vivos modificados geneticamente através da engenharia genética ou tecnologia do DNA recombinante (BRUNO, 2014).

No século XX, ocorreu a passagem da biotecnologia de laboratório para a industrial. Assim, a Engenharia Genética ocupou um lugar de destaque como tecnologia inovadora, tanto para substituir os métodos tradicionais, quanto criar produtos inteiramente novos (MALAJOVICH, 2016).

É a partir da década de 1980 que o termo "biotecnologia" realmente se expande, gerando diversas definições diferentes (MALAJOVICH, 2016, p. 2). Dentre elas está a definição feita na Convenção sobre Diversidade Biológica da ONU, em 1992, que diz: “Biotecnologia significa qualquer aplicação tecnológica que utilize sistemas biológicos, organismos vivos, ou seus derivados, para fabricar ou modificar produtos ou processos para utilização específica” (BRASIL, 2000).

De uma forma mais ampla, a biotecnologia refere-se a qualquer técnica que use organismos vivos, na sua totalidade ou em parte, para produzir ou alterar produtos, para beneficiar plantas e animais ou para desenvolver microrganismos para usos específicos, além de se basear em conhecimentos multidisciplinares (BRUNO, 2014).

Como diz Malajovich (2016):

A Biotecnologia abrange uma área ampla do conhecimento que decorre da ciência básica (biologia molecular, microbiologia, biologia celular, genética etc.), da ciência aplicada (técnicas imunológicas e bioquímicas, assim como técnicas decorrentes da física e da eletrônica), e de outras tecnologias (fermentações, separações, purificações, informática, robótica e controle de processos). Trata-se de uma rede complexa de conhecimentos na qual ciência e tecnologia se entrelaçam e se complementam (MALAJOVICH, 2016, p. 2).

A biotecnologia é desenvolvida em laboratórios de pesquisa e de produção em empresas públicas e privadas de diferentes portes, gerando um segmento novo de empresas especializadas

em plataformas tecnológicas avançadas que disponibilizam insumos para as outras empresas e instituições (MALAJOVICH, 2016). Malajovich afirma ainda que:

Já não se trata de promessas ou de perspectivas futuras; os produtos e processos biotecnológicos fazem parte de nosso dia a dia, trazendo oportunidades de emprego e investimentos. Incluem-se na bioeconomia plantas resistentes a doenças, plásticos biodegradáveis, detergentes mais eficientes, biocombustíveis, e também processos industriais menos poluentes, menor necessidade de pesticidas, biorremediação de poluentes, centenas de testes de diagnóstico e de medicamentos novos (MALAJOVICH, 2016, p. 3).

Por se tratar de uma área que envolve diversas tecnologias, o uso da biotecnologia não se restringe apenas aos países desenvolvidos, pelo contrário, os países emergentes, como o Brasil, possuem grandes oportunidades, em função de suas riquezas naturais e do baixo impacto ambiental das técnicas, sendo possível conciliar o desenvolvimento industrial com a preservação dos ecossistemas. A América Latina conta hoje com uma indústria biotecnológica avançada e diversificada, concentrada principalmente na Argentina, no Brasil, no Chile, na Colômbia, em Cuba e no México (BRUNO, 2014; MALAJOVICH, 2016).

Também é muito comum encontrar profissionais oriundos dos mais diversos campos científicos, como agrônomos, biólogos, biomédicos, farmacêuticos, engenheiros de alimentos, engenheiros de materiais, engenheiros químicos, médicos, químicos, profissionais das ciências humanas e informática, técnicos de laboratório, entre tantos outros, além do próprio biotecnólogo, atuando em biotecnologia (BRUNO, 2014).

No Brasil, Após a publicação do Decreto nº 6.041, de 08 de fevereiro de 2007, que instituiu a Política de Desenvolvimento da Biotecnologia e criou o Comitê Nacional de Biotecnologia, entre outras providências, a biotecnologia passou a ser dividida em quatro setoriais: saúde humana - destacando-se a produção de fármacos, vacinas e anticorpos; agropecuária - com o foco no aumento da produção de alimentos por meio do desenvolvimento de vacinas para animais e do combate a pragas; industrial - com a produção de combustíveis e o incremento dos processos fermentativos; e ambiental - na qual a recuperação de ambientes degradados é fundamental (BRASIL, 2007; BRUNO, 2014).

Segundo a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), os negócios em biotecnologia contribuem de maneira significativa para o crescimento do produto interno bruto, principalmente por meio de ofertas de novos produtos industriais para a saúde e para o agronegócio (BRUNO, 2014, p. 10).

No Brasil, instituições públicas na área da saúde, como o Instituto Butantan e a Fiocruz, já produzem e distribuem produtos biotecnológicos (eritropoietina, infliximabe, interferon e somatotropina recombinante humana) por meio do Sistema Único de Saúde (SUS), assim como a Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA), atuando na área do agronegócio (BRUNO, 2014).

O avanço das pesquisas na área da biotecnologia permitiu trazer qualidade de vida para a população e desenvolvimento econômico e social para o país, possibilitando o surgimento de diversas linhas de financiamento para as empresas e pesquisadores do setor. Exemplos deles são: o Fundo Setorial de Biotecnologia da Financiadora de Estudos e Projetos (Finep), o Fundo de Investimentos em Capital Semente (Criatec) e o Programa de Apoio ao Desenvolvimento do Complexo Industrial da Saúde (Profarma), ambos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) (BRUNO, 2014).

Isso mostra o futuro promissor que a biotecnologia possui, havendo uma grande demanda por profissionais no mercado (BRUNO, 2014).

4.2 BIOTECNOLOGIA E MODA?

A biotecnologia, geralmente, é associada à produção de vacinas e cosméticos, à farmacologia e à agricultura, sendo difícil imaginar a implementação de suas técnicas dentro da indústria da moda. Logo, a instituição de um novo modo de produção, baseado na biotecnologia, e do consumo sustentável como práticas alternativas à transformação da cadeia têxtil e de confecção, apresenta-se como um real desafio, já que é uma vertente que, por ser recente, ainda está em fase de pesquisa, as quais, no geral, são escassas (OLIVEIRA, 2021). Oliveira indica que:

Por se tratar de um campo novo, são diversos os desafios comuns às empresas e fornecedores que se colocam para o estabelecimento de protocolos operacionais padrão e do design experimental para se atingir o objetivo de P&D: a complexidade da pesquisa e do desenvolvimento; o custo do desenvolvimento de tecnologias; os longos períodos das transições entre laboratório, bancada, escala piloto/demonstração, escala comercial de fabricação; a atenção às demandas de alta performance, estética e fabricação da indústria da moda e do setor têxtil; as características inatas de certas moléculas, como seu encolhimento em determinada condição, ou características hidrofóbicas (OLIVEIRA, 2021, p. 69-70).

A primeira aplicação da biotecnologia na indústria têxtil foi há cerca de 2 000 anos, com a maceração do linho, processo no qual são usados microrganismos (fungo e bactérias) para separar as fibras dos caules das plantas, já que eles destroem ou decompõem a cola vegetal (OLIVEIRA, 2015; SARAIVA, 2010).

Já a aplicação de enzimas em processos têxteis, importante e principal processo na indústria até hoje, só teve início por volta de 1857, quando o extrato de malte foi usado para remover gomas amiláceas de alguns artigos têxteis antes da estampagem. A partir disso, diversas outras enzimas foram descobertas para o benefício da indústria têxtil (SARAIVA, 2010).

Recentemente, startups e empresas públicas, por todo o mundo, focadas em biotecnologia e na bioeconomia vêm pesquisando e descobrindo técnicas que possam favorecer a evolução do processo têxtil e da indústria da moda, além da implementação da Economia Circular, ao serem aplicadas durante várias etapas do ciclo das roupas.

A seguir, serão apresentadas algumas técnicas biotecnológicas já usadas ou ainda em processo de pesquisa na indústria têxtil, sendo associadas à Economia Circular e ainda mostrando como pode ser sustentável.

4.2.1 Controle biológico

No ambiente natural e em equilíbrio, há a presença de constantes disputas entre os seres vivos, com a própria natureza se restaurando, entretanto com a instauração da agricultura de monocultura e a aplicação de enormes quantidades de produtos químicos no meio ambiente, perdemos esse equilíbrio.

Com a perda da biodiversidade, o empobrecimento do solo e, conseqüentemente, a aparição gradual de mais pragas causada pelo sistema agrícola, constatou-se, que doses maciças e maior número de aplicações desses produtos organo-sintéticos não respondiam às expectativas de minimizar as perdas na produtividade por danos de insetos, já que os químicos atuam como força seletiva na evolução dos insetos, ocorrendo uma progressiva aceleração da geração de resistência deles.

Em meados dos anos 70, com a elevação dos custos dos defensivos agrícolas, devido à alta dos preços do petróleo, o esgotamento tecnológico determinado pelo custo crescente de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e as crescentes exigências para o registro de produtos, se retornou a pensar na possibilidade da difusão de tecnologias de base biológicas como alternativas aos químicos no controle fitossanitário agrícola (FUTINO; FILHO, 1991). Os autores afirmam ainda que:

No controle biológico clássico busca-se a eliminação ou controle de uma praga, doença ou ervas infestantes através de agentes biológicos. A luta biológica pode ser desenvolvida através da intensificação do parasitismo natural ou pela introdução de espécies exóticas, utilizando-se de diferentes agentes, tais como insetos entomófagos (predadores e parasitóides de pragas); artrópodos fitófagos de ervas infestantes; bactérias, fungos e vírus (entomopatógenos para as pragas e microorganismos antagonistas no caso de combate às doenças) (FUTINO; FILHO, 1991, p. 59).

Visto que a etiologia e noções básicas ecológicas dos principais microrganismos e vírus inimigos ou antagônicos naturais de pragas já se encontravam pesquisados, a biotecnologia e a engenharia genética possibilitaram a condução à seleção dos agentes biológicos mais aptos à sua manipulação, assim como os adequados a serem utilizados como biopesticidas comerciais, propiciando uma visão de maior amplitude e eficiência das tecnologias de base biológicas na agricultura (FUTINO; FILHO, 1991).

Os biopesticidas mais produzidos hoje, os a partir de bactérias, são desenvolvidos pela produção dos microrganismos de substâncias tóxicas, que são específicas para insetos e inofensivas para humanos, outros animais vertebrados e o meio ambiente, e moléculas importantes, como solventes, antibióticos, enzimas e inseticidas. Um de seus facilitadores é a possibilidade da produção em meio artificial (*in vitro*) permitindo sua produção em larga escala (BRITO, 2021; LIMA et al., 2001).

Um exemplo de biopesticida é o formulado a base da toxina sintetizada pela bactéria *Bacillus thuringiensis* (Bt), cujas proteínas e esporos tóxicos possuem a capacidade de atingir em torno de 150 espécies de pragas, principalmente as que passam pela forma de lagarta, e várias espécies de moscas, que atacam comumente as culturas de milho, soja, algodão e diversas outras. Além disso, possui como benefícios a gama de toxicidade, a sua permanência como agentes letais potentes em pelo menos um ano, a facilidade de produção em meio de culturas artificiais (fermentadores) e a baixa propagação natural em campo (o que evita que saia do controle) (BRITO, 2021).

Para a produção comercial de produtos microbianos, é preciso a seleção de uma linha bem adaptada ao processo fermentativo e variações, a fim de maximizar a produção e realizar o crescimento sob condições de fermentação econômicas. Normalmente é realizada em biorreatores, permitindo o controle, o monitoramento e o registro das condições de trabalho (temperatura, aeração, agitação, entre outros) e a retirada de amostras assepticamente. Desses testes obtém-se dados sobre as condições ideais de suprimento de nutrientes (carboidratos, minerais, proteínas), temperatura, pH e oxigênio dissolvido, que embasarão o escalonamento do processo. Há necessidade também de realizar a manutenção da cultura em meio sólido e as repetidas transferências em meio de cultura artificial (LIMA et al., 2001).

Ao longo do processo, há a separação das toxinas do microrganismo, como o Bt, que durante a esporulação, forma-se proteínas e esporos tóxicos, que causam paralisia intestinal e morte do inseto e serão usados como o biopesticida (LIMA et al., 2001).

Por último, antes da comercialização, é necessário a realização de biotestes, como a contagem de esporos, e bioensaios com insetos, para determinar a potência e melhor linhagem do produto obtido (LIMA et al., 2001).

Na maioria das vezes, a condução do controle biológico apresentava-se como alternativa ao fracasso do uso de agroquímicos, já que em determinadas pragas o desenvolvimento de estágios de ninfas, larvas, pupas ou de lagartas ocorre em locais protegidos da ação de agroquímicos. Assim, se evita intoxicação pelos animais e seres humanos (FUTINO; FILHO, 1991).

Logo, implementação de biopesticidas contribui para reduzir o uso de pesticidas químicos, melhoria da qualidade dos produtos agrícolas, redução da poluição ambiental, preservação dos recursos naturais e, portanto, para a sustentabilidade dos agroecossistemas (EMBRAPA, 2017).

Entretanto, alguns fatores contribuem para a restrição ao uso de produtos biológico, como colocar em risco a extensa linha de produtos químicos, ter uma produção mais difícil em comparação com a trajetória tecnológica de base química, a viabilidade do controle biológico em grandes extensões, além de requerer estudos de variabilidade ambientais envolvidas no processo biológico, aquisição de insumos biológicos e investimento de capital, tempo e mão de obra

capacitada. Precisa haver um monitoramento muito grande e conhecimento do clima (temperatura e umidade), ciclo da praga, biologia do ambiente natural, desenvolvimento da lavoura e momento correto da aplicação (FUTINO; FILHO,1991; MUÑOZ; BENAVIDES, 2010).

Essas informações foram dificultadas por décadas de uso de defensivos químicos que não propiciavam grandes conhecimentos sobre as relações ecológicas que definiam o problema das pragas (FUTINO; FILHO,1991).

A biotecnologia possibilitou pesquisas com microrganismos e vírus tais como: seleção de linhagens, cepas ou estirpes resistentes à temperatura, raios ultravioleta e maior especificidade ao hospedeiro; análise do tipo e grau de "virulência"; análise das atividades enzimáticas; efeitos de mutação e agentes mutagênicos; estudos sobre regulação e expressão genética; e pesquisas de reprodução *in vivo*, no caso de vírus que somente se multiplicam em hospedeiros vivos, e *in vitro*, através de culturas de tecidos e suspensões celulares (FUTINO; FILHO, 1991).

Mesmo assim, muitas vezes há a preferência da utilização da biotecnologia para a criação de espécies resistentes a herbicidas, como os transgênicos, do que a adaptação dos defensivos às plantas e ao meio ambiente.

O algodão, principal fibra natural usada para a produção de têxteis e roupas, possui um grande número de pragas e doenças que o afetam, tendo sido pesquisados mais de 600 espécies de predadores e parasitas (FUTINO; FILHO, 1991). Nesse caso, o controle biológico reduz consideravelmente o número de aplicações de defensivos químicos, uma das grandes preocupações durante a produção têxtil, permitindo assim a diminuir a contaminação do solo, da água, da população local, dos trabalhadores e até mesmo dos consumidores.

4.2.2 Uso de enzimas

Durante o processo de produção têxtil, o beneficiamento é avaliado como uma das etapas mais poluentes devido seu uso excessivo de produtos químicos, água e energia, assim, possuindo um grande risco de contaminação ambiental. Por esse motivo, as enzimas vêm sendo cada vez mais introduzidas na indústria têxtil para substituir processos químicos poluidores e substâncias químicas que causam danos nas fibras.

Enzimas são proteínas que apresentam atividades catalíticas, ou seja, que agem diminuindo a energia de ativação necessária de uma reação química, sendo capaz de promovê-las ou acelerá-las, sem serem alteradas ou destruídas. Os reagentes que participam das reações catalisadas pelas enzimas são denominados de substratos (LIMA et al. 2001; MALAJOVICH, 2016; MONTEIRO; SILVA, 2009).

As enzimas possuem alta especificidade em relação à reação - só catalisando enzimas em determinado tipo de reação, como enzimas que apenas catalisam a hidrólise de ligação peptídicas e outras, a hidrólise de ligações éster - ou ao substrato - decorrente da presença, na sua molécula, de ligações que podem ser atacadas por grupos funcionais do sítio ativo da enzima e da presença de grupos funcionais que se ligam à mesma, permitindo fixá-lo e posicioná-lo corretamente no sítio ativo para que a reação aconteça, como a lactase que opera sobre a lactose e não agirá sobre a sacarose. Emil Fischer, em 1894, postulou que essa especificidade ocorre devido tanto as enzimas quanto os substratos serem complementares geometricamente, modelo este conhecido como “chave-fechadura” (Figura 10) (MONTEIRO; SILVA, 2009; MALAJOVICH, 2016).

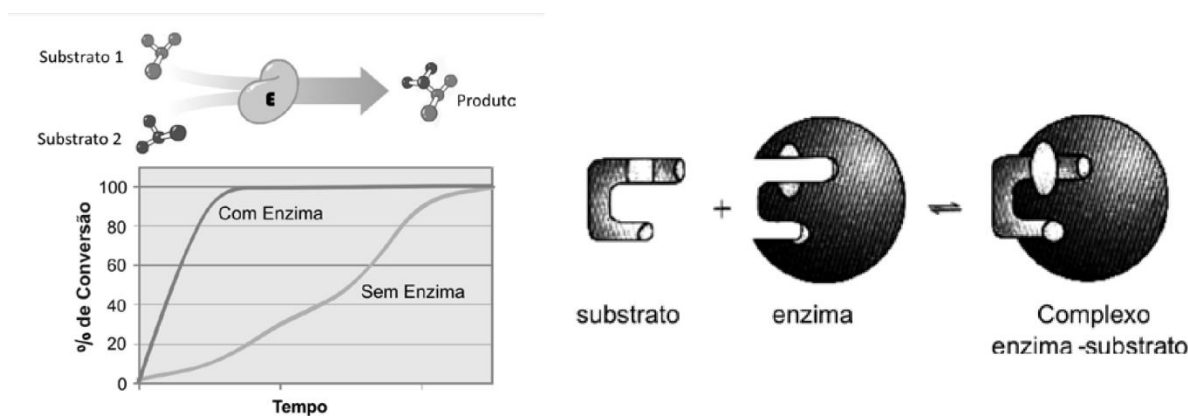


Figura 10 - Gráfico de conversão de substrato em produto catalisado na presença e na ausência de enzima; Modelo chave-fechadura.

Fonte: Adaptado de MONTEIRO; SILVA, 2009.

Para que ocorra uma boa reação das enzimas, é necessário que cada uma delas estejam em seu valor ótimo de pH e temperatura, no qual suas atividades são máximas. Isso ocorre porque as enzimas são formadas por grupos químicos, em sua maioria aminoácidos, que podem sofrer ionização e adquirir cargas momentâneas, o que promove uma mudança conformacional da estrutura da enzima, afetando o modelo “chave-fechadura”, dependendo do valor do pH. Já em

relação à temperatura, a atividade enzimática pode ser influenciada de modo que aumente a energia cinética das moléculas e conseqüentemente aumente a probabilidade de encontro entre a enzima e o substrato. Entretanto, em altas temperaturas, grande parte das enzimas pode sofrer mudanças conformacionais devido ao rompimento de ligações e interações fracas, processo esse chamado de desnaturação, que, neste caso, é irreversível (MONTEIRO; SILVA, 2009).

Outro fator que condiciona sua atividade catalítica é a presença de moléculas menores (cofatores) de natureza não proteica, sejam eles cofatores inorgânicos (zinco, ferro, cobre) e/ou orgânicos (coenzimas, as quais muitas são vitaminas) (LIMA et al., 2001; MALAJOVICH, 2016).

Pode ocorrer também a inibição da ação enzimática (Figura 11) quando moléculas que possuem semelhanças estruturais com o substrato competem com este para ocupar o sítio ativo da enzima, sendo chamado de inibição competitiva, ou quando outras moléculas se ligam ao complexo enzima-substrato, alterando sua estrutura espacial e dificultando o encaixe com o substrato, sendo chamado de inibição não competitiva. Em alguns casos, podem ocorrer os dois tipos de inibição ao mesmo tempo, chamada de inibição mista (LIMA et al., 2001; MONTEIRO; SILVA, 2009).

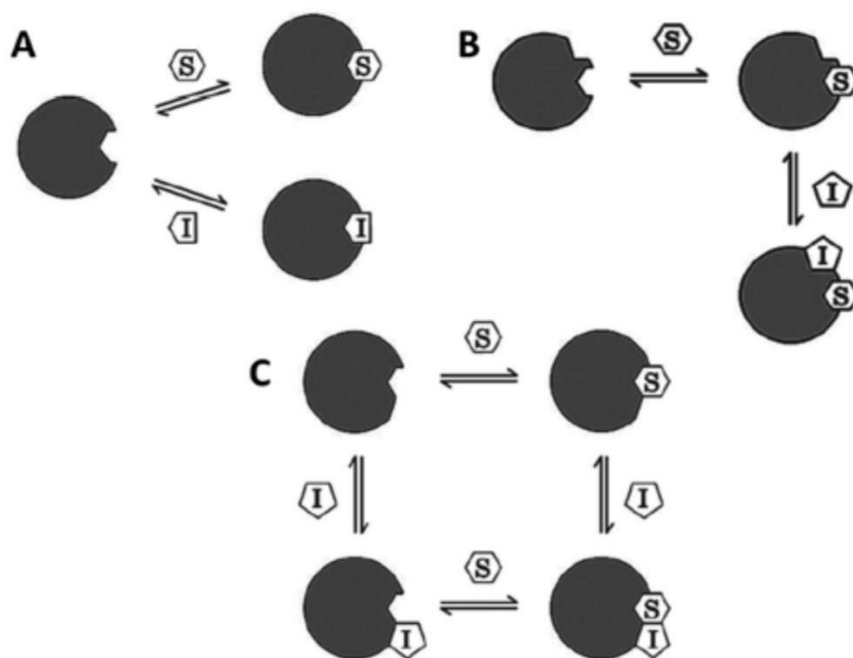


Figura 11 – Esquema da inibição enzimática competitiva (A), não competitiva (B) e mista (C). S = substrato; I = inibidor.

Fonte: MONTEIRO; SILVA, 2009, p. 13.

Atualmente, temos conhecimento de estrutura e função de mais de duas mil enzimas, podendo ser extraídos de tecidos animais, vegetais e de microrganismos, sendo a última a mais utilizada, devido, principalmente, ser mais fácil de produzir industrialmente, além do fato do rendimento na produção poder ser elevado a partir da otimização das condições nos processos fermentativos por mutação ou a partir da tecnologia do DNA recombinante (MONTEIRO; SILVA, 2009).

Para a produção, é preciso obter os microrganismos, os quais são cultivados em fermentadores para a produção em quantidades industriais do biocatalisador, sendo fundamental a otimização do meio de cultivo, pensando em fatores como pH e temperatura, condições de aeração e agitação adequada. A maioria das enzimas utilizadas em escala industrial são extracelulares (secretam a enzima fora da célula), pelo processo ser mais fácil, então, após obtido as culturas microbianas é feito o isolamento das enzimas diluídas nos meios ou no caldo de cultivo (MARTINEZ et al., 2018; MONTEIRO; SILVA, 2009).

Com a crescente preocupação e conscientização com o meio ambiente nos últimos anos, vem se desenvolvendo também muitas pesquisas visando a aplicação de enzimas nas diferentes etapas da produção têxtil, tendo diferentes fins, como melhorar aspectos em relação às propriedades físicas (resistência à tração e à formação de *pilling*), estéticas (brilho e coloração) e conforto (maciez) (KOHAN; ARAÚJO, 2008; MONTEIRO; SILVA, 2009).

As enzimas celulases são as mais usadas na indústria têxtil na lavagem do jeans e de outros tecidos para criar um aspecto de envelhecido e em tecidos sintéticos na técnica de acabamento chamada Biopolimento (*Biopolishing*), no qual retira minúsculos filamentos projetados na superfície dos fios, chamados de *pilling*, ajudando também na diminuição do peso e no processo de coloração (KOHAN; ARAÚJO, 2008; MARTINEZ et al., 2018; MONTEIRO; SILVA, 2009).

As amilases são muito usadas no processo de desengomagem, no qual, originalmente, utiliza muito reagentes químicos que danificam a fibra e causam a perda de resistência. Com a

amilase, o amido, presente na goma aplicada no urdume, é transformado em glicose que é solúvel em água, diminuindo os danos à fibra e ao meio ambiente (KOHAN; ARAÚJO, 2008).

A lacase pode ser utilizada para substituir os processos de alvejamento e de *stone wash* (lavagem com pedra) no jeans índigo para diminuir a intensidade da cor e deixá-lo com efeito desgastado. Possui a vantagem de reduzir o desgaste causado nos equipamentos pelas pedras-pomes, a destruição da resistência do material e do elastano, a utilização de água, o tempo de operação e a quantidade de poluentes nos efluentes (KOHAN; ARAÚJO, 2008; MARTINEZ et al., 2018; MONTEIRO; SILVA, 2009).

A troca do uso de produtos convencionais por enzimas na indústria possui diversas outras vantagens, já que elas são produtos naturais biológicos e biodegradáveis, diminuindo o risco de poluição e o consumo de energia, possuem operações em condições facilmente controláveis, produzem menos subprodutos residuais e propiciam a obtenção de produtos de melhor qualidade. No entanto, algumas desvantagens também são observadas, dentre elas a sensibilidade de pH e temperatura e a dificuldade técnica encontrada na separação e purificação (etapa de *downstream*), principalmente se as enzimas de interesse são secretadas internamente (intracelular) (MALAJOVICH, 2016; MARTINEZ et al., 2018; MONTEIRO; SILVA, 2009).

Portanto, deve-se continuar as pesquisas acerca das enzimas para que se possa cada vez mais as utilizar na indústria têxtil com maior facilidade, contribuindo para o meio ambiente e a Economia Circular.

4.2.3 Tratamento de efluentes industriais

Com o alto uso de substâncias químicas pela indústria têxtil, o seu produto residual gera sérias preocupações, já que é preciso descartar compostos tóxicos, como metais pesados, cianetos e sulfatos, e materiais grosseiros, como óleos e graxas, espuma e corante, podendo estar em altas temperaturas e com o pH muito alto ou baixo. Tudo isso, na maioria das vezes, é despejado no ambiente com um tratamento não adequado ou sem mesmo qualquer tipo de tratamento.

Para os cuidados dos efluentes industriais, é muito comum aplicar a ideia do “Triângulo invertido” (Figura 12), no qual determina que para lidar com o problema de resíduos o ideal é começar no local de origem, com a redução de fontes contaminantes, porém se não for possível

economicamente executar essa medida, deve-se fazer a reciclagem; caso também não seja viável essa ação, procura-se reduzir o volume e/ou a toxicidade do resíduo a níveis menos agressivos ambientalmente por meio de tratamento; e, por fim, caso nenhuma das soluções descritas anteriormente sejam aplicáveis, o resíduo deve ser confinado de maneira segura (BELTRAME, 2000).

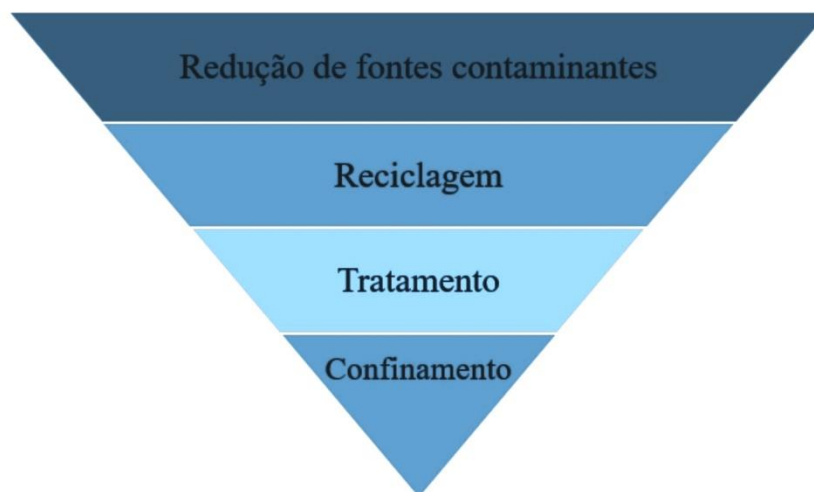


Figura 12 - Triângulo invertido do tratamento de efluentes industriais.

Fonte: Adaptado de TASSI, 2022.

No Brasil, devido às características dos efluentes industriais têxteis líquidos, em grande parte a solução mais plausível é a etapa de tratamento. Isso porque, apesar de as indústrias tentarem reduzir seus contaminantes, não é suficiente para evitar danos, e em relação a reciclagem, por mais que possua um sistema aperfeiçoado, demanda um investimento inicial elevado, além de a utilização da etapa de tratamento ainda ser necessária (TASSI, 2022).

Assim, o tratamento pode ser dividido em quatro níveis principais: primário, secundário, terciário e avançado, passando antes por um pré-tratamento.

Ao iniciar o tratamento, o efluente deve passar por algumas etapas básicas para remover os sólidos em suspensão grosseiros, que possam vir a comprometer a eficiência das demais etapas, com processos como o gradeamento, equalização e neutralização, que, respectivamente, filtra com grades partículas grandes, minimiza ou controla as variações de vazão e concentração e ajusta o pH do efluente (BELTRAME, 2000).

O tratamento primário promove a remoção física de resíduos sólidos em suspensão e matéria orgânica que são facilmente removíveis, podendo o ajuste de pH ou de temperatura também fazer parte dessa etapa (BELTRAME, 2000; LIMA et al., 2001).

Como as substâncias dissolvidas no efluente têxtil não são passíveis de serem retiradas apenas com métodos físicos, faz-se o uso da combinação físico-química em conjunto nas metodologias de coagulação e floculação seguida da sedimentação ou flotação e, posteriormente, filtração (TASSI, 2022).

No tratamento secundário, visa-se obter um efluente com baixa concentração de matéria orgânica dissolvida e o mínimo possível de sólidos em suspensão, com pH neutro e temperatura ambiente, se aplicando processos biológicos como o tratamento por lodo ativado, filtros biológicos ou sistema de lagoas (BELTRAME, 2000; LIMA et al., 2001).

Os efluentes têxteis, por apresentarem uma alta carga de matéria orgânica e compostos solúveis, durante o nível secundário possui a possibilidade de reduzir os valores de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)³⁰ e Demanda Química de Oxigênio (DQO)³¹, por meio da atuação de microrganismos aeróbicos e anaeróbicos, que oxidam os compostos biodegradáveis. Entretanto, diversos corantes são resistentes ao processo de biodegradação, o que diminui a eficiência da remoção da cor dos efluentes (BELTRAME, 2000; TASSI, 2022).

O tratamento de Lodo Ativado é o processo mais usado para o tratamento do efluente industrial têxtil, sendo um sistema no qual uma massa de microrganismos, podendo ser bactérias, fungos, protozoários ou metazoários, é originada pela aeração contínua ou prolongada dos efluentes. Para que o processo tenha uma boa eficiência e mantenha a microbiota atuando bem é preciso que altas taxas de oxigenação e matéria orgânica estejam disponíveis no meio (BELTRAME, 2000; TASSI, 2022).

Durante todo processo (Figura 13), o lodo ativado se mantém em interação com a matéria orgânica presente no tanque de efluente, em constante oxigenação por meio de um sistema de ar difuso ou da aeração mecânica, durante um período determinado, o que possibilita que os

³⁰ “A DBO, por definição, é a quantidade de oxigênio requerida pela unidade de volume de um resíduo, para a estabilização biológica da matéria orgânica biodegradável (normalmente determinada após 5 dias de incubação a 20°C), através de organismos vivos ou de suas enzimas” (LIMA et al., 2001, p. 519).

³¹ “A DQO é, por definição, a quantidade de oxigênio necessária para a oxidação da matéria orgânica da amostra através de dicromato de potássio em meio ácido na presença de catalisadores” (LIMA et al., 2001, p. 519).

microrganismos cresçam pela estabilização da matéria orgânica presente. Em seguida, ocorre o processo de decantação, no qual ocorre a separação sólido/líquido do material, podendo a parte sólida ser dividida e seguir uma parte para recircular para o tanque de aeração e a outra parte para ser descartada (BELTRAME, 2000; TASSI, 2022).



Figura 13 – Fluxograma do tratamento de lodo ativado.

Fonte: TASSI, 2022, p. 34.

Os fungos ligninolíticos, principalmente os basidiomicetes degradadores da podridão branca, em estudos, têm provado serem ótimos aliados nos tratamentos de efluentes têxteis pelo seu potencial de biodegradação e descoloração dos resíduos. Porém, pesquisas complementares devem ser realizadas para a melhor compreensão da reação das enzimas ligninolíticas em compostos presentes nos efluentes, bem como estudos de outros fungos degradadores da podridão branca, a fim de encontrar o organismo com maior adaptação e, conseqüentemente, maior produção de enzimas ligninolíticas capazes de degradar estes tipos de resíduos a custos baixos e em larga escala (SOUZA; ROSADO, 2009; PEIXOTO; MARINHO; RODRIGUES, 2013).

A biotecnologia ambiental é uma das grandes aliadas dos tratamentos biológicos e, nos últimos anos, diversos estudos envolveram técnicas de modo a viabilizar todo um sistema de tratamento de efluentes industriais complexos, inclusive os de origem têxtil (TASSI, 2022).

Nos tratamentos terciários e avançados se remove qualquer substância remanescente, tais quais nutrientes (nitrogênio e fósforo), metais pesados, patógenos, compostos não

biodegradáveis, corantes, entre outros, por meio de tratamentos como adsorção, osmose reversa, processos oxidativos avançados ou ozônio (LIMA et al., 2001; TASSI, 2022).

Tanto nos métodos físico-químicos quanto nos biológicos há a formação de lodo residual, que, ao final do processo, representará um novo problema, já que ainda não se apresenta uma disposição final adequada, sendo mais usadas alternativas como levá-los para aterros sanitários, incineração, compostagem, *land-farming* ou fabricação de lajotas (BELTRAME, 2000).

Devido ao baixo custo de implantação e operação, no Brasil, a indústria têxtil faz o uso maior dos tratamentos primários e secundários, envolvendo os do tipo físico-químico e biológico, que comumente não são suficientes para remover todos os compostos desejados. Já os tratamentos terciários e, principalmente avançados, são pouco difundidos e utilizados, devido a demanda de tecnologias mais caras e de pouca utilização, fazendo com que os resíduos descartados ainda contaminem o meio, mesmo que em menores proporções (TASSI, 2022).

Devido os efluentes variarem muito nas diferentes indústrias e países, a escolha do processo e da combinação e sequência deles dependerá das características do efluente. Cada processo possui suas especificidades para atingir os melhores resultados de remoção de compostos poluentes (TASSI, 2022).

Com um tratamento adequado dos efluentes industriais têxteis possibilitaria proteger a natureza do despejo de toneladas de substâncias tóxicas e contribuiria com a recirculação de recursos, princípios esses importantes para a Economia Circular. Entretanto, é preciso maiores investimentos em pesquisas para metodologias mais funcionais, práticas e viáveis, além de tecnologias e incentivos para as indústrias, para não só tornar a aplicação desses métodos mais possíveis, como também a aplicação correta e completa.

4.2.4 Corante natural

Outro grande problema que ocorre durante a etapa de beneficiamento é no processo de coloração dos tecidos, no qual é usado uma quantidade exorbitante de corante que são considerados extremamente perigosos devido a sua toxicidade, sendo a maioria mutagênico e/ou carcinogênico, e suas baixas taxas de degradabilidade, o que acaba deixando os efluentes industriais com um tratamento ainda mais complicado.

O envolvimento do homem com as cores ocorre há cerca de 40 mil anos, quando pigmentos naturais eram misturados à gordura animal para serem utilizados em pinturas rupestres. No Egito foram encontrados os corantes índigo azul, extraído da planta de mesmo nome, e o vermelho alizarina, retirado da erva garança, em tecidos usados para mumificação. Em 2500 a. C., a Índia já possuía o domínio das técnicas de tinturaria e estamparia. No século IV d. C. os povos astecas na América Central usavam o carmin, corante natural derivado do inseto *Dactylopius coccus*, popularmente conhecida como cochonilha, e assim por diante (FERREIRA; NOGUEIRA; GRACIANI, 2013; SILVA, 2013).

Foi só durante o desenvolvimento da indústria têxtil que começou a se usar os corantes sintéticos, devido os processos de obtenção de cor por meios naturais serem lentos, onerosos e instáveis (FERREIRA; NOGUEIRA; GRACIANI, 2013).

Recentemente, o tingimento natural voltou a ser apresentado como uma alternativa para inserção de práticas sustentáveis na cadeia têxtil, ao eliminar ou diminuir o uso de corantes sintéticos tóxicos usados nas peças e encontrados nos efluentes, já que se utiliza pigmentos produzidos a base de caules, folhas, sementes e frutos de plantas (como cebola, açafrão-da-terra, hibisco, entre outros), provenientes de animais (como o já citado carmin) e derivados do metabolismo de diferentes microrganismos (como a violaceína da bactéria *Chromobacterium violaceum*) encontrados na natureza, sendo renováveis, biodegradáveis e não tóxicos (NARIMATSU et al., 2020). Narimatsu e colaboradores (2020) definem que:

Os corantes naturais são substâncias coradas extraídas apenas por processos físico-químicos (dissolução, precipitação, entre outros) ou bioquímicos (fermentação) de uma matéria-prima animal ou vegetal. Essa substância deve ser solúvel no meio líquido onde vai ser mergulhado o material a tingir, a fim de se tornar um corante (NARIMATSU et al., 2020, p. 7).

Os chamados biocorantes são corantes sintetizados biologicamente a partir de microrganismos (bactérias, fungos e microalgas) normalmente como metabólitos secundários. Tais substâncias são produzidas pelo microrganismo como forma de defesa a ataques de outros organismos, radiações eletromagnéticas danosas, proteção contra agentes oxidantes, proteção contra frio e calor extremos, aquisição de nutrientes como ferro ou aquisição de energia por processo fotossintético estando associados, em alguns casos, a funções vitais e reprodutivas dos microrganismos (SILVA, 2013).

Infelizmente, muitos desses microrganismos, junto ao corante natural, produzem também substâncias tóxicas, o que pode levar a reações alérgicas quando em contato com a pele humana. O ideal é que se produza elevadas concentrações de pigmentos e o mínimo ou nenhuma toxina (SILVA, 2013).

No experimento realizado pela Startup brasileira SUI, descrito por OLIVEIRA (2021), foi utilizado a linhagem de bactérias *Chromobacterium sp.*, para tingir camisas de algodão (Figura 14). Na primeira etapa de pré-inoculação, foram preparados o meio de cultura Luria-Bertani (LB), onde a bactéria foi pré-inoculada e deixada para crescimento em temperatura ambiente sem agitação, sendo utilizado depois de duas semanas de crescimento, após o desenvolvimento de um biofilme bacteriano de coloração roxa-escura.

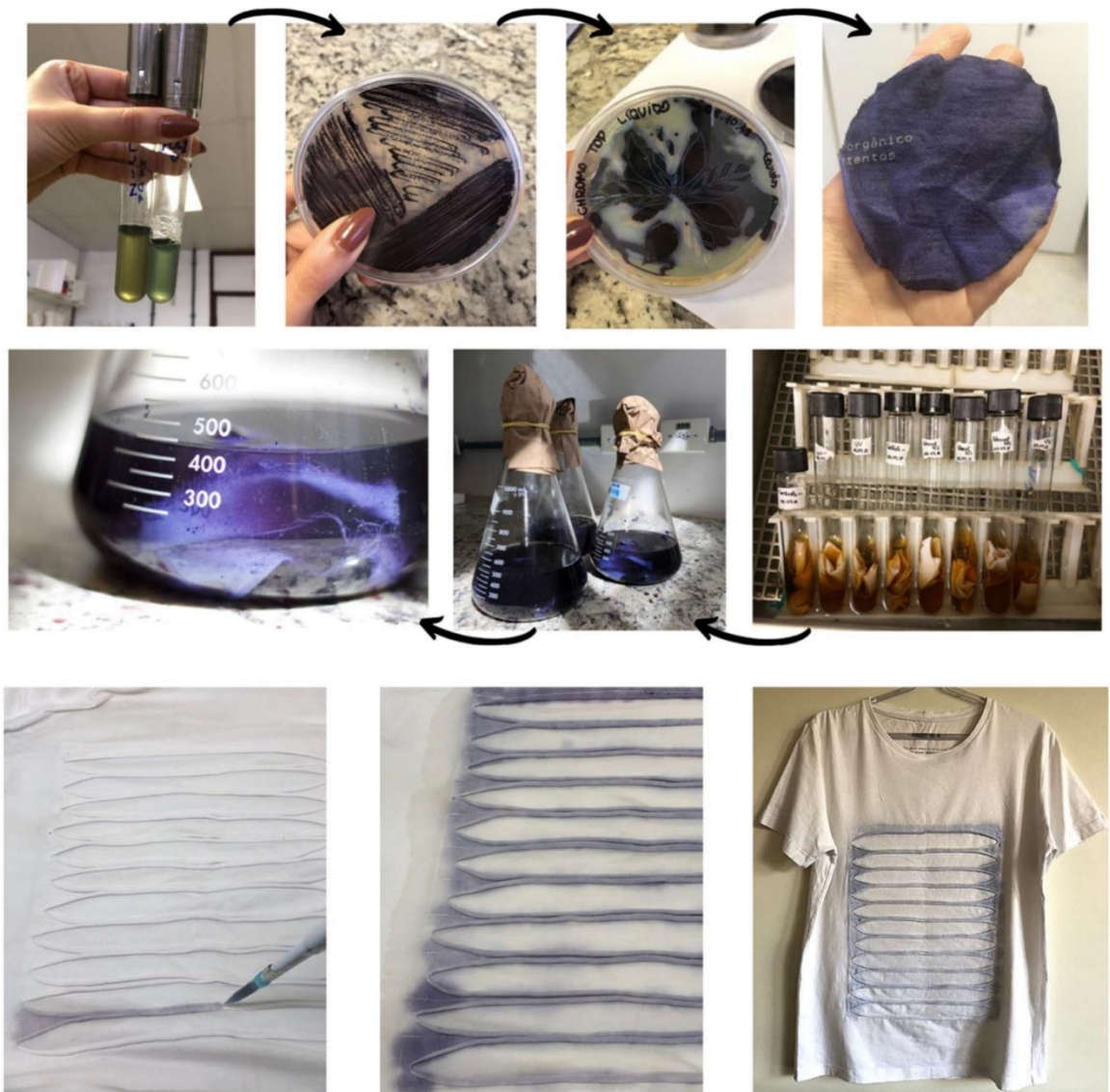


Figura 14 – Tubos com pré-inóculo da bactéria; Culturas das bactérias na placa petri; Retalho de algodão orgânico tingido; Erlenmeyer com inóculo e retalhos de tecido; Processo de tingimento da camisa.

Fonte: Adaptado de OLIVEIRA, 2021.

Antes do tingimento propriamente dito, é necessário haver a preparação da camisa de algodão. A camisa foi esterilizada frente e verso em luz ultravioleta (UV) por 30 minutos, sendo 15 minutos de cada lado, colocado um plástico, também esterilizado em UV por 20 minutos, no meio da camiseta, para proteger a frente do contato com o verso, e depois molhada com água destilada.

O inóculo foi centrifugado à velocidade máxima na centrífuga e aplicado na peça com a pipeta. Logo após a aplicação do inóculo de cor roxa-escuro, deixou que a camisa secasse por dois dias em estufa a 55°C.

Por último, a camisa foi submetida à descontaminação e esterilização em autoclave, seguindo o protocolo padrão de 20 minutos a 125°C e 1 atm. Depois, a camisa foi lavada com sabão neutro e seca à sombra.

Os resultados foram satisfatórios, porém a pesquisa ainda se encontrava no início da qualidade de tingimento que esperavam consolidar (OLIVEIRA, 2021).

Os microrganismos são capazes de se multiplicarem rapidamente a partir de variadas matérias primas, podem ser cultivadas ininterruptamente (sem efeitos sazonais) em condições controladas e utilizáveis e algumas possuem caráter antimicrobiano (como o corante produzido pela bactéria *Vibrio sp.* que exibe atividade antimicrobiana contra *E.coli* e *S.aureus*) benéfico para os têxteis, entretanto a investigação do potencial de pigmentos microbianos para o tingimento de tecidos é uma abordagem relativamente recente e pouco explorada (SILVA, 2013).

Os corantes naturais podem ser combinados e misturados para obtenção de novos tons, o que dependerá também das características do material utilizado, da forma de extração, do método de aplicação, bem como da escolha da fibra têxtil (NARIMATSU et al., 2020).

A implementação dos corantes naturais tem como vantagens eles serem não tóxicos e biodegradáveis, reduzem o consumo de recursos não renováveis, como o petróleo usado na produção de corantes sintéticos, permitir utilizar as sobras do tingimento como fertilizante e ser possível produzi-los em grande quantidade e com alto grau de solidez, fixação da cor e resistência à luz, ao uso e à lavagem. Porém, ainda há obstáculos para a completa substituição dos corantes sintéticos pelos naturais, principalmente devido aos custos (FERREIRA; NOGUEIRA; GRACIANI, 2013; NARIMATSU et al., 2020).

4.2.5 Biofabricação

Com o grande problema na indústria da moda e têxtil do uso de produtos químicos, gasto de recursos naturais finitos e geração de resíduos, muito recentemente começou a ser estudado,

dentro da biotecnologia, materiais têxteis que reduzem consideravelmente a necessidade de qualquer um desses fatores.

Diversas startups vêm pesquisando e prototipando biomateriais, materiais que possuem associação biológica inespecífica, tendo o foco especificamente nos materiais biofabricados, que são produzidos por organismos vivos, como de animais, ou por microrganismos como bactérias, leveduras ou micélios (BIOFABRICATE; FASHION FOR GOOD, 2020 apud OLIVEIRA, 2021). Stegemann, Almeida e Medeiros (2022) afirmam que:

A biofabricação é um campo emergente da ciência e tecnologia que pode ser definida como a obtenção de produtos biológicos construídos usando células vivas, biomoléculas, matrizes extracelulares e biomateriais projetados. Quando levamos em consideração a palavra biofabricação, o prefixo “bio” indica que as matérias-primas, ou processos, ou produtos finais, ou todos esses, são inspirados ou baseados na biologia. Já o termo “fabricação” significa fazer ou construir algo a partir de um material bruto ou semiacabado ou criar algo diferente de seus componentes. Dessa forma, a biofabricação utiliza tecidos [...] como matérias-primas para processos baseados na biologia, com o intuito de obter um produto (STEGEMANN; ALMEIDA; MEDEIROS, 2022, p. 7-8).

Através do processo como a fermentação, um microrganismo ou "fábrica" de células vivas, produz um ingrediente ou material, mas o próprio organismo ou células não são destinados a fazer parte do produto final. Uma levedura, por exemplo, pode ser usada para produzir uma proteína de seda ou uma bactéria pode ser usada para produzir celulose. Também pode ocorrer do próprio organismo ser o material, ser colhido e transformado no material (como as algas) ou crescer e se tornar a própria estrutura material (como os micélios) (BIOFABRICATE; FASHION FOR GOOD, 2020).

A celulose bacteriana (CB) é um composto orgânico polimérico abundante, sintetizado após o processo de fermentação, possuindo características como resistência mecânica e biocompatibilidade, estrutura em rede fibrosa nanométrica, tridimensional, constituída de microcanais de tamanho variável, alto índice de cristalinidade, renovabilidade, biodegradabilidade e potencial para reduzir a energia e o consumo de água e abolir o uso de produtos químicos, se assemelhando ao couro animal em sua forma final (LIMA; ALVES; MARTINS, 2021; STEGEMANN; ALMEIDA; MEDEIROS, 2022).

Em 2003, a professora e designer britânica Suzanne Lee foi pioneira na utilização de celulose bacteriana aplicada no setor têxtil, chamando de Biocouture. Mas hoje, diversas outras

empresas já desenvolvem suas próprias técnicas de CB, inclusive startups brasileiras (STEGEMANN; ALMEIDA; MEDEIROS, 2022).

Novamente em um experimento da startup SUI, foi produzido a CB com a bebida fermentada kombucha. Para isso, foi preparado o substrato, com Erva-mate, açúcar cristal e água destilada fervente, o qual é adicionado a kombucha. Deixa-se crescer em cultivo estático por 9 dias em ambiente escuro, dentro de uma caixa de isopor, até a fermentação do líquido e o aparecimento de biofilme.

Depois é feito o escalonamento do experimento, preparando novos substratos, de chá verde em infusão por 10 minutos em água fervente com açúcar. Deixa-se esfriar a temperatura ambiente em 9 caixas plásticas organizadoras de capacidade para 12 litros, esterilizadas, protegidas do ambiente e com furos nas laterais, para garantir a oxigenação no recipiente. Os biofilmes derivados dos pré-inóculos e o líquido fermentado foram colocados nas caixas para crescerem durante 3 semanas, com reposição de substrato de chá a cada 7 dias, até atingirem a espessura de 2 centímetros cada.

Por último, os biofilmes foram retirados das caixas e deixados para secar sob a sombra e, quando secos, aplicados como bolsos em camisas de algodão (OLIVEIRA, 2021).

Entretanto, devido ao caráter extremamente hidrofílico da celulose bacteriana, o uso do material em condições em que pode haver aumento ou diminuição da umidade fica restrito, não podendo entrar em contato com a pele ou ser submetido à lavagem. Essa questão é a mais limitadora da utilização em larga escala do material, sendo assim alvo de diversas pesquisas (STEGEMANN; ALMEIDA; MEDEIROS, 2022).

As etapas de desenvolvimento do biomaterial fabricado de kombucha podem ser observadas na Figura 15 a seguir.



Figura 15 – Etapas de desenvolvimento do biomaterial fabricado de kombucha: dentre elas, cultivo em meio de cultura; espessamento; secagem; estampagem.

Fonte: OLIVEIRA, 2021, p. 89.

Atualmente, os produtos biofabricados pelas empresas possuem preços elevados, são destinados para um nicho específico do mercado da moda, permanecem inacessíveis para a maioria dos consumidores, possuem o processo de P&D complexo e demorado ainda no início, altos custos para desenvolver as tecnologias e algumas técnicas ainda não são 100% sustentáveis por necessitarem de algum químico ou polímero, o tornando nem biodegradável, nem reciclável. No entanto, a biofabricação comprova as reais possibilidades de, nos próximos anos, ser usada como materiais têxteis sustentáveis, isso por produzir tecidos naturais, biodegradáveis e compostáveis, existir a opção da utilização de resíduos como substratos a serem metabolizados pelos microrganismos, ser uma tecnologia livre de animais, economizar recursos naturais e ser possível produzir em escala na fabricação de materiais têxteis (BIOFABRICATE; FASHION FOR GOOD, 2020; LIMA; ALVES; MARTINS, 2021; STEGEMANN; ALMEIDA; MEDEIROS, 2022).

Essas vantagens são o ponto central de aproximação entre os tecidos obtidos por meio da biofabricação e a circularidade na moda, já que torna possível o fechamento do ciclo de vida do produto e descarte seguro.

Vimos, portanto, técnicas biotecnológicas que eliminam ou reduzem problemas ambientais na indústria da moda e têxtil como uso e despejo de produtos tóxicos (agrotóxico, substâncias químicas, corantes, microfibras plásticas), uso excessivo de recursos naturais finitos e energia, geração de resíduos, entre outros. No entanto, por mais que estabeleçam uma alternativa promissora para uma produção mais limpa, para garantir o total caráter sustentável dessas estratégias, é preciso se certificar de que seja viável economicamente e haja retornos financeiros, além de seguir também práticas benéficas socialmente, como geração de empregos, garantia de condições de trabalho decente, salário justo, direitos trabalhistas, transparência para o consumidor, contenção do consumismo e muito mais, para que, no futuro, não se reproduza os mesmos problemas conhecidos atualmente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi visto, então, que é imprescindível uma mudança radical e global de toda a cadeia da moda - desde a extração de recursos naturais, passando pelo design, fabricação e uso, até o fim de vida. A Economia Circular e a Biotecnologia podem ser métodos aliados a esse objetivo, a partir de uma visão sistêmica e inovadora, para alcançar um sistema sustentável com menores impactos negativos sobre a sociedade e a natureza e ainda ter benefícios econômicos.

Compreendendo os impactos que permeiam todas as etapas do ciclo de vida das roupas, é possível contribuir com a redução de danos resultantes das práticas existentes, sendo capaz de visualizar toda a cadeia produtiva da moda de forma holística e integrada e de calcular os reais danos que cada produto causará ao meio ambiente e social. Com esse conhecimento, além de contribuir para a geração de transparência e proporcionar aos consumidores consciência do que estão comprando, também pode ser utilizado como uma ferramenta para remediar esses danos e começar a criar produtos que os previna, alcançando, assim, a sustentabilidade e a circularidade por meio do design inteligente.

Por outro lado, entender o conceito de sustentabilidade, torna mais fácil saber como aplicá-lo corretamente, principalmente dentro da moda, a qual muitas marcas fazem *greenwashing* para conseguir clientes que realmente se preocupam com questões ambientais, sociais e econômicas, princípios essas bases para a sustentabilidade, mas não possuem as informações verídicas sobre o produto. Além disso, consegue-se ver como a Economia Circular pode contribuir para essa transformação de indústrias tão poluidoras para indústrias ao caminho da sustentabilidade. Logo, percebe-se que as indústrias da moda e têxtil precisam fazer essa transição de um sistema linear para uma Economia circular que mitigue os impactos sociais e ambientais, solucione o alto gasto de recursos e proporcione um desenvolvimento socioambiental sustentável.

Visando oferecer tecnologias que sustentem essas transformações, a biotecnologia se torna uma relevante ferramenta para promover os pilares da Economia Circular e da sustentabilidade, com a promoção de técnicas que utilizam matérias de base biológica que são naturais, renováveis, não tóxicos e biodegradáveis, podendo otimizar o uso de recursos naturais finitos e a geração de resíduos, principalmente em processo dentro da indústria da moda e têxtil.

Entretanto, precisa se pensar que o conceito de Economia Circular está ligado ao objetivo de prosperidade econômica e com isso, a opção mais circular pode não ser necessariamente a opção ambientalmente correta quando a Economia Circular é aplicada no micronível.

O mesmo ocorre com a biotecnologia, não devido o produto ser de base biológica que ele é a opção mais sustentável. Pode acontecer de haver materiais tóxicos misturados ou aplicados em um processo de tratamento, criando a dualidade de entregar o produto com o padrão e a qualidade equitativa aos materiais similares ou priorizar a biocompatibilidade ao final do ciclo de vida do material.

Para que essas situações não ocorram é preciso ter um bom planejamento por meio do design, já que esse é o ponto de maior potencial na redução dos impactos socioambientais negativos dos produtos de moda. Se a peça for pensada desde o início como será sua produzida, o que irá compô-la e os danos que se deve prevenir, consegue pesar os prós e contras e a melhor estratégia para que a circularidade, a biotecnologia e a sustentabilidade andem em sincronia.

Há casos em que as tecnologias não encontrarão substitutos aos recursos naturais e seus processos de forma que conserve integralmente os ecossistemas, porém é possível alcançar um meio termo e desenvolver negócios relativamente benéficos a todos os agentes envolvidos. Desta forma, dado a Economia Circular e a biotecnologia, é possível avaliar e propor alternativas ao atual cenário de danos ao meio ambiente e à sociedade.

Ademais, mudar apenas o processo de produção das roupas não é suficiente, há um limite de até onde podemos culpar a indústria e as marcas. Os consumidores também são diretamente responsáveis pelos impactos gerados pelos produtos consumidos, assim como a forma como os produtos são utilizados e descartados. Se os clientes não deixam de comprar ou começam a questionar as marcas, não tem por que mudar suas formas de produzir ou pagar corretamente um trabalhador, pois influencia o lucro da empresa. A sociedade vive em mudança e a moda se adequa a essas mudanças relacionadas aos desejos e necessidades dos consumidores e aos interesses econômicos.

A moda atinge a todos, o que pode influenciar as pessoas a se conscientizarem sobre o que consomem e quais são os cuidados devidos para cuidar e descartar os produtos. Devemos considerar que a “moda barata” vem com um custo muito maior do que vemos nas etiquetas e se

não estamos pagando o preço real de uma roupa, é porque alguém, em outro lugar está. Por isso, a reflexão sobre os hábitos de consumo, as escolhas de matérias primas e marcas, o cuidado e o prolongamento da vida útil das roupas, a revisão de processos e as condições de trabalho são necessárias para que a transformação da indústria da moda aconteça.

Para isso, as empresas também precisam colaborar investindo em rastreamento e transparência, para que todos, inclusive a própria marca, tenham consciência dos impactos causados, dos componentes dos produtos, das condições de trabalhos, das medidas sustentáveis que são adotadas, os locais de fabricação, assim em diante.

A crescente implementação de disciplinas de caráter socioambiental e de ecodesign nos currículos dos cursos de graduação e pós-graduação em design de moda também criam um aumento nos espaços de disseminação e formação de conhecimentos no país. Isso colabora na difusão de informações e no desenvolvimento de novos criadores e consumidores conscientes e inspirados a agir de forma sustentável e ética. Devido isso, é muito importante a adequação dos novos profissionais a uma nova realidade ao revalidar o currículo desses cursos, acrescentando a eles disciplinas que tratem de questões socioambientais ligadas à cadeia têxtil.

O frequente investimento em pesquisa, tecnologias e infraestruturas voltadas para a circularidade em prol da sustentabilidade também é essencial para que a indústria esteja sempre em inovação e com as ferramentas adequadas para que seja possível melhorar seu caráter ético e ambiental. A cooperação pública e privada pode ser bem-vinda, já que é necessário implementar políticas públicas e incentivos econômicos e fomentar novos conhecimentos para que as empresas possam reformular seus sistemas.

A união da regulação governamental, da comunidade empresarial com visão para o futuro e da demanda do consumidor, será o ponto de virada para essa transformação tão necessária.

O Brasil pode ser visto como um país de potencial para se tornar referência nessa área, visto que sua diversidade tem potencial para desenvolver novos negócios sustentáveis de base biológica e de novas cadeias produtivas na área da moda.

6. REFERÊNCIAS

ABIT. **Perfil do setor**. Abit Têxtil e Confecção, 2020. Disponível em: <<https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>>. Acesso em: 9 mai. 2022

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9800 - Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário**.

ABNT, Rio de Janeiro, 1987.

ALCÂNTARA, M. R.; DALTIM, D. A química do processamento têxtil. **Química nova**, v. 19, n. 3, p. 320-330, 1996.

AZEVEDO, Julia. **O que é tripé da sustentabilidade?**. eCycle, 2022. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/tripe-da-sustentabilidade/>>. Acesso em: 15 out. 2022.

BARROS, Talita Delgrossi. **Silvicultura**. EMBRAPA, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/florestal/silvicultura>>. Acesso em: 29 ago. 2022.

BBC NEWS BRASIL. **9 limites mantêm equilíbrio da Terra; veja 4 já ultrapassados**. YouTube, 13 nov. 2021. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=Asno1dh719s>>. Acesso em: 26 mar. 2022

BELTRAME, Leocádia Terezinha Cordeiro. **Caracterização de Efluente Têxtil e Proposta de Tratamento**. Dissertação (mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2000.

BERG, Achim et al. **Fashion on Climate: How the Fashion Industry can Urgently Act to Reduce its Greenhouse Gas Emissions**. New York, Copenhagen, McKinsey & Company and Global Fashion Agenda, 2020.

BERLIM, Lilyan. **Moda e sustentabilidade: uma reflexão necessária**. São Paulo: Estação das letras e cores, 2012.

BIOFABRICATE; FASHION FOR GOOD. **UNDERSTANDING “BIO” MATERIAL INNOVATIONS: a primer for the fashion industry**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://fashionforgood.com/our_news/understanding-bio-material-innovations-a-primer-for-the-fashion-industry/>. Acesso em: 30 out. 2022

BOFF, Leonardo. **La sostenibilidad: qué es y qué no es**. Maliaño: Sal Terrae, 2013.

BRASIL. **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento: de acordo com a Resolução nº 44/228 da Assembléia Geral da ONU, de 22-12-89, estabelece uma abordagem equilibrada e integrada das questões relativas a meio ambiente e desenvolvimento: a Agenda 21**. Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995.

_____. **Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e**

rotulagem, o transporte, o armazenamento, [...] e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 5, p. 1-12, 8 jan. 2002.

_____. **Decreto nº 6.041, de 8 de fevereiro de 2007. Institui a política de desenvolvimento da biotecnologia, cria o comitê nacional de biotecnologia e dá outras providências.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 9 fev. 2007. Seção 1, p.

_____. **LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 147, p. 3, 3 ago. 2010.

_____. **MMA. Convenção sobre diversidade biológica. Cópia do Decreto Legislativo nº 2, de 5 de junho de 1992.** Brasília, DF, 2000.

_____. **Portaria nº 20.809, de 14 de setembro de 2020. Lista os setores da economia mais impactados pela pandemia após a decretação da calamidade pública decorrente do Covid-19.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 177, p. 47, 15 set. 2020.

_____. **Resolução CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 226, p. 85-91, 22 nov. 2002.

BRITO, Sandra. **Novo bioinseticida usa duas cepas de bactéria para controlar lagartas.** Tradução de Mariana Medeiros. EMBRAPA, 2021. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/59018590/novo-bioinseticida-usa-duas-cepas-de-bacteria-para-controlar-lagartas>>. Acesso em: 27 out. 2022.

BRUNO, Alessandra Nejar. **Biotecnologia I: princípios e métodos.** [S.l.]: Artmed Editora, p. 1-11, 2014.

CALEIRO, João Pedro. **5 anos após desabamento, o que mudou nas fábricas de Bangladesh?.** Exame, 2018. Disponível em: <<https://exame.com/economia/5-anos-apos-desabamento-o-que-mudou-nas-fabricas-de-bangladesh/>>. Acesso em: 9 mai. 2022.

CANTERLE, Angela Marina. **Nicho ecológico de duas espécies congêneras de peixes criptobênticos sintópicos no Sul do Brasil.** Florianópolis: UFSC, 2021.

CLEFFI, Norma Maria; TRIVELATO, Silvia Luzia Frateschi; RODRIGUES, Rosicler Martins. **Curso de biologia: ecologia.** [S.l.]: Harper e Row do Brasil, 1985.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Economia circular: oportunidades e desafios para a indústria brasileira.** Brasília: CNI, 2018. 64 p.: il. d

_____. **Economia circular: uma abordagem geral no contexto da indústria 4.0.** Brasília: CNI, 2017. 75 p.: il.

CORDEIRO, Maria Donalísio. **Indústria da moda: mulheres, trabalho e meio ambiente.** Esquada Web, 2021. Disponível em: <<https://esquerdaweb.com/industria-da-moda-mulheres-trabalho-e-meio-ambiente/>>. Acesso em: 9 mai. 2022.

CUNHA, Renato. **Você sabe o que é moda circular?.** Stylo Urbano, 2020. Disponível em: <<https://www.stylourbano.com.br/voce-sabe-o-que-e-moda-circular/>>. Acesso em: 26 fev. 2022.

DATZ, Marcelo Davi Xavier da Silveira. **Risco sistêmico e regulação bancária no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Economia) - Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2002.

Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa digital. 5ª ed. Grupo positivo, 2010. Disponível em: <<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.editorapositivo.aurelio>>. Acesso em: 28 ago. 2022.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **A new textiles economy: Redesigning fashion's future**. Ellen MacArthur Foundation, 2017. Disponível em: <<https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>>. Acesso em: 11 fev. 2022

_____. **Vision of a circular economy for fashion**. Ellen MacArthur Foundation, 2020. Disponível em: <<https://emf.thirdlight.com/link/nbwff6ugh01m-y15u3p/@/preview/1?o>>. Acesso em: 19 set. 2022.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Controle biológico: ciência a serviço da sustentabilidade**. EMBRAPA, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/tema-controle-biologico/sobre-o-tema>>. Acesso em: 27 out. 2022.

EPSJV – Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio. **Commodities - definição**. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, [20--]. Disponível em: <<https://www.epsjv.fiocruz.br/commodities-definicao>>. Acesso em: 26 set. 2022.

_____. **Monocultura extensiva**. Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, [20--]. Disponível em: <<https://www.epsjv.fiocruz.br/monocultura-extensiva>>. Acesso em: 3 mai. 2022.

ETHOS. In: Oxford language. Google, 2022. Disponível em: <<https://www.google.com/search?q=ethos&oq=ethos&aqs=chrome..69i57j0i131i433i512j0i512l3j46i175i199i512j0i512l2.1487j0j4&client=ms-android-samsung&sourceid=chrome-mobile&ie=UTF-8>>. Acesso em: 16 set. 2022

FASHION REVOLUTION. **Trabalhadores e indústria da moda: um semestre de pandemia no Brasil**. CartaCapital, 2020. Disponível em: <<https://www.cartacapital.com.br/blogs/fashion-revolution/trabalhadores-e-industria-da-moda-um-semester-de-pandemia-no-brasil/>>. Acesso em: 9 mai. 2022.

FERREIRA, Luis Gustavo Bonora Vidrih; NOGUEIRA, Natália Nascimento; GRACIANI, Fernanda Silva. Corantes Naturais e Sustentabilidade no Setor Têxtil. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 1, p. 188-192, 2013.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. **Mapa de Conflitos envolvendo Injustiça Ambiental e Saúde no Brasil**. Rio de Janeiro: ENSP, 2022. Disponível em: <http://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/?s=algod%C3%A3o&post_types=conflito>. Acesso em: 2 mai. 2022.

FUTINO, Ana Maria; FILHO, Sérgio Salles. A biotecnologia na agricultura brasileira: a indústria de defensivos agrícolas e o controle biológico. **Agricultura em São Paulo**. São Paulo, v. 38, p. 45-88, 1991.

GEJER, Léa; TENNENBAUM, Carla. **Os 3 princípios do design circular Cradle to Cradle**. Idea Circular, 2018. Disponível em:

<https://convertkit.s3.amazonaws.com/landing_pages/incentives/000/244/770/original/Ideia_Circular_3principios.pdf?1596821813>. Acesso em: 26 set. 2022.

GÓIS, João Pedro Urbano Fernandes Pimenta de. **Moda e sustentabilidade: os impactos ambientais na indústria da moda**. Brasília: UniCEUB, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA (IBICT); CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Desenvolvimento sustentável e avaliação de ciclo de vida**. Brasília: Ibiict; CNI, 2014. 33 p.:il.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. **Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios**. Rio de Janeiro: INCA, 2021.

KERR, John; LANDRY, John. **Pulse of the fashion industry**. Global Fashion Agenda e The Boston Consulting Group, 2017.

KLEBA, Ana. **Cradle to Cradle: design inteligente para uma economia sem lixo**. UGREEN, 2021. Disponível em: <<https://www.ugreen.com.br/cradle-to-cradle-design-inteligente-para-uma-economia-sem-lixo/#:~:text=O%20termo%20surgiu%20em%202002,de%20uma%20economia%20completamente%20circular.>>. Acesso em: 26 set. 2022.

KOHAN, Lais; ARAUJO, Maurício de Campos. Processos Enzimáticos na Indústria Têxtil: uma alternativa com menor impacto ambiental. **Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP**, v. 16, p. 1-6, 2008.

LANGANKE, Roberto. **Destino do Lixo**. Conservação para Ensino Médio, [20--]. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/lepac/conservacao/ensino/lixo_destino.htm#:~:text=Na%20maioria%20das%20vezes%2C%20o>. Acesso em: 11 jun. 2022.

LEGNAIOLI, Stella. **O que é slow fashion e por que adotar essa moda?**. eCycle, 2022. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/slow-fashion/>>. Acesso em: 1 nov. 2022.

LIMA, Bruna Lummertz.; ALVES, Andressa Schneider Alves; MARTINS, Geannine Cristina Martins. BIOFABRICAÇÃO: CULTIVO DE CELULOSE BACTERIANA PARA A ÁREA DE MODA. **MIX Sustentável**, Florianópolis, v. 7, n. 3, p. 153–164, 2021.

LIMA, Urgel de Almeida et al. **Biotecnologia industrial - Processos fermentativos e enzimáticos**. São Paulo: Blucher, 2001.

LOPES, Carla Vanessa Alves; ALBUQUERQUE, Guilherme Souza Cavalcanti de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. **Saúde em debate**, v. 42, p. 518-534, 2018.

Mackenzie. **As principais conferências do meio ambiente ao longo da história**. Blog Mackenzie, 2022. Disponível em: <<https://blog.mackenzie.br/vestibular/materias-vestibular/as-principais-conferencias-do-meio-ambiente-ao-longo-da-historia/>>. Acesso em: 30 ago. 2022.

MAIS RETORNO. **Economia Mainstream: saiba o que é e como funciona**. Mais Retorno, 2020. Disponível em: <<https://maisretorno.com/portal/termos/e/economia-mainstream>>. Acesso em: 26 set. 2022.

MALAJOVICH, Maria Antonia. **Biotecnologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Maria Antonia Malajovich, 2016. v. 1. 312p.

MARTINEZ, Maria Elisa Marciano; REIS, Marcello Carvalho; REIS, Patrícia Carvalho; SALES, Lorena Angelo de Castro. Avaliação da Capacidade Inovativa sobre a Ótica Patentária Brasileira do Emprego de Biotecnologias na Indústria Têxtil. **Cadernos de Prospecção**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 888, 2018.

MCDONOUGH, William; BRAUNGART, Michael. **Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things**. 1 ed. U.S.A: North Point Press, 2002.

MODA POR AMOR: EPISÓDIO #6: A História das Roupas, uma conversa com Paulo Debom @paulodebom. [Locução de]: Erika Gottsfritz. Entrevistado: Paulo Debom. [S.l.]: Moda por amor, 5 abr. 2022. Podcast. Disponível em: <<https://open.spotify.com/episode/4D9EVQAF0YybTqkYnt2PuV?si=GxjJs9VMQXubTWNM4tABtw>>. Acesso em: 15 mai. 2022.

MODEFICA; FGVces; REGENERATE. **Fios da Moda: Perspectiva Sistêmica Para Circularidade**. São Paulo, 2020. Disponível em: <<https://reports.modefica.com.br/fios-da-moda/library/downloads/modefica-report-FIBRAS-TEXTEIS-2021.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2022.

MONTEIRO, Valdirene N. SILVA, Roberto do Nascimento. Aplicações Industriais da Biotecnologia Enzimática. **Revista Processos Químicos / SENAI**. Departamento Regional de Goiás - v.3, n.5 (jan/jun, 2009). Goiânia: SENAI/DR. Gerência de Educação Profissional / Faculdade de Tecnologia SENAI Roberto Mange, 2009. v.: il.

MUÑOZ, Juan Sebastián Carvajal; BENAVIDES, Adriana Consuelo Mera. Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. **Producción + limpos**, v. 5, n. 2, p. 77-96, 2010.

NARIMATSU, Bárbara Mayume Galeti et al. Corantes naturais como alternativa sustentável na indústria têxtil. **Revista Valore**, Volta Redonda, v. 5, p. 5030, 2020.

NÓBREGA, Ana. **O que é downcycling e como evitá-lo?**. eCycle, 2022. Disponível em: <<https://www.ecycle.com.br/downcycling/>>. Acesso em: 26 set. 2022.

NORTH, Andrew. **Desabamento em Bangladesh revela lado obscuro da indústria de roupas**. BBC News Brasil, 2013. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/noticias/2013/04/130428_bangladesh_tragedia_lado_obscuro>. Acesso em: 9 mai. 2022

OLIVEIRA, Bruna Filipa Lopes. **Transição circular: análise da percepção dos designers de moda face à utilização de materiais têxteis sustentáveis**. Dissertação (Mestrado em Marketing e Estratégia) - Escola de Economia e Gestão da Universidade do Minho, Portugal, 2020.

OLIVEIRA, Bruna Marques de. **HISTÓRIA DA MODA: ORIGEM E PROCESSO DE PRODUÇÃO DA FIBRA DO LINHO**. SINTEX, 2015. Disponível em:

<<http://www.sintex.org.br/noticia/2015/12/08/historia-da-moda-origem-e-processo-de-producao-da-fibra-do-linho#:~:text=Para%20o%20planteda%20cultura,o%20caule%20e%20a%20semente.>>.
Acesso em: 11 out. 2022

OLIVEIRA, Carolina Roberte de. **A Biotecnologia como ferramenta de inovação para a indústria têxtil e de confecções: estudo de caso SUI**. Dissertação (Mestrado em Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia para Inovação) - Universidade de Brasília (PROFNIT/UnB), Brasília, 2021.

PEIXOTO, Fabia Pinho; MARINHO, Gloria; RODRIGUES, Kelly. **CORANTES TÊXTEIS: UMA REVISÃO. HOLOS**, [S. l.], v. 5, p. 98–106, 2013.

PEREIRA JR., Nei; BON, Elba Pinto da Silva; FERRARA; Maria Antonieta. **Tecnologia de bioprocessos**. Rio de Janeiro: Escola de Química/UF RJ, 2008. 62 p.: il. – (Séries em Biotecnologia, v. 1)

POERNER, Bárbara. **Como as Mobilizações Trabalhistas Podem Alçar Mudanças na Indústria da Moda**. Modifica, 2021. Disponível em: <<https://www.modifica.com.br/trabalho-sindicalismo-textil-moda-mulheres/>>. Acesso em: 9 mai. 2022

POLLINI, Denise. **Breve história da moda**. São Paulo: Editora Claridade, 2007.

RIBEIRO, Débora. **Antrópico**. Dicio, dicionário online de português, 2017. Disponível em: <<https://www.dicio.com.br/anropico/>>. Acesso em: 25 set. 2022.

Rio Declaration, United Nations Conference on Environment and Development. Rio de Janeiro, 3-14 de junho de 1992.

SANTOS, Simone. **Impacto ambiental causado pela indústria têxtil**. UFSC-Engenharia de Produção e Sistemas-PPGEP-Centro Tecnológico-Trindade–Florianópolis, SC, 1997.

SARAIVA, Luiz Roberto. **Biotecnologia Aplicada à Indústria Têxtil - Parte 1**. Confecção e moda, 2010. Disponível em: <<http://confeccaoemoda.blogspot.com/2010/02/biotecnologia-aplicada-industria-textil.html>>. Acesso em: 10 out. 2022

SCHULTE, Neide Köhler; LOPES, Luciana; ALESSIO, Monik Aparecida; FREITAS, Beatriz. A moda no contexto da sustentabilidade. **ModaPalavra e-periódico**, núm. 12, julho-dezembro, 2013, pp. 194-210, Universidade do Estado de Santa Catarina: Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=514051625013>>. Acesso em: 21 out. 2022.

SEBRAE. **Boletim de tendência - reciclagem de roupas velhas em roupas novas**. SEBRAE, 2020. Disponível em: <https://vitrine.sebraego.com.br/wp-content/uploads/2020/11/Boletim-de-Tende%CC%82ncias-Sebrae_Moda_Reciclagem.pdf>. Acesso em: 05 mai. 2022

SILVA, Wesley Santiago da. **Produção de pigmentos fúngicos e seu uso no tingimento de tecidos**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias para o Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal de São João Del Rei, Ouro Branco, 2013.

SINGER, Maya. **A Insurreição das Roupas: é Hora de Assumir as Responsabilidades da Cadeia de Produção**. Traduzido e republicado por Modifica. Vogue, 2015. Disponível em:

<<https://www.modifica.com.br/a-insurreicao-das-roupas-e-hora-de-assumir-as-responsabilidades-da-cadeia-de-producao/>>. Acesso em: 15 mai. 2022.

SOUZA, Aline Francisca; ROSADO, Fábio Rogério. Utilização de Fungos Basidiomicetes em Biodegradação de Efluentes. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, [S. l.] v.2, n.1, p. 121-139, 2009.

STEGEMANN, Cristiane; ALMEIDA, Aline da Rosa; MEDEIROS, Henrique de Souza. Biofabricação: um horizonte sustentável para o mundo da moda. **Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial**, Florianópolis, v. 15, n. 2, 2022.

STYLO URBANO. **Uma breve história sobre a moda sustentável**. SINTEX – Sindicato Industrial de Fiação, Tecelagem e do Vestuário de Blumenau, 2015. Disponível em: <<http://www.sintex.org.br/noticia/2015/09/30/uma-breve-historia-sobre-a-moda-sustentavel>>. Acesso em: 20 out. 2022.

SVENDSEN, Lars. **Moda: uma filosofia**. [S.l.]: Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2010.

TASSI, Felipe Gomes. **METODOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS – UMA REVISÃO**. 56f. Buri, 2022.

TESTEXTEXTILE. **O que é têxtil? Tecido têxtil, o guia definitivo**. Testex, 2017. Disponível em: <https://www.testertextile.com/pt/Qual-%C3%A9-diferen%C3%A7a-tecido-t%C3%AAxtil/#Section_4_Whats_Difference_between_Fabric_and_Textile>. Acesso em: 16 mar. 2022.

TORRESI, Susana I. Córdoba de; PARDINI, Vera L.; FERREIRA, Vitor F.. O que é sustentabilidade?. **Química Nova**, 2010, v. 33, n. 1, pp. 1. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000100001>>. Acesso em: 5 jan. 2023.

UNEP. **Você sabe como os gases de efeito estufa aquecem ou planeta?**. UNEP, 2022. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/voce-sabe-como-os-gases-de-efeito-estufa-aquecem-o-planeta#:~:text=Quais%20s%C3%A3o%20os%20principais%20gases>>. Acesso em: 11 jun. 2022.

VELOSO, Cristiano. **Lixiviação de nutrientes: por que o potássio possui o maior risco de perdas?**. Blog Verde, 2022. Disponível em: <<https://blog.verde.ag/nutricao-de-plantas/lixivacao-de-nutrientes-por-que-o-potassio-possui-o-maior-risco-de-perdas/>>. Acesso em: 12 jun. 2022.

VILHENA, João Baptista. **Pensamento sistêmico: o que é, para que serve e como funciona?**. Institute of Business Education – IBE, 2016. Disponível em: <<https://www.ibe.edu.br/pensamento-sistemico-o-que-e-para-que-serve-e-como-funciona/>>. Acesso em: 17 out. 2022.