Variata
V.19 N.48 — 2026
DOI: https://doi.org/10.5965/1982615x19482026e0007

moda?palavra
E-ISSN 1982-615x



Tingimento Natural e Inovação: estratégias para uma moda mais sustentável e tecnológica

José Eduardo Vilas Bôas

Doutorando, Universidade de São Paulo (USP) | eduardo.vilasboas@usp.br
Orcid: 0000-0003-1649-8395/ Lattes: http://lattes.cnpq.br/3558021134457211

Aline Barbosa da Cruz Prudente

Mestra, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) | aline.bcp@gmail.com
Orcid: 0000-0002-0776-0390/ Lattes: http://lattes.cnpq.br/5433558295145580

Maria Sílvia Barros de Held

Doutora, Universidade de São Paulo (USP) | silviaheld@usp.br
Orcid: 0000-0003-4373-4955/ Lattes: http://lattes.cnpq.br/5645756396955777

Enviado: 15/09/2025 | Aceito: 12/06/2026

Tingimento Natural e Inovação: estratégias para uma moda mais sustentável e tecnológica

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo explorar como a inovação tecnológica pode potencializar o uso do tingimento natural na moda, investigando projetos que unem técnicas ancestrais com tecnologias contemporâneas. Com abordagem aplicada, qualitativa, exploratória e descritiva, a pesquisa foi conduzida por meio de um estudo de casos múltiplos e análise de conteúdo. Foram examinadas seis empresas/projetos que articulam práticas de tingimento natural com tecnologias contemporâneas, tais como biotecnologia, tecidos inteligentes, nanotecnologia e *blockchain*. Os dados foram processados por meio da técnica de análise de conteúdo temático, com o suporte do modelo de linguagem *DeepSeek* para a categorização de dez dimensões críticas, abrangendo desafios, oportunidades, viabilidade econômica e impacto cultural. Os resultados indicaram que, embora persistam desafios de escalabilidade e custos, a combinação entre saberes tradicionais e tecnologias emergentes promove soluções de baixo impacto e valorização cultural. A pesquisa contribui ao propor um roteiro operacional de diretrizes práticas adaptadas ao contexto do Sul Global, sinalizando caminhos para que *designers* e marcas alinhem soberania tecnológica e responsabilidade socioambiental, ressignificando a moda como força positiva e regenerativa.

Palavras-chave: Tingimento natural; Inovação tecnológica; Moda sustentável.

Natural Dyeing and Innovation: strategies for a more sustainable and technological fashion

ABSTRACT

This research aimed to explore how technological innovation can enhance the use of natural dyeing in fashion by investigating projects that bridge ancestral techniques and contemporary technologies. Employing an applied, qualitative, exploratory, and descriptive approach, the study was conducted through multiple case studies and content analysis. Six companies and projects were examined for their integration of natural dyeing practices with modern technologies such as biotechnology, smart textiles, nanotechnology, and blockchain. Data were processed using thematic content analysis, supported by the DeepSeek large language model for the categorization of ten critical dimensions, including challenges, opportunities, economic viability, and cultural impact. The results indicated that, while challenges regarding scalability and costs persist, the combination of traditional knowledge and emerging technologies fosters low-impact solutions and cultural appreciation. This research contributes by proposing an operational roadmap of practical guidelines tailored to the Global South context, highlighting pathways for designers and brands to align technological sovereignty with socio-environmental responsibility, thereby reframing fashion as a positive and regenerative force.

Keywords: *Natural dyeing; technological innovation; sustainable fashion.*

Tintura Natural e Innovación: estrategias para una moda más sostenible y tecnológica

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo explorar cómo la innovación tecnológica puede potenciar el uso del teñido natural en la moda, investigando proyectos que vinculan técnicas *ancestrales con tecnologías contemporáneas. Con un enfoque aplicado, cualitativo, exploratorio y descriptivo, la investigación se llevó a cabo mediante un estudio de casos múltiples y un análisis de contenido. Se examinaron seis empresas y proyectos que articulan prácticas de teñido natural con tecnologías de vanguardia, tales como la biotecnología, los tejidos inteligentes, la nanotecnología y el blockchain. Los datos fueron procesados a través de la* técnica de *análisis de contenido temático, contando con el soporte del modelo de lenguaje DeepSeek para la categorización de diez dimensiones críticas, que abarcan desafíos, oportunidades, viabilidad económica e impacto cultural. Los resultados indicaron que, aunque persisten retos de escalabilidad y costes, la combinación entre los saberes tradicionales y las tecnologías emergentes promueve soluciones de bajo impacto y de puesta en valor cultural. La investigación contribuye al proponer una hoja de ruta operativa de directrices prácticas adaptadas al contexto del Sur Global, señalando caminos para que diseñadores y marcas alineen la soberanía tecnológica con la responsabilidad socioambiental, resignificando la moda como una fuerza positiva y regenerativa.*

Palabras-clave: *Tintura natural; innovación tecnológica; moda sostenible.*

1. INTRODUÇÃO

O tingimento natural é uma prática milenar que remonta às civilizações antigas, na qual pigmentos extraídos de plantas, minerais e insetos eram utilizados para colorir tecidos e outras superfícies. Conforme Cardon (2007), essa técnica não apenas servia a propósitos estéticos, mas também carregava significados culturais, simbólicos e ritualísticos, refletindo a conexão entre o ser humano e a natureza. Cidreira (2005, p.106) relembra Marshall Sahlins em *Cultura e Razão Prática* (1979), ao afirmar que a moda é um "universo simbólico transformado em matéria", e o tingimento natural exemplifica essa ideia ao unir tradição, cultura e sustentabilidade em cada fio tingido. Além disso, Crane (2006) destaca que as roupas são veículos de comunicação não-verbal, logo, ao incorporar elementos da natureza, o tingimento natural reforça essa dimensão simbólica.

A indústria da moda, uma das mais poluentes do mundo, enfrenta pressões globais para adotar práticas mais sustentáveis, afinal, segundo o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA, 2023), a moda é responsável por 2% a 8% das emissões globais de gases de efeito estufa, além dos impactos significativos de poluição, extração de água e biodiversidade e sociais. Ainda de acordo com a Ellen MacArthur Foundation (2017), a produção têxtil é responsável por 20% da poluição global hídrica, grande parte proveniente do uso de corantes sintéticos. Somado a isso, Joshi e Kuriyal (2023) apontam que o uso excessivo de corantes sintéticos (cerca de 10 milhões de toneladas por ano) tem causado sérios impactos ambientais e de saúde, escalonando o interesse pelos corantes naturais.

Nesse cenário, a busca por inovações que reduzam o impacto ambiental tem ganhado destaque. Michetti (2015),

em *Moda Brasileira e Mundialização*, argumenta que a globalização trouxe consigo a necessidade de repensar práticas produtivas, especialmente em setores como o têxtil, que historicamente explorou recursos naturais de forma predatória.

Nesse contexto, os corantes biológicos, geralmente considerados recursos baratos, atóxicos, renováveis e com impacto ambiental mínimo, têm retomado o interesse dos pesquisadores (Shahid; Islam; Mohammad, 2025). Logo, algumas tecnologias emergentes de tingimento despontam, como o CO_2 supercrítico (que elimina o uso de água ao utilizar CO_2 como solvente), o *AirDye*® (que substitui água por ar, economizando 95% do recurso), ultrassom e micro-ondas (que aceleram a fixação de corantes, reduzindo tempo e energia) e o *nano-DyeTM* (com corantes nanoencapsulados). Somadas a outras inovações, como impressão 3D, biotecnologia (corantes produzidos por microrganismos) e inteligência artificial (para otimização de processos), essas soluções tornam a moda mais ética e ecológica, reduzindo drasticamente o consumo de água, poluentes e emissões, enquanto aumentam a precisão e a sustentabilidade da produção (Lara; Cabral; Cunha, 2022; Rani *et al.*, 2024).

No entanto, a integração dessas tecnologias com práticas ancestrais, como o tingimento natural, ainda é um campo pouco explorado, mas com potencial revolucionário - e, por isso, objeto desta pesquisa, abrindo um leque de possibilidades para a moda do futuro. Flusser (1985), em *Filosofia da Caixa Preta*, já propunha que a técnica altera não apenas o objeto, mas também o sujeito que a utiliza, criando um ciclo contínuo de transformação. Essa ideia se aplica ao tingimento natural quando combinado com tecnologias como a biotecnologia, que permite a produção de corantes naturais em larga escala por meio de microrganismos, ou mesmo na impressão 3D, a qual possibilita a criação de tecidos com padrões complexos

e personalizados, utilizando corantes naturais como matéria-prima. Além disso, tecnologias inteligentes, como tecidos que mudam de cor com a temperatura ou a luz, podem ser potencializadas pela integração com pigmentos naturais, como no projeto da *Studio Tjeerd Veenhoven*, que utiliza algas para tingir tecidos de forma interativa. Essas e tantas outras inovações não apenas ampliam as possibilidades estéticas, mas também reforçam a sustentabilidade e a funcionalidade das peças.

Apesar do potencial, a integração entre tingimento natural e tecnologias contemporâneas enfrenta desafios significativos. A escalabilidade é um dos principais obstáculos, já que a produção de corantes naturais em larga escala ainda é limitada pela disponibilidade de matérias-primas e pela complexidade dos processos. Bordo e Jaggar (1997), alertam para os riscos de se romantizar práticas tradicionais sem considerar as desigualdades sociais e econômicas que podem estar envolvidas. Além disso, a durabilidade das cores naturais em comparação com as sintéticas é uma questão técnica que precisa ser superada. No entanto, as oportunidades são vastas: a combinação entre técnicas ancestrais e inovações modernas pode resultar em tecidos mais sustentáveis, inteligentes e esteticamente únicos.

Pesquisas recentes apontam para um futuro no qual a moda será cada vez mais tecnológica e sustentável. Shusterman (2017) argumenta que a moda não é apenas uma expressão estética, mas também uma prática corporal que molda nossa experiência sensorial e identitária. A integração entre tingimento natural e tecnologias como nanotecnologia, *blockchain* para rastreabilidade e realidade aumentada para experiências digitais sugere um cenário promissor. Essas inovações não apenas reduzem o impacto ambiental, mas também criam narrativas simbólicas e funcionais para a moda, as quais promovem também novas perspectivas para

corporalidade e o vestir. A relação dialética proposta por Flusser (1985), em que a técnica modifica o objeto, o qual, por sua vez, redefine a técnica, alterando consequentemente o sujeito, que retroage sobre a técnica, pode ser aplicada à evolução do tingimento natural em sua interação com as tecnologias do século XXI.

Diante desse contexto, o objetivo desta pesquisa foi explorar como a inovação tecnológica pode potencializar o uso do tingimento natural na moda, investigando projetos que unem técnicas ancestrais com tecnologias contemporâneas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura consistiu em uma pesquisa bibliográfica e documental e teve como objetivo contextualizar o tingimento natural como uma tecnologia ancestral e mapear as inovações contemporâneas que estão moldando a indústria da moda. Para isso, foram utilizadas fontes como artigos científicos, livros, relatórios técnicos, estudos de caso e documentos de instituições especializadas, incluindo a *Ellen MacArthur Foundation*, o *MIT Media Lab*, o *Fashion Institute of Technology* (FIT) e organizações como a *Textile Exchange* e a *Fashion for Good*. Priorizaram-se estudos publicados entre 2020 e 2025, enfatizando temas como sustentabilidade, inovação tecnológica e a transição para uma economia circular na moda.

Essa investigação parte do reconhecimento de que o tingimento natural, longe de ser apenas uma prática histórica, oferece *insights* valiosos para os desafios atuais da indústria têxtil. O tingimento natural é uma prática milenar utilizada por diversas civilizações, como os egípcios, romanos e povos indígenas, que extraíam pigmentos de plantas, insetos e minerais para colorir tecidos (Cardon, 2007). Um

dos exemplos mais emblemáticos é o uso da púrpura de Tiro, um corante extraído do molusco Murex, que era altamente valorizado pelos fenícios por sua cor vibrante e durabilidade. A produção desse corante era tão complexa e laboriosa que a púrpura se tornou um símbolo de status e poder, sendo associada à realeza e à aristocracia no Império Romano (*ibidem*). Na Índia, o índigo natural era amplamente utilizado há mais de 4.000 anos, sendo uma das principais mercadorias de exportação durante o período colonial. O processo de extração do índigo envolvia a fermentação das folhas da planta *Indigosfera tinctoria*, seguida de oxidação para fixar o pigmento nos tecidos (*ibidem*). Esses exemplos históricos não apenas destacam a importância cultural e econômica do tingimento natural, mas também demonstram como essas técnicas foram adaptadas e refinadas ao longo dos séculos.

Essa técnica tem sido redescoberta como uma alternativa sustentável frente aos corantes sintéticos, os quais frequentemente contêm substâncias químicas nocivas ao meio ambiente e à saúde humana. Estudos recentes indicam que pigmentos naturais derivados de plantas, insetos e minerais podem reduzir significativamente o impacto ambiental da indústria têxtil, promovendo, simultaneamente, a valorização de conhecimentos tradicionais (Homem-De-Mello *et al*., 2025).

Além disso, a viabilidade econômica do tingimento natural e das tecnologias emergentes é um tema central na discussão sobre sua adoção em larga escala. Embora os corantes naturais sejam mais caros que os sintéticos devido aos custos de extração e processamento, estudos indicam que eles podem se tornar competitivos quando considerados os benefícios ambientais e sociais. Por exemplo, o tingimento natural reduz a necessidade de tratamento de efluentes químicos, o que diminui os custos operacionais a longo prazo (Gordon; Hill, 2015). Além disso, a valorização de práticas

tradicionais pode gerar renda para comunidades locais, como no caso do índigo natural na Índia, onde cooperativas de pequenos produtores têm alcançado mercados globais (Fletcher, 2020). No campo das tecnologias emergentes, a impressão 3D e os tecidos inteligentes apresentam custos iniciais elevados, mas oferecem vantagens como a redução de desperdício de materiais e a possibilidade de personalização em massa, o que pode aumentar a margem de lucro das marcas (MIT Media Lab, 2021).

Avanços tecnológicos têm viabilizado o desenvolvimento de métodos inovadores para extração e fixação de corantes naturais, garantindo maior durabilidade das cores e viabilidade econômica para escalabilidade industrial.

A pesquisa de Sepahí, Barani e Khazaee (2025) promoveu práticas de tingimento sustentáveis ao aproveitarem plantas de ocorrência espontânea (tradicionalmente classificadas como indesejadas em cultivos agrícolas e chamadas pelos autores de *parasitic weeds*) para a extração de pigmentos, transformando biomassa não-intencional em recurso produtivo, ou seja, essas plantas são uma alternativa ambientalmente consciente aos corantes sintéticos, contribuindo para a redução de resíduos e a conservação ambiental. Dessa forma, o estudo explorou o uso do extrato da planta *Orobanche*, uma espécie de ocorrência espontânea que prejudicava plantações no Irã, como um corante natural sustentável para fibras de lã. A pesquisa propôs uma solução de duplo benefício: transformar um problema agrícola em uma fonte valiosa de corante, ao mesmo tempo em que abordou os impactos ambientais dos corantes sintéticos. Logo, o extrato de *Orobanche* demonstrou-se uma fonte viável e ecológica de corante, capaz de produzir tecidos de lã com cores vibrantes, boa durabilidade e integridade mecânica.

Já o estudo de Tanveer *et al*. (2025) explorou o uso da tecnologia de micro-ondas (do inglês *microwave oven* - MW)

para modificar o comportamento de tingimento de corantes naturais amarelos (extrato de cúrcuma) e sintéticos (Amarelo Ácido 36) em tecido de seda. A pesquisa comparou a eficácia desses corantes utilizando um método de aquecimento inovador, com o objetivo de contribuir para o processamento têxtil sustentável. O tratamento MW, aplicado por 2 a 10 minutos, estimulou a solução de corante e o tecido, com variáveis de tingimento selecionadas por meio de modelagem estatística. Para o corante natural, a mordentação foi realizada antes e depois do tingimento. As tonalidades obtidas em condições otimizadas foram avaliadas de acordo com os padrões ISO para solidez da cor. Os resultados indicaram que o tratamento MW teve potencial significativo para alterar as superfícies do tecido, melhorando a interação com os corantes. Além disso, o uso de eco químicos no tingimento natural tornou o processo mais sustentável. O estudo demonstrou que o aquecimento assistido por micro-ondas pode melhorar a absorção de corante e a solidez da cor, reduzindo o uso de energia e o tempo de processamento na coloração têxtil.

O avanço da biotecnologia na produção de fibras têxteis, especialmente aquelas desenvolvidas a partir de microrganismos como bactérias, fungos e micélio, tem criado oportunidades para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis também no campo do tingimento natural (Malik; Tokkas; Goyal, 2012). Fibras como o *Mylo*™, da *Bolt Threads* (feita de micélio) e a *Kelsun®, da Keel Labs* (produzida a partir de algas), são exemplos de materiais biodegradáveis que, por sua origem natural, apresentam maior compatibilidade com pigmentos orgânicos extraídos de plantas, fungos ou insetos do que materiais sintéticos como o poliéster, que geralmente requerem corantes químicos agressivos. O micélio, por exemplo, possui estrutura porosa capaz de absorver corantes naturais com eficiência, semelhante ao couro vegetal. Além disso, os próprios microrganismos usados na biotecnologia

podem ser fontes de pigmentos: bactérias como Streptomyces produzem tons de roxo e rosa, e fungos como *Penicillium* geram pigmentos amarelos, com aplicações têxteis já discutidas por Radhakrishnan (2014). Algas, como as utilizadas pela Keel Labs, também contêm compostos como clorofila e ficocianina, que podem ser extraídos para tingimento natural.

Diante do fato de que o tingimento convencional é responsável por cerca de 20% da poluição global da água (Green America, 2019), a associação entre fibras biotecnológicas e corantes naturais ou microbianos representa uma estratégia promissora para reduzir o uso de substâncias químicas nocivas, como metais pesados e fixadores sintéticos. Além disso, os pigmentos microbianos podem ser cultivados em resíduos agrícolas, fortalecendo práticas de economia circular. No entanto, ainda há desafios a superar, como a necessidade de desenvolver mordentes naturais (como taninos) para melhorar a fixação de cor em fibras como *Mylo*™ e *Kelsun*®, bem como a viabilização econômica da produção de corantes microbianos em escala industrial. Iniciativas como a da empresa *Colorifix*, que utiliza bactérias geneticamente modificadas para produzir corantes, já sinalizam avanços nessa direção. Parcerias como a da Bolt Threads com a estilista Stella McCartney ilustram o potencial de aplicação comercial dessas inovações, especialmente se integradas a processos de tingimento natural.

Estudos acadêmicos, como o de Aishwarya e Devi (2014), reforçam a eficácia de pigmentos fúngicos aplicados a fibras naturais. Assim, a biotecnologia têxtil não apenas revoluciona os materiais, mas também oferece caminhos concretos para substituir corantes sintéticos por soluções biológicas, em sintonia com os princípios da moda regenerativa.

Os tecidos inteligentes despontam como uma inovação tecnológica promissora na moda, com capacidade de responder a estímulos externos e oferecer funcionalidades em áreas

como saúde, esportes e segurança. No entanto, além da performance, destaca-se o crescente foco na sustentabilidade desses materiais. Pesquisas e iniciativas vêm promovendo o uso de fibras biodegradáveis, corantes naturais e processos de baixa emissão de carbono, integrando responsabilidade socioambiental à alta tecnologia. O uso de pigmentos naturais provenientes de microrganismos e resíduos agroindustriais surgem como alternativa ao tingimento sintético, reduzindo significativamente a toxicidade e a poluição. Assim, os tecidos inteligentes apontam para um futuro em que inovação e respeito aos ciclos naturais caminham juntos, contribuindo para uma moda verde.

Apesar dessas inovações promissoras, a adoção do tingimento natural e das tecnologias emergentes ainda enfrenta barreiras significativas que precisam ser consideradas para sua consolidação no setor. A pesquisa de Chungkrang e Bhuyan (2020) reforça a necessidade de mais dados e técnicas aprimoradas para tornar os corantes naturais uma alternativa viável e sustentável, sendo um dos principais desafios a resistência da indústria tradicional, que ainda depende fortemente de corantes sintéticos e processos de produção em larga escala. A transição para métodos sustentáveis requer investimentos significativos em infraestrutura e capacitação, o que pode ser um entrave para pequenas e médias empresas (Ellen Macarthur Foundation, 2021). Além disso, os corantes naturais muitas vezes apresentam limitações de durabilidade e variedade de cores, o que pode dificultar sua adoção em mercados exigentes (Repon *et al*., 2024). No caso das tecnologias emergentes, como a impressão 3D e os tecidos inteligentes, os custos iniciais elevados e a necessidade de mão de obra especializada são barreiras significativas (McKinsey & Company, 2023). Outro desafio é a falta de padronização e regulamentação para práticas sustentáveis, o que pode gerar incertezas para investidores e consumidores.

Por fim, questões culturais também desempenham um papel importante, pois muitas comunidades ainda associam produtos naturais a menor sofisticação tecnológica, o que pode limitar sua aceitação no mercado global (Fletcher, 2020).

Nesse contexto, a sustentabilidade emerge como um eixo central que conecta não apenas essas inovações contemporâneas, mas também tecnologias ancestrais, promovendo uma abordagem sistêmica para a transformação do setor. A Ellen MacArthur Foundation tem sido uma das principais defensoras da economia circular na moda, incentivando a transição para processos produtivos que minimizem resíduos e maximizem a reutilização de materiais. Relatórios recentes enfatizam a necessidade de reformular todo o ciclo de vida dos produtos têxteis, desde a seleção das matérias-primas até o descarte final.

Dados recentes da *Textile Exchange* (2023) apontam que a adoção de fibras sustentáveis, como algodão orgânico e poliéster reciclado, cresceu 30% nos últimos cinco anos, indicando uma mudança positiva no setor. Além disso, o mercado de tecidos inteligentes está projetado para atingir US$5,3 bilhões até 2026, impulsionado pela demanda por funcionalidade e sustentabilidade (McKinsey & Company, 2023).

Iniciativas globais, como a *European Green Deal*, estão impulsionando mudanças significativas no setor, com metas ambiciosas para reduzir as emissões de carbono e promover a circularidade. Além disso, a *Fashion Industry Charter for Climate Action*, liderada pela Organização das Nações Unidas (ONU), reúne marcas e *stakeholders* comprometidos com a neutralidade de carbono até 2050.

A *Fashion for Good*, uma plataforma global de inovação, tem desempenhado um papel crucial ao apoiar *startups* e iniciativas que promovem a sustentabilidade na moda. Projetos como o desenvolvimento de corantes biossintéticos

e processos de reciclagem química de têxteis estão ganhando destaque, oferecendo soluções viáveis para os desafios ambientais do setor. Além disso, a adoção de certificações como o *Global Organic Textile Standard* (GOTS) e o *Cradle to Cradle Certified*™ têm ajudado a garantir a transparência e a sustentabilidade na cadeia de suprimentos.

Logo, a interseção entre o tingimento natural e as tecnologias emergentes oferece um caminho viável para a inovação sustentável na moda. Ao integrar inovação tecnológica e práticas ancestrais, o paradigma da economia circular redefine os caminhos da moda contemporânea, impulsionando um setor mais resiliente, regenerativo e comprometido com os ciclos naturais.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa é de natureza aplicada, pois busca desenvolver um arcabouço de diretrizes operacionais para a indústria da moda, especificamente no que diz respeito à integração do tingimento natural com tecnologias contemporâneas. Para isso, adotou-se uma abordagem qualitativa de caráter exploratório-descritivo, utilizando o método de Estudo de Casos Múltiplos para a construção de teoria a partir da prática (Eisenhardt, 1989). Por isso, a pesquisa foi desenvolvida em duas etapas principais: (1) o estudo de casos múltiplos e (2) a análise dos dados.

A **primeira etapa** da pesquisa consistiu em um estudo de casos múltiplos, selecionados por meio de uma amostragem intencional por critério de tipologia tecnológica com objetivo de mapear as principais rotas de inovação que integram o tingimento natural às tecnologias emergentes, dividindo-as em três *clusters*: (1) Biotecnologia e Biologia Sintética; (2) Engenharia de Materiais e Nanotecnologia; e

(3) Rastreabilidade Digital. Os critérios de inclusão definiram que os projetos deveriam apresentar maturidade tecnológica em escala piloto ou industrial e reconhecimento em fóruns globais de inovação sustentável. A predominância de casos internacionais (cinco) deve-se à concentração de patentes e *hubs* de biotecnologia microbiana e marinha nos eixos Europa-EUA. Em contrapartida, a inclusão do caso nacional (Fio Sustentável) foi determinada por sua relevância na aplicação de *blockchain*, representando uma fronteira tecnológica específica de gestão e transparência na cadeia produtiva brasileira. Assim, a composição final (Quadro 1) não buscou proporcionalidade geográfica, mas sim a exaustão das categorias tecnológicas identificadas na literatura contemporânea.

Quadro 1: *Clusters*, casos e tecnologias integradas

Cluster	**Casos**	**Tecnologias**
Biotecnologia e Inovação em Corantes Naturais	- Colorifix (Reino Unido)	- Fermentação microbiana
	- Pili (França)	- Inteligência Artificial
		- Biologia sintética
Tecidos Inteligentes e Nanotecnologia	- Werewool (EUA)	- Microencapsulamento
	- Keel Labs (EUA)	- Biotecnologia marinha
Sustentabilidade Rastreabilidade	- Fio Sustentável (Brasil)	- *Blockchain*
	- Studio Tjeerd Veenhoven (Países Baixos)	- Processos ecológicos de tingimento

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os métodos de coleta de dados incluíram análise de documentos técnicos, sites institucionais e entrevistas em veículos públicos de comunicação. Essa etapa permitiu uma compreensão aprofundada dos desafios (técnicos, econômicos e ambientais), bem como das oportunidades (criativas, funcionais e sustentáveis) geradas por essa combinação. Além disso, foram analisadas as categorias de sustentabilidade, inovação técnica, viabilidade econômica e impacto cultural de cada projeto, performando no total 10

variáveis de interesse: (1) desafios técnicos, (2) desafios econômicos, (3) desafios ambientais, (4) oportunidades criativas, (5) oportunidades funcionais, (6) oportunidades sustentáveis, (7) sustentabilidade, (8) inovação técnica, (9) viabilidade econômica e (10) impacto cultural.

A **segunda etapa** dedicou-se à análise dos dados, utilizando a técnica de análise de conteúdo temático para identificar padrões, desafios e oportunidades nos casos estudados. A Inteligência Artificial *DeepSeek* foi empregada como ferramenta auxiliar em três fases principais: (1) categorização automática dos dados coletados nas 10 variáveis pré-definidas; (2) identificação de correlações e padrões recorrentes entre os diferentes casos; e (3) apoio na interpretação comparativa dos resultados. Esse processo permitiu organizar sistematicamente um grande volume de dados, destacando conexões entre práticas tradicionais e inovações tecnológicas. A etapa final consistiu na síntese reflexiva dos autores, convertendo os padrões identificados em um conjunto de diretrizes práticas (apresentado no Quadro 2 no item 4.1).

Apesar do rigor metodológico, a pesquisa apresenta limitações inerentes ao uso de fontes secundárias e dados públicos, com acesso restrito a informações confidenciais e impossibilidade de observação direta dos processos produtivos. Reconhece-se o risco de viés informativo, mesmo que mitigado pela triangulação de fontes e postura analítica cautelosa. Adicionalmente, a seleção intencional de casos bem-sucedidos pode introduzir viés de confirmação, e a ausência de métricas quantitativas padronizadas impede comparações diretas de desempenho ambiental entre os projetos. *Trade-offs* ecológicos das biotecnologias e questões de propriedade intelectual (biopirataria) não foram aprofundados. Por fim, as diretrizes propostas não foram validadas com *stakeholders* da indústria nem testadas quanto à aceitação do consumidor.

Essas limitações delimitam o escopo da pesquisa à identificação de rotas tecnológicas e diretrizes estratégicas, não à certificação de sustentabilidade.

Em termos éticos, a pesquisa seguiu os princípios da integridade científica, garantindo o uso de fontes públicas e devidamente referenciadas, a proteção de dados sensíveis e a transparência na apresentação e interpretação dos resultados. Por isso, não se fez necessário o encaminhamento ao Comitê de Ética em Pesquisa, conforme a Resolução CNS nº 510/2016.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Essa seção apresenta os resultados da pesquisa organizados em pesquisa bibliográfica e documental; estudos de caso múltiplos; e análise dos dados.

4.1 Estudo de casos múltiplos

Esta subseção apresenta os resultados da análise detalhada dos seis projetos/empresas selecionados, com foco em dez dimensões críticas: (1) desafios técnicos, (2) desafios econômicos, (3) desafios ambientais, (4) oportunidades criativas, (5) oportunidades funcionais, (6) oportunidades sustentáveis, (7) sustentabilidade, (8) inovação técnica, (9) viabilidade econômica e (10) impacto cultural. A fim de apresentar cada empresa participante da análise, reuniu-se um breve descritivo dos projetos:

- Caso 1 – *Colorifix*: é uma empresa de biotecnologia fundada em 2016 no Reino Unido, que desenvolveu um processo de tingimento têxtil utilizando microrganismos geneticamente modificados. O método consiste em identificar genes responsáveis por pigmentos naturais em organismos,

inserir esses genes em microrganismos não patogênicos e cultivá-los em fermentadores. O líquido resultante é então utilizado em máquinas de tingimento convencionais para colorir os tecidos.

- Caso 2 – *Pili*: é uma *startup* francesa fundada em 2015, especializada na produção de corantes e pigmentos sustentáveis por meio de biotecnologia. Seu objetivo é substituir corantes petroquímicos por alternativas de baixo impacto ambiental, utilizando processos que combinam fermentação microbiana e química verde, ou seja, a marca atua como elo entre a biotecnologia e a escala industrial, permitindo a purificação dos pigmentos biossintéticos por meio de processos de catálise e solventes não-tóxicos, garantindo que o produto seja tecnicamente equivalente ao sintético, porém ambientalmente inócuo.

- Caso 3 – *Werewool*: é uma empresa de biomateriais estadunidense que projeta fibras têxteis sustentáveis com propriedades inerentes, como cor, elasticidade e gerenciamento de umidade, através da engenharia de proteínas. Inspirada na natureza, a *startup* utiliza biotecnologia para criar fibras com características específicas, eliminando a necessidade de corantes e acabamentos químicos nocivos.

- Caso 4 – *Kell Labs*: A *Keel Labs* é uma empresa estadunidense que desenvolveu a fibra Kelsun®, produzida a partir de algas marinhas, como solução regenerativa para a indústria têxtil. Além de eliminar o uso de pesticidas e corantes sintéticos, a tecnologia abre caminho para o uso de tingimento natural, ampliando o apelo ecológico da fibra. As próprias algas podem fornecer pigmentos naturais, possibilitando um ciclo completo de produção sustentável. A compatibilidade da *Kelsun*® com corantes naturais representa uma oportunidade de inovação técnica, criativa e funcional, reforçando práticas de baixo impacto ambiental e posicionando a marca como referência em materiais têxteis de nova geração.

- Caso 5 – *Studio Tjeerd Veenhoven* é um estúdio de *design* neerlandês focado no desenvolvimento de novos materiais e soluções criativas para promover práticas mais sustentáveis na indústria da moda e *design*. A empresa trabalha com uma abordagem inovadora, desenvolvendo alternativas ecológicas para materiais tradicionais. Seu trabalho explora o uso de resíduos naturais e a criação de materiais biodegradáveis e regenerativos, como pigmentos a partir de flores, algas marinhas e materiais vegetais, como as folhas de palmeira para substituir o couro.
- Case 6 – Fio Sustentável: é uma marca brasileira que integra técnicas tradicionais de tingimento natural, com foco em corantes extraídos da biodiversidade amazônica, e inovações tecnológicas, como o uso de *blockchain* para rastrear a origem dos insumos e garantir sustentabilidade. A proposta é reduzir o impacto ambiental da indústria têxtil, otimizando o consumo de recursos como água e energia, ao mesmo tempo em que promove a transparência e a responsabilidade no processo produtivo.

O levantamento de informações sobre cada empresa gerou um extenso conjunto de dados, disponível para consulta pública de forma integral no Repositório/DOI: 10.5281/zenodo.20099488. Para facilitar a visualização e comparação entre os casos, essas as informações foram resumidas e divididas em dois quadros (Quadros 2 e 3), sintetizando os principais achados e as características mais relevantes de cada uma das iniciativas.

Quadro 2: Análise comparativa dos projetos têxteis sustentáveis (parte 1)

Projeto	(1) desafios técnicos	(2) desafios econômicos	(3) desafios ambientais	(4) oportunidades criativas	(5) oportunidades funcionais
Colorifix	Escalabilidade da fermentação; consistência de cores	Investimentos contínuos; concorrência com métodos tradicionais	Gestão de resíduos; avaliação do ciclo de vida	Cores personalizadas; padrões inovadores	Compatibilidade com equipamentos existentes; redução de água/energia
Pili	Otimização de cepas microbianas; qualidade dos pigmentos	Escalabilidade; competitividade de preços	Disponibilidade biomassa; gestão de resíduos	Amplo espectro de cores; inspiração para tendências	Alta performance; compatibilidade com processos existentes
Werewool	Produção em larga escala de proteínas; manutenção propriedades	Competição com tecidos sintéticos baratos	Decomposição sem subprodutos nocivos	Cores/funcionalidades integradas; produtos únicos	Aplicação em múltiplos setores (esporte, saúde)
Keel Labs	Escalabilidade produção algas; durabilidade fibras	Competição com tecidos convencionais	Impacto extração algas; emissões GEE	Colaboração com Outerknown (coleção pioneira)	Aplicação em moda, automotivo e saúde
Studio Veenhoven	Otimização produção em escala; adaptação a processos industriais	Custos extração matérias-primas naturais	Impacto extração algas/folhas; biodiversidade	Palm Leather; pigmentos de tulipas (design inovador)	Fibras com elasticidade/resistência (aplicações múltiplas)
Fio Sustentável	Implementação blockchain; controle variáveis tingimento	Custos 30% maiores; falta incentivos fiscais	Desmatamento Amazônia; perda biodiversidade	Padrões inspirados na biodiversidade amazônica	Rastreabilidade blockchain; eficiência operacional

Fonte: Elaborado pelos autores (2025). Abreviações[1]

Quadro 3: Análise comparativa dos projetos têxteis sustentáveis (parte 2)

Projeto	(6) oportunidades sustentáveis	(7) sustentabilidade	(8) inovação técnica	(9) viabilidade econômica	(10) impacto cultural
Colorifix	Redução impacto ambiental; economia circular	Redução de 77% água, 80% químicos	Microrganismos GM para pigmentos naturais	Compatível com máquinas existentes; investimentos de marcas	Adoção por H&M, Stella McCartney; projetos UE
Pili	Redução pegada ecológica; modelo responsável	Uso biomassa não alimentar; sem petróleo	Processo híbrido (fermentação + química verde)	Financiamento Horizon 2020; custos decrescentes em escala	Alinhamento com valores de sustentabilidade dos consumidores
Werewool	Alternativa a microplásticos; redução químicos	Fibras biodegradáveis; 0% microplásticos	Proteínas inspiradas em corais/águas-vivas	US$ 3.7M investimento; meta 125k ton até 2030	Promoção materiais sustentáveis na moda
Keel Labs	Redução poluição microplásticos	Fibras de algas (Kelsun®); sem pesticidas	Alginato de algas + polímeros renováveis	US$ 13M Série A; nova fábrica na Carolina do Norte	Aceitação alternativas ecológicas na moda
Studio Veenhoven	Materiais biodegradáveis; economia circular	Uso subprodutos naturais (tulipas, algas)	Algae Fabrics; processos não tóxicos	Parceria H&M Foundation; nicho premium	Mudança percepção sobre materiais sustentáveis
Fio Sustentável	Alinhamento ODS 12 e 15; selo B Corp	Corantes naturais; energia renovável	IoT para monitoramento pH/temperatura	Premiumização; redução riscos multas ambientais	Resgate saberes tradicionais amazônicos

Fonte: Elaborado pelos autores (2025). Abreviações[2]

4.2 Análise dos dados

A análise dos dados buscou identificar padrões, desafios e oportunidades nos casos estudados, mediante análise de

conteúdo temático. Como apoio metodológico, utilizou-se o modelo de linguagem *DeepSeek* (*Large Language Model* de acesso gratuito) para auxiliar na organização e relação comparativa dos dados entre as 10 variáveis predefinidas. A avaliação dos seis casos evidenciou padrões recorrentes, sobretudo na interseção entre tradição e tecnologia na moda sustentável. Os resultados foram sistematizados em categorias temáticas, gerando diretrizes de aplicação prática, conforme exposto nos Quadros 4 e 5.

Quadro 4: Tendências identificadas e diretrizes por eixo temático.

Eixo Temático	Tendências Identificadas	Diretrizes
Sustentabilidade e Redução de Impacto Ambiental	- Redução de recursos: menor uso de água, energia e químicos. - Materiais renováveis: biomassa, algas, fibras biodegradáveis, resíduos agrícolas. - Economia circular: foco em biodegradabilidade e reciclagem.	- Priorizar matérias-primas de baixo impacto (algas, resíduos agrícolas). - Implementar recirculação de água e uso de energia renovável. - Adotar certificação (OEKO-TEX®, B Corp).
Inovação Técnica e Biotecnologia	- Biotecnologia: microorganismos, proteínas bioinspiradas, algas. - Tecnologias complementares: blockchain, IoT, fermentação em larga escala. - Processos limpos: substituição de corantes sintéticos.	- Investir em P&D para escalar biotecnologias. - Integrar tecnologias digitais (blockchain, IoT). - Parcerias com universidades e centros de pesquisa.
Viabilidade Econômica e Mercado	Desafios: - Altos custos de produção. - Competição com materiais sintéticos. - Necessidade de investimento contínuo. Oportunidades: - Premiunização de produtos sustentáveis. - Demanda regulatória (ex.: UE). - Parcerias com grandes marcas.	- Desenvolver modelos híbridos (tecnologia + produto). - Buscar subsídios e investimentos de impacto. - Educar consumidores sobre o valor da moda sustentável.
Impacto Cultural e Preservação de Saberes	- Resgate de tradições: valorização de técnicas locais e reconhecimento da origem geográfica dos saberes. - Mudança de mentalidade: ética e transparência. - Design consciente: inspiração na natureza.	- Colaborar com comunidades locais. - Realizar a cartografia de territórios e matérias-primas para preservação e registro cultural. - Criar narrativas que unam tecnologia e herança cultural. - Promover coleções *story-driven*.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025). Abreviações[3]

Quadro 5: Desafios e soluções potenciais.

Desafio	**Solução Proposta**
Escalabilidade	Parcerias com fabricantes tradicionais para adaptar a infraestrutura existente.
Consistência de cor	Padronização de cepas microbianas (Colorifix, Pili) e controle de qualidade via Internet das Coisas (IoT).
Competitividade de preço	Economias de escala + incentivos governamentais para produção sustentável.
Gestão de resíduos	Desenvolvimento de sistemas de tratamento de efluentes biológicos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

4.2.1 Diretrizes para a Indústria da Moda

A construção de um futuro sustentável na moda exige a adoção de diretrizes que conciliem inovação tecnológica, responsabilidade ambiental e valorização cultural. Os resultados desta pesquisa, derivados da análise empírica dos casos selecionados, apontam para cinco diretrizes fundamentais: (1) adotar abordagens híbridas; (2) fortalecer colaborações e *hubs* de inovação; (3) explorar novos materiais de baixa barreira; (4) implementar a rastreabilidade territorializada; e (5) promover a circularidade via biomassa espontânea.

As (1) abordagens híbridas baseiam-se na implementação de biotecnologia via fermentação, conforme observado nos casos *Colorifix* e *Pili*. Esta diretriz sugere a substituição de corantes petroquímicos por pigmentos biossintéticos, integrando biologia molecular a processos industriais. Sua eficácia, contudo, é condicionada à disponibilidade de infraestrutura de biorreatores e ao acesso a cepas de micro-organismos otimizadas, sendo recomendada para marcas de médio e grande porte que buscam escala industrial com baixa toxicidade química.

O (2) fortalecimento das colaborações e a governança colaborativa derivam da necessidade de rateio de custos identificada nas *startups* estudadas. Diferente de parcerias genéricas, propõe-se a criação de *hubs* de inovação e centros de beneficiamento compartilhados, nos quais marcas consolidadas financiam o setor de Pesquisa & Desenvolvimento

(P&D) de empresas emergentes em troca de exclusividade temporária. Essa estratégia operacionaliza a transição tecnológica ao diluir os riscos financeiros e estruturais entre os diferentes atores da cadeia.

A diretriz de (3) explorar novos materiais foca na engenharia de fibras biofabricadas (algas e proteínas) e foi fundamentada nos casos *Werewool* e *Keel Labs*. A análise demonstra que a viabilidade dessas inovações reside em sua natureza *drop-in* (materiais prontos para o uso), garantindo compatibilidade com o maquinário têxtil existente. Assim, a aplicação prática desta diretriz deve priorizar materiais que reduzam a necessidade de novos investimentos em ativos fixos pelas fábricas.

No campo da comunicação, destaca-se a (4) rastreabilidade digital territorializada, extraída da análise do caso Fio Sustentável. Esta diretriz propõe o uso de *blockchain* não apenas como registro técnico, mas como salvaguarda cultural da origem. Para o contexto do Sul Global, a aplicação é condicionada à inclusão digital por meio de interfaces móveis simplificadas, permitindo que o registro da cartografia de origem conecte o saber local às exigências de transparência do mercado global.

Por fim, a (5) circularidade de resíduos e biomassa espontânea deriva do estudo de processos de tingimento natural, como o uso de *Orobanche*. A diretriz operacional consiste na criação de protocolos de coleta de vegetação espontânea em parceria com o setor agroindustrial, convertendo desafios do manejo agrícola em recursos produtivos. Essa abordagem transforma biomassa não-intencional em fonte de receita extra e matéria-prima de baixo impacto, mitigando a dependência de insumos sintéticos.

A integração entre tradição e tecnologia na moda revela-se não apenas viável, mas necessária diante das demandas contemporâneas. Recomenda-se à indústria a adoção de

um modelo colaborativo e interdisciplinar, capaz de reunir inovação científica e heranças culturais como caminhos para a redução de impactos e a manutenção da relevância em um mercado global cada vez mais consciente e regulado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa explorou como a inovação tecnológica pode potencializar o tingimento natural na moda, integrando técnicas ancestrais e tecnologias contemporâneas. Os resultados indicam que essa união promove uma moda mais sustentável ao articular tradição, inovação e responsabilidade ambiental. Apesar dos desafios de custo e escalabilidade, os avanços em biotecnologia, tecidos inteligentes, nanotecnologia e *blockchain* abrem caminhos para superar tais barreiras. Além disso, a análise dos casos demonstrou que a fusão de saberes tradicionais e tecnologias emergentes reduz o impacto ambiental têxtil, valoriza identidades locais e fomenta a economia circular, reforçando a necessidade de uma abordagem holística que integre as dimensões ambiental, econômica e cultural.

Além do aporte teórico, a pesquisa propõe um roteiro operacional adaptado ao Sul Global, estruturado em três frentes complementares para converter desafios estruturais em oportunidades. Primeiro, a cartografia de territórios e matérias-primas, que assegura o registro de origem e protege saberes tradicionais contra a apropriação cultural. Segundo, a adoção tecnológica incremental, priorizando soluções de "baixa barreira" (como fixação por micro-ondas e rastreabilidade móvel) para democratizar a inovação em pequenas e médias empresas. Por fim, a viabilidade econômica via modelos de produção cooperativa, por meio de *hubs* de inovação social para o rateio de custos e escala ética de biotecnologias. Ao adaptar modelos do Norte Global à realidade brasileira, estas

diretrizes integram soberania tecnológica, eficiência produtiva e preservação identitária.

Cumpre notar, contudo, as condições de aplicabilidade e os limites inerentes desta pesquisa. A análise baseou-se em fontes secundárias e dados públicos, sem observação direta dos processos ou acesso a dados confidenciais, o que evoca cautela quanto a potenciais vieses informativos e de confirmação pela seleção de casos bem-sucedidos. Além disso, a ausência de métricas quantitativas padronizadas impediu comparações diretas de desempenho ambiental, assim como não foram aprofundados os *trade-offs* ecológicos das biotecnologias e os riscos de biopirataria. Por fim, as diretrizes e o roteiro propostos configuraram rotas estratégicas e não uma certificação de sustentabilidade, carecendo ainda de validação com *stakeholders* da indústria e testes de aceitação com o consumidor final.

Para estudos futuros, recomenda-se investigar contextos periféricos e o impacto socioeconômico do tingimento natural em comunidades rurais, além da percepção do consumidor e sua disposição de pagar por produtos sustentáveis. Também é relevante explorar modelos de capacitação que integrem técnicas tradicionais e tecnologias inovadoras nos currículos educacionais.

Conclui-se que o futuro sustentável da moda depende da integração estratégica entre tradição e tecnologia. Essa transição exige colaboração multissetorial, políticas públicas bem estruturadas e uma mudança cultural profunda, reconhecendo a moda como força motriz de impacto positivo. Os caminhos apontados, embora desafiadores, são viáveis quando guiados por criatividade, rigor técnico e compromisso ético.

CRÉDITO DE AUTORIA

Concepção e elaboração do manuscrito: J.E. Vilas Bôas e A.B.C. Prudente
Coleta de dados: J.E. Vilas Bôas e A.B.C. Prudente
Análise de dados: J.E. Vilas Bôas, A.B.C. Prudente e M.S.B. Held
Discussão dos resultados: J.E. Vilas Bôas, A.B.C. Prudente e M.S.B. Held

Revisão e aprovação: J.E. Vilas Bôas e M.S.B. Held

Notas de fim de texto

[1] GEE = Gases de Efeito Estufa

[2] GM = Geneticamente Modificado; IoT = *Internet of Things*; ODS = Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

[3] IoT = *Internet of Things*; UE = União Europeia; P&D = Pesquisa & Desenvolvimento

Declaração sobre o uso de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de escrita

No processo de pesquisa, os autores empregaram o modelo de linguagem *DeepSeek* (versão V3) como ferramenta auxiliar em três etapas: (1) categorização automática dos dados segundo 10 variáveis pré-definidas, com validação dos autores em 100% das categorias geradas pela IA; (2) identificação preliminar de correlações, revisadas criticamente e validadas pelos autores mediante triangulação com literatura existente; e (3) apoio na síntese comparativa dos resultados, sempre subordinada à interpretação humana. Os autores assumem total responsabilidade pelas análises e conclusões apresentadas, garantindo conformidade com os dados originais e com revisão integral do conteúdo gerado pela IA.

REFERÊNCIAS

AISHWARYA; DEVI, Anchana. Extraction of natural dyes from fungus – an alternate for textile dyeing. **Journal of Natural Sciences Research**, [S.l.], v. 4, n. 7, 2014. Disponível em: http://www.iiste.org. Acesso em: 9 jul. 2025.

BORDO, Susan; JAGGAR, Alison M. (Org.). **Gênero, corpo, conhecimento**. Rio de Janeiro: Rosa dos Tempos, 1997.

CARDON, Dominique. **Natural dyes**: sources, tradition, technology

and science. Londres: Archetype, 2007.

CHO, Seungse; CHANG, Taehoo; YU, Tianhao; LEE, Chi Hwan. Smart electronic textiles for wearable sensing and display. **Biosensors**, Basel, v. 12, n. 4, art. 222, abr. 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/bios12040222

CHUNGKRANG, Lizamoni; BHUYAN, Smita. Natural dye sources and its applications in textiles: a brief review. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, Jorhat, v. 9, n. 10, p. 261-269, 2020. DOI: https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.910.034

CIDREIRA, Renata Pitombo. **Os sentidos da moda**: vestuário, comunicação e cultura. São Paulo: Anablume, 2005.

COLORIFIX. **Colorifix receives OEKO-TEX® ECO PASSPORT certification**. 2023. Disponível em: https://www.colorifix.com/oeko-tex-eco-passport-certification/ . Acesso em: 22 abr. 2025.

CRANE, Diana. **A moda e seu papel social**: classe, gênero e identidade das roupas. São Paulo: Senac, 2006.

EISENHARDT, Kathleen M. Building Theories from Case Study Research. **Academy of Management Review**, [s. l.], v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989. DOI: https://www.jstor.org/stable/258557

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **A new textiles economy**: redesigning fashion's future. 2017. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy. Acesso em: 14 mar. 2025.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Fashion and the circular economy**: redesigning the future of textiles. 2021. Disponível em: https://www.ellenmacarthurfoundation.org/topics/fashion/overview. Acesso em: 12 mar. 2024.

FASHION FOR GOOD. **Innovation in sustainable fashion**. 2023. Disponível em: https://fashionforgood.com. Acesso em: 12 mar. 2024.

FLETCHER, K. **Sustainable fashion and textiles**: design journeys. 2. ed. Londres: Routledge, 2020.

FLUSSER, Vilém. **Filosofia da caixa preta**. São Paulo: Hucitec, 1985.

GORDON, Jennifer Farley; HILL, Colleen. **Sustainable fashion**:

past, present and future. Londres: Bloomsbury Academic, 2015.

GREEN AMERICA. **Toxic textiles:** the environmental and social impacts of our clothing. Research & writing: Caroline Chen; editor: Todd Larsen. Washington, DC: Green America, 2019. Disponível em: https://www.greenamerica.org/sites/default/files/2019-07/GA_TextilesReport_Final_0.pdf. Acesso em: 9 jul. 2025.

HOMEM-DE-MELLO, Paula *et al*. Design bioinspirado de corantes: revisão. **Química Nova**, São Paulo, v. 48, n. 3, 2025. DOI: https://doi.org/10.21577/0100-4042.20250047.

JOSHI, Rakesh Kumar; KURIYAL, Suniti Kumar. Review: dyeing textiles with eco-friendly natural dyes – a brief review. **International Journal of Global Science Research**, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 2052-2060, abr. 2023. DOI: https://doi.org/10.26540/ijgsr.v10.i1.2023.237

LARA, Lívia; CABRAL, Isabel; CUNHA, Joana. Ecological approaches to textile dyeing: a review. **Sustainability**, Basel, v. 14, n. 14, art. 8353, 2022. Revisão. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su14148353. Acesso em: 14 mar. 2025. (Dossiê temático *Sustainable Materials and Management in Fashion Industry*).

LAU, K.-T.; ZHOU, L. Green nanomaterials for wearable electronics and smart textiles. **Materials**, Basel, v. 16, n. 11, p. 4075, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/1996-1944/16/11/4075. Acesso em: 9 jul. 2025.

MALIK, Kamla; TOKKAS, Jayanti; GOYAL, Sneh. Microbial pigments: a review. **International Journal of Microbial Resource Technology**, [S.l.], v. 1, n. 4, p. [não informado], dez. 2012. Disponível em: http://ijmrt.inpressco.com. Acesso em: 9 jul. 2025.

MCKINSEY & COMPANY. **The state of fashion 2023**: resilience in the face of uncertainty. 2023. Disponível em: https://www.mckinsey.com Acesso em: 12 mar. 2024.

MICHETTI, Miqueli. **Moda brasileira e mundialização**. São Paulo: FAPESP; Annablume, 2015.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE (PNUMA). **Sustainability and circularity in the textile value chain** – a global roadmap. Paris, 2023. Disponível em: https://www.oneplanetnetwork.org/knowledge-centre/resources/sustainability-and-circularity-textile-value-chain-global-roadmap. Acesso em: 14 mar. 2025.

RADHAKRISHNAN, S. Application of biotechnology in the processing of textile fabrics. In: MUTHU, S. S. (ed.). **Roadmap to sustainable textiles and clothing**. Singapore: Springer, 2014. p. 277–325. (Textile Science and Clothing Technology).

RANI, Jyoti; GURU, Ramratan; YADAV, Priyanka; SAINI, Ushma. Recent advances in natural dyeing techniques and application. **Colourage**, [S.l.], v. LXXI, n. 01, p. 27–34, jan. 2024.

REPON, Md. Reazuddin; DEV, Barshan; RAHMAN, Md Ashikur; JURKONIENE, Sigita. Textile dyeing using natural mordants and dyes: a review. **Environmental Chemistry Letters**, [S.l.], v. 22, n. 2, p. 1473–1520, mar. 2024. Revisão. DOI: https://doi.org/10.1007/s10311-024-01716-4

SEPAHÍ, Sahereh; BARANI, Hossein; KHAZAEE, Faezeh. Transforming parasitic weeds into sustainable natural dyes: a study of wool dyeing with Orobanche plant extract. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 26, p. 100932, 2025. DOI: https://10.1016/j.clet.2025.100932

SHAHID, Mohammad; ISLAM, Shahid-ul-; MOHAMMAD, Faqeer. Recent advancements in natural dye applications: a review. **Journal of Cleaner Production**, Londres, v. 53, p. 310–331, 15 ago. 2013. Revisão. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.031. Acesso em: 1 jul. 2025.

SHUSTERMAN, Richard. Fits of fashion: somaesthetics of style. In: _____. **Fashion as creative practice**. Londres: Bloomsbury Academic, 2017. p. 61-78. DOI: https://doi.org/10.5040/9781474237505.ch-004

STUDIO TJEERD VEENHOVEN. **Algae fabrics**. Disponível em: https://www.tjeerdveenhoven.com/portfolio_page/algae-fabrics/. Acesso em: 22 abr. 2025.

TANVEER, Hamid Ali *et al*. Ecofriendly dyeing of silk fabric with yellow natural and synthetic dye. **Results in Engineering**, v. 25, p. 104192, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104192

TEXTILE EXCHANGE. **Preferred fiber and materials market report**. 2023. Disponível em: https://textileexchange.org . Acesso em: 12 mar. 2025.

UNIVERSITY OF THE WEST OF ENGLAND (UWE). **Research develops environmentally friendly e-textiles**. Disponível em: https://www.uwe.ac.uk/news/research-develops-environmentally-friendly-e-textiles. Acesso em: 9 jul. 2025.