

Entre o impacto e a inovação: Poluentes têxteis e soluções sustentáveis

João Gabriel Félix de Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Cubatão
(IFSP), Cubatão, SP, Brasil

Flavia Daylane Tavares de Luna

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Cubatão
(IFSP), Cubatão, SP, Brasil

Rebeca Previate Medina

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo – Campus Cubatão
(IFSP), Cubatão, SP, Brasil

Resumo: A degradação ambiental tem se intensificado devido aos processos industriais, ocasionando alterações climáticas e impactos na saúde humana. Nesse sentido, a sustentabilidade passou a ser um pilar do desenvolvimento industrial, com destaque para a Química Verde, que promove a responsabilidade ambiental das empresas. A indústria têxtil é vital para a economia mundial e brasileira, uma vez que gera empregos e renda, no entanto, é também uma das maiores responsáveis por impactos ambientais. Sendo assim, o trabalho analisou artigos, a fim de compreender a cadeia produtiva têxtil e suas principais consequências no meio ambiente, além de buscar alternativas sustentáveis para mitigar esses efeitos. A fibra natural de algodão e a fibra sintética de poliéster são as mais utilizadas no setor industrial, sendo que o uso de agrotóxicos na cotonicultura, o uso de recursos não renováveis na obtenção do poliéster e o descarte de águas residuais do processo de tingimento das fibras estão entre os principais efeitos ambientais da cadeia de produção, além da liberação de microplásticos durante a lavagem de fibras sintéticas. Os biopesticidas e o uso de Inteligência Artificial nas plantações de algodão, assim como o uso de poliéster reciclado e o uso de corantes naturais e biogênicos para a coloração das fibras se mostraram técnicas eficientes para minimizar danos ambientais. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento são necessários para superar desafios técnicos e econômicos para a adoção de algumas metodologias sustentáveis em larga escala, assim como políticas públicas e a conscientização do consumidor.

Palavras-chave: indústria têxtil; algodão; poliéster; corantes; alternativas sustentáveis;.

Abstract: Environmental degradation has intensified due to industrial processes, causing climate change and impacts on human health. In this context, sustainability has become a pillar of industrial development, with Green Chemistry standing out as a framework that promotes environmental responsibility among companies. The textile industry is vital to the global and Brazilian economy, as it generates jobs and income; however, it is also one of the major contributors to environmental impacts. Therefore, this study analyzed scientific articles in order to understand the textile production chain and its main environmental consequences, as well as to identify sustainable alternatives to mitigate these effects. Natural cotton fiber and synthetic polyester fiber are the most widely used in the industrial sector, and the use of pesticides in cotton cultivation, the dependence on non-renewable resources for polyester production, and the disposal of wastewater from the dyeing process are among the main environmental impacts of the production chain, in addition to the release of microplastics during the washing of synthetic fibers. Biopesticides and the use of Artificial Intelligence in cotton cultivation, as well as the use of recycled polyester and natural or biogenic dyes for fiber coloration, have proven to be effective techniques for minimizing environmental damage. Investments in research and development are necessary to overcome technical and economic challenges associated with the large-scale adoption of sustainable methodologies, along with public policies and consumer awareness.

Keywords: textile industry; cotton, polyester, dyes; sustainable alternatives.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável busca equilibrar crescimento econômico, bem-estar social e preservação ambiental, e a Química Verde é uma abordagem científica e tecnológica que o coloca em prática, principalmente no setor industrial.

A Química Verde tem como princípios, enfatizar a prevenção ou a redução da geração de resíduos, garantir a eficiência na utilização da matéria-prima, minimizar o uso de substâncias tóxicas, reconhecer os impactos energéticos e ambientais, utilizar matérias-primas renováveis, além dos cuidados com a degradação e segurança (Silva; Lacerda; Jones Junior, 2005).

A indústria têxtil está presente na vida diária da população e desempenha um papel importante na economia mundial. É um dos segmentos industriais mais dinâmicos, sofrendo constantes mudanças, devido à globalização e à grande concorrência existente entre os países (Santos, 2023; Menegon; Poli; Mazzioni, 2018).

O Brasil é a maior cadeia têxtil completa do Ocidente, produzindo desde fibras com as plantações de algodão, chegando aos desfiles de moda, incluindo as fiações, tecelagens, beneficiadoras, confecções e forte varejo. Em 2023, o faturamento da cadeia têxtil e de confecção foi de R\$ 203,9 bilhões, sendo que o volume da produção têxtil foi de 2 milhões de toneladas. Além disso, representou 9,7% do total de trabalhadores alocados na produção industrial e 4,4% do valor total da produção da indústria brasileira de transformação. O Brasil está entre os cinco maiores produtores e consumidores de denim do mundo e entre os quatro maiores produtores de malhas (ABIT, 2025).

A indústria têxtil apresenta expressiva relevância econômica, elevada complexidade produtiva e contribuição significativa para a geração de poluentes. Atualmente, é considerada uma das principais fontes de poluição global, contribuindo significativamente para emissões de carbono gerado durante os processos de produção prejudiciais ao meio ambiente e descarte inadequado de resíduos. Estima-se que o setor seja responsável por 10% das emissões globais de carbono, com valores que podem chegar a 12,5 kg de CO₂ para cada quilograma de tecido produzido (Nahring, 2022).

Nesse contexto, a transição de metodologias tradicionais para práticas mais sustentáveis se torna indispensável. No entanto, a sustentabilidade ainda é percebida

como um desafio em muitos setores, especialmente em relação ao equilíbrio entre impacto ambiental e rentabilidade econômica. Assim, a identificação e proposição de alternativas sustentáveis devem ser guiadas por critérios claros de aplicabilidade e viabilidade econômica, garantindo maior sucesso na implementação e aceitação dessas soluções.

METODOLOGIA

A fim de buscar descrições das características da indústria têxtil e seu impacto ambiental, bem como a implementação da Química Verde na cadeia produtiva desse tipo de indústria, foi feita uma pesquisa descritiva, na qual foram utilizados bancos de dados do Portal de Periódicos CAPES, junto com o Google acadêmico, utilizando termos como “Indústria Têxtil”, “Nacional”, “Impacto Ambiental”, “química verde”, “polímeros”, “polímeros verdes”, “Cadeia produtiva”, “poliéster”, “elastano”, “microplásticos”, “corantes”, “tecido de acrílico”, “poliamida”, “poliacrilonitrila”; quando tratava-se das fibras naturais, “Agroquímicos”, “algodão”, “liocel”, “seda”, “Sericultura”, “fibra de linho”.

Foram selecionados artigos nacionais, publicados nos últimos 20 anos, para abordar o cenário nacional, incluindo processos específicos da produção e o uso de agrotóxicos. Quando necessário a busca foi ampliada para artigos internacionais, como para descrever aspectos gerais dos meios de produção, ou abordagens mais sustentáveis de produção.

ASPECTOS DA INDÚSTRIA TÊXTEL

O setor têxtil e de confecção no Brasil desempenha papel estratégico no desenvolvimento econômico e social. De acordo com a ABIT (2025), o segmento reúne aproximadamente 25,3 mil empresas formais, emprega diretamente cerca de 1,30 milhão de trabalhadores e, ao considerar os efeitos indiretos e a renda gerada, alcança cerca de 8 milhões de pessoas, das quais aproximadamente 60% são mulheres. Esses dados evidenciam que o setor atua não apenas como elo produtivo, mas como vetor de geração de renda, promoção da inclusão social e fortalecimento da economia nacional.

Diante dessa relevância, torna-se essencial compreender a organização dos processos produtivos que sustentam o setor. A cadeia produtiva da indústria têxtil se inicia com a matéria-prima, fibras têxteis, sendo transformada em fios nas fábricas de fiação, passando para as tecelagens, onde são fabricados os tecidos planos, ou para as malharias, para a fabricação de tecidos de malha. Posteriormente, seguem para o acabamento, para então chegarem à confecção (ABIT, 2013).

Embora os processos envolvendo a produção de tecidos possuam uma cadeia produtiva extensa e constituída por diversas etapas, existem aqueles que foram observados como os maiores causadores de poluição. Sendo esses a obtenção da matéria-prima e os processos de acabamento, onde são aplicados os corantes e outros produtos químicos.

Após a obtenção das informações envolvendo a indústria têxtil como um todo, foram investigadas as principais fibras utilizadas no mercado. Ao analisar os dados obtidos, foi possível notar o destaque da fibra química poliéster e a natural de algodão, sendo essas as duas principais empregadas na indústria (Doyle *et al*, 2021).

FIBRAS NATURAIS

A investigação da produção das fibras de origem natural, com ênfase no algodão, destacou o uso de agrotóxicos como aspecto característico e que, dentre os processos exclusivos das fibras naturais, é o mais prejudicial ao meio ambiente. O algodão é responsável pelo consumo de, aproximadamente, 7% do dos agrotóxicos usados no Brasil (Hess; Nodari, 2022), sendo a segunda *commodity* que mais consome agrotóxicos por hectare de lavoura, atrás apenas do tabaco. Cada hectare algodoeiro consome, em média, 28 litros de agrotóxicos ao ano (Traiano, 2025).

Os agrotóxicos podem ser classificados quanto ao organismo alvo, como inseticidas, que apresentam ação contra insetos, larvas e formigas; fungicidas, ação contra fungos; e herbicidas, que atuam no combate a plantas invasoras (Braibante; Zappe, 2012).

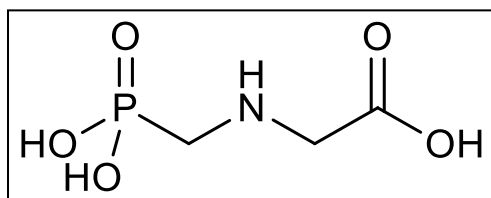
Anualmente, o cidadão brasileiro, indiretamente, consome em média 7 kg de agrotóxicos por ano, ocasionando em diversos impactos na saúde individual e coletiva, incluindo trabalhadores, consumidores e até mesmo lactentes contaminados pelo leite materno (Frota; Siqueira, 2021).

O impacto dos agrotóxicos se estende para além do solo e da água da região em que é usado, podendo também atingir a atmosfera, sendo que 30 a 50% dos agrotóxicos se tornam resíduos no ar, e na forma gasosa podem se deslocar por grandes distâncias devido à circulação dos ventos, até se prenderem a uma superfície ou serem dissolvidos devido ao vapor de água do ciclo hidrológico (Kosikowska; Biziuk, 2010).

Em 2023, os agrotóxicos mais utilizados em solo brasileiro para o cultivo geral foram: glifosato e seus sais; mancozebe; 2,4-D; acefato; clorotalonil; atrazina; S-metolacoloro; glufosinato – sal de amônio; malationa e dibrometo de diquate (IBAMA, 2025).

O glifosato (**Figura 1**) é considerado o agrotóxico mais utilizado na produção de algodão e é classificado como um herbicida. Estudos indicam que sua aplicação afeta negativamente as atividades bioquímicas das plantas, sendo transportado pelos vasos condutores de seiva e bloqueando enzimas essenciais (Haas; Hoehne; Kuhn, 2018).

Figura 1 - Fórmula estrutural do glifosato.



Fonte: os autores.

A remoção do glifosato da água é altamente complexa, pois trata-se de um composto extremamente polar que é extraído juntamente com cátions metálicos e ânions inorgânicos, dificultando sua separação, corroborando com estudos que associam sua presença à contaminação humana. Em plantas, o glifosato apresenta grande toxicidade, exceto em caules subterrâneos. Entre os efeitos em seres humanos, são citados: dermatite de contato e síndrome tóxica após a ingestão de doses elevadas, ulceração ou lesão de mucosa gástrica, hipertermia, hipotensão, conjuntivite, edema orbital, arritmias cardíacas, pneumonite, elevação de enzimas hepáticas, aumento da quantidade de leucócitos, acidose metabólica e hipercalcemia. (Amarante Júnior *et al.*, 2002).

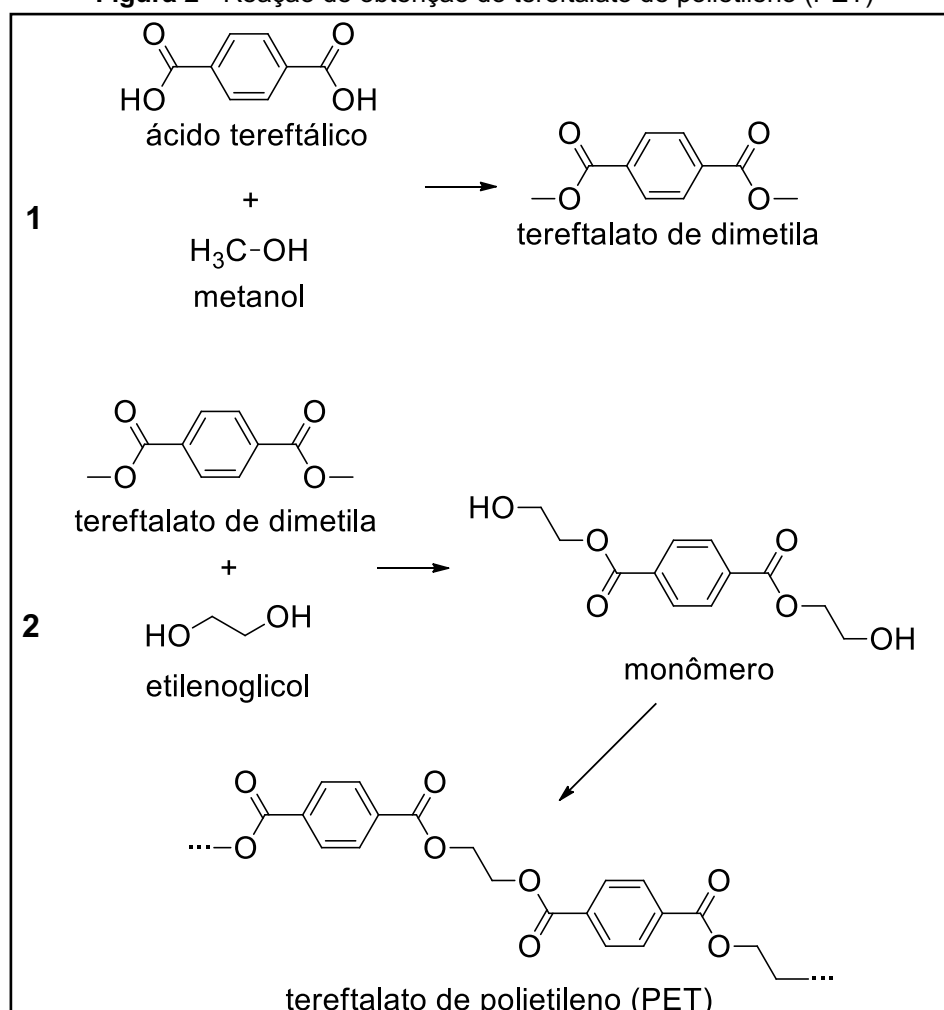
No Brasil, muitos cultivos de algodão operam fora de qualquer acordo ou certificação estadual, nacional ou internacional, resultando em práticas agrícolas sem suporte técnico adequado e sem a orientação de agrônomos. Isso leva a uma utilização ineficiente de agrotóxicos e plantações que não seguem a legislação vigente (Witkoski; Morgenstern, 2021).

FIBRAS QUÍMICAS

As fibras químicas podem ser classificadas em fibras artificiais, como a viscose, modal e acetato, que são produzidas a partir de modificações químicas da celulose; e fibras sintéticas, como poliéster, poliamida e acrílico, que são confeccionadas a partir de matérias-primas provenientes do petróleo (Mesacasa; Deminski, 2022).

As fibras sintéticas possuem diversas características gerais que as tornam amplamente utilizadas na indústria têxtil. Essas fibras são altamente valorizadas por sua versatilidade, alta resistência à ruptura, estabilidade dimensional, que impede o encolhimento do tecido, e pela resistência a insetos e bolor que pode afetar as fibras naturais. Além disso, elas apresentam baixo poder de absorção de umidade, o que as torna mais adequadas para aplicações onde a retenção de água não é desejada, como roupas esportivas e uniformes. As fibras sintéticas também são menos suscetíveis às oscilações de produção que afetam as fibras naturais, como as colheitas de algodão, o que assegura uma produção mais estável e previsível (Mesacasa; Deminski, 2022).

O poliéster é uma das principais fibras sintéticas, representando mais da metade da produção global anual de fibras (Gonzalez; Lou; Chi, 2023). É sintetizado, principalmente, por transesterificação do tereftalato de dimetila com etilenoglicol. Inicialmente, o ácido tereftálico reage com metanol, produzindo o tereftalato de dimetila, que por sua vez reage com etilenoglicol, na presença de um catalisador a 150-210°C, gerando um monômero, que é, então, combinado com ácido tereftálico e exposto a 280°C, formando o poliéster (**Figura 2**), ou tereftalato de polietileno, popularmente conhecido como PET (Hossain, 2013).

Figura 2 - Reação de obtenção do tereftalato de polietileno (PET)


Fonte: os autores.

Após a formação da fibra, a mesma é extrudada em fitas, resfriado e quebrado em lascas. As lascas são fundidas a 260-270°C, criando uma solução que é moldada em fibras por uma fieira. O formato e o tamanho do fio dependem dos orifícios da fieira, e aditivos podem ser incorporados para conferir propriedades como resistência ao fogo e facilitação de tingimento. Ao sair da fieira, o poliéster, ainda macio, é alongado para alinhar suas moléculas, aumentando a resistência. As fibras passam por secagem, texturização ou torção, ganhando características como maciez e opacidade. Por fim, são enroladas em bobinas, prontas para tecelagem (Hossain, 2013).

Apesar do seu uso em larga escala, o poliéster causa impactos ambientais, uma vez que depende de recursos não renováveis, como o petróleo, e de processos com alto consumo de energia, que resultam em altas emissões de dióxido de carbono

(CO₂). A etapa de produção pode exigir até 125 MJ/kg de fibra de poliéster. (Gonzalez; Lou; Chi, 2023).

Outro problema ambiental significativo das fibras sintéticas é a liberação de microplásticos, pedaços de 1 µm (micron) a 5 mm (milímetros) de polímeros sintéticos (O'Brien *et al*, 2020). Cerca de 35% de todos os microplásticos que circulam pelos oceanos são ocasionados pela lavagem de tecidos sintéticos (Mesacasa; Deminski, 2022). Este impacto ambiental é um dos desafios críticos da indústria têxtil atual, pois os microplásticos não se degradam facilmente e se acumulam nos ecossistemas aquáticos.

Estudos afirmam que microplásticos foram detectados no ar atmosférico, praias, superfície dos oceanos, sedimentos marinhos, gelo marinho, lagos de água doce, sedimentos de água doce e solos, incluindo áreas urbanas e regiões remotas, como o Ártico e altitudes elevadas. Além disso, microplásticos foram identificados nos tratos gastrointestinais de diversos organismos marinhos, e foram, também, encontrados no pulmão humano (O'Brien *et al*, 2020).

Uma vez que o poliéster é amplamente utilizado, suas microfibras são as mais encontradas em mares e oceanos (Mesacasa; Deminski, 2022).

CORANTES

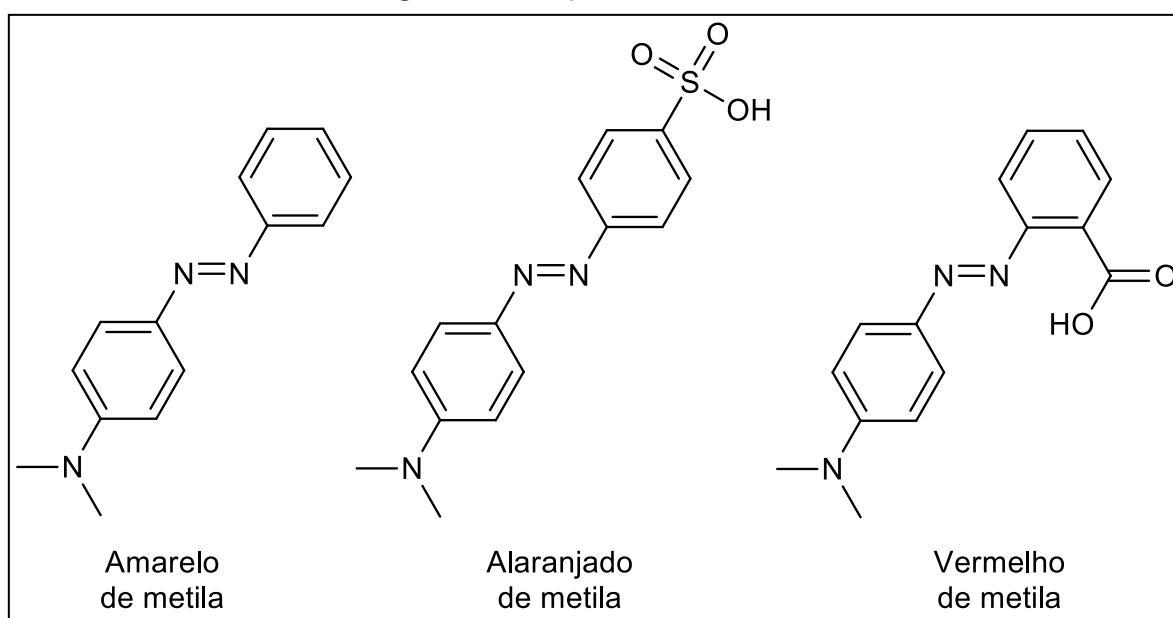
Corantes são substâncias utilizadas para adicionar cor a um substrato, como roupas, papel, couro ou outros objetos. Corantes têxteis, são compostos heterocíclicos aromáticos, que possuem diferentes grupos cromóforos como os grupos azo ($-N=N-$), nitro ($-N=O$), carbonil ($-C=O$) ou quinoides. São altamente resistentes à luz, água, produtos químicos, detergentes e à atividade microbiana, dificultando imensamente sua decomposição, gerando gastos para a indústria que precisa armazenar ou tratar esse resíduo ou efluente, ou quando descartado causa um considerável impacto ambiental (Kishor *et al*, 2021).

Atualmente são produzidas cerca de 800.000 toneladas de corantes sintéticos no mundo, sendo que cerca de 75% são consumidos pela indústria têxtil. Durante o processo de tingimento, nem todo o corante sintético é fixado no tecido e o corante não fixado é liberado no meio ambiente através de águas residuais (Pizzicato *et al*.,

2023). Mundialmente, são liberadas cerca de 280.000 toneladas de corantes sintéticos das indústrias têxteis para o meio ambiente (Kishor *et al*, 2021).

Os principais corantes empregados na indústria têxtil são os corantes azo (Kishor *et al*, 2021). Esses apresentam em sua estrutura um ou mais grupos do tipo ($-N=N-$) acoplado com dois sistemas aromáticos mono ou policíclicos (**Figura 3**). Diferentes substituições no anel aromático causam diferentes graus de conjugação no sistema azo (Figura 3), resultando em variações de cor, o que permite diversas aplicações para essa classe de corantes (Eltaboni *et al*, 2022).

Figura 3 - Exemplos de corantes azo.



Fonte: os autores.

As indústrias têxteis geram grande quantidade de água residual colorida, que geralmente apresenta alta demanda biológica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos e dissolvidos e uma variedade de metais tóxicos, utilizados na preparação de alguns corantes, além de uma mistura complexa de outras substâncias como aditivos, detergentes, surfactantes, mordentes, fixadores e produtos químicos de acabamento.

Se águas residuais não tratadas ou parcialmente tratadas são descartadas diretamente em fontes aquáticas, causando a coloração dessa água, há a redução da fotossíntese de plantas aquáticas, devido a diminuição da penetração da luz solar, além do aumento do oxigênio dissolvido, afetando a fauna e a flora aquática (Kishor *et al*, 2021).

Os corantes têxteis podem causar efeitos citotóxicos, mutagênicos e carcinogênicos em plantas, micro-organismos, peixes, e até mesmo em células de mamíferos, além de reações alérgicas e efeitos em diferentes órgãos, como fígado, rins e cérebro de animais e humanos. Os corantes azo e seus produtos de degradação podem causar problemas graves de saúde, como hemorragia, náusea e ulceração da pele, além de serem carcinogênicos. (Kishor *et al*, 2021).

METODOLOGIAS ALTERNATIVAS

Os aspectos negativos ocasionados pela intensa dispersão de agroquímicos, impulsionou a pesquisa de medidas para mitigar o impacto ocasionado pelos agrotóxicos.

Entre essas medidas, é possível destacar o uso de biopesticidas, que são pesticidas derivados de materiais naturais como plantas, animais, fungos, bactérias ou minerais, a fim de combater pragas e doenças de maneira seletiva, afetando com maior especificidade seu alvo, sendo menos prejudiciais a invertebrados benéficos à plantação, além de pássaros e mamíferos da fauna local. Os biopesticidas também apresentam como vantagens o uso em pequenas concentrações e rápida degradação, o que reduz o tempo de exposição comparado aos pesticidas convencionais (Ribeiro *et al*, 2022).

A lagarta-do-algodão (*Helicoverpa armigera*), é uma das principais pragas da cotonicultura e um dos biopesticidas que pode ser utilizado para seu combate é produzido a partir do *nucleopoliedrovírus múltiplo Autographa californica*, um vírus específico que não apresenta risco nenhum para a espécie humana, mas sim para as lagartas (Ribeiro *et al*, 2022).

Outra medida que tem se destacado é o uso de sensores e de Inteligências Artificiais para a detecção precisa da ocorrência de pragas e a aplicação inteligente dos agrotóxicos, diminuindo significativamente a quantidade utilizada e otimizando o processo de eliminação das mesmas. Essa é uma alternativa que auxilia na mitigação do impacto ambiental e que também é eficiente para o manejo geral do cultivo, além do controle das pragas e de doenças, pode garantir o monitoramento dos produtos agrícolas e controle de armazenamento, manejo do solo e irrigação, manejo de ervas daninhas e previsão de rendimento da colheita (Toscano-Miranda *et al*, 2022).

A utilização de poliéster reciclado obtido a partir de embalagens do tipo PET tem se mostrado uma alternativa eficaz para a redução dos impactos ambientais, uma vez que contribui para diminuir a demanda por novas matérias-primas e a extração de petróleo, processo altamente poluente. Em 2021, 56,4% das embalagens de PET descartadas pela população brasileira foram recicladas, um crescimento de 15,4% comparado com o volume registrado em 2019. O PET reciclado é consumido, principalmente, pelo setor de pré-formas e garrafas (29%), seguido do setor da indústria têxtil (25%) (ABIPET, 2021). Empresas desse setor têm adotado cada vez mais o poliéster reciclado em seus materiais. Um exemplo, é a Nike, fornecedora de materiais esportivos, que em 2018, produziu os uniformes da seleção brasileira para a copa do mundo a partir do poliéster reciclado das garrafas PET e que utiliza cerca de 75% de fibras recicladas em seus materiais (Santos, 2021).

Os corantes naturais são uma alternativa mais sustentável para a indústria têxtil, sendo considerados amigáveis ao meio ambiente (eco-friendly), uma vez que são obtidos a partir de fontes renováveis e são biodegradáveis. As fontes de corantes naturais são plantas (como índigo e ruiva), minerais (como ocre e argila), animais (como cochonilha e algumas espécies de moluscos) e micro-organismos, sendo as plantas a fonte mais comum. Estudos têm mostrado que os corantes naturais podem conferir propriedades funcionais às fibras têxteis, como propriedades antibacterianas, antifúngicas, de proteção UV e repelentes de insetos, de acordo com as substâncias bioativas presentes na planta considerada (Pizzicato *et al.*, 2023).

No entanto, o uso de corantes naturais pela indústria apresenta desafios significativos. O processo de tingimento com corantes naturais é geralmente mais longo e caro e, assim como as fibras naturais, envolve um cultivo que depende de vastas áreas de terra fértil e do uso de agrotóxicos. Além disso, os corantes naturais apresentam baixa afinidade com muitas fibras têxteis, dificuldades na reprodução de tonalidades, baixa absorção de corante e intensidade de cor, o que requer o uso de substâncias mordentes, como sais metálicos, que muitas vezes não são sustentáveis (Pizzicato *et al.*, 2023).

Em busca de soluções mais eficientes e sustentáveis, surge uma nova abordagem: corantes biogênicos, produzidos por micro-organismos, por meio de processos fermentativos de menor impacto ambiental, principalmente por utilizar

matérias-primas renováveis, como açúcares, glicerol e ácidos, em vez de derivados de petróleo. Além disso, a fermentação ocorre em condições mais brandas, como temperatura e pH moderados, o que consome menos energia do que processos petroquímicos. Os corantes biogênicos também apresentam como vantagens a diversidade de estruturas químicas, permitindo cores variadas e a produção de derivados; possibilidade de otimização estrutural via engenharia genética, aumentando a produção, ajustando a tonalidade ou melhorando a estabilidade do corante; potencial para utilização de resíduos agroindustriais como fonte de carbono; e maior biodegradabilidade (Fried *et al.*, 2022).

Contudo, a aplicação dos corantes biogênicos em larga escala apresenta limitações, como baixos rendimentos produtivos, paleta de cores restrita, menor estabilidade frente às condições industriais de tingimento, dificuldades em relação à fixação e solidez da cor, além da falta de estudos toxicológicos e ecotoxicológicos robustos que comprovem a segurança ambiental desses corantes. Portanto, a consolidação industrial dos corantes biogênicos depende de avanços técnicos, econômicos e regulatórios que minimizem essas limitações (Fried *et al.*, 2022).

CONCLUSÃO

Diante do que foi discutido, é possível concluir que os métodos adotados atualmente pela indústria têxtil causam uma série de impactos negativos ao meio ambiente, principalmente devido ao uso de compostos químicos nocivos e seu descarte inadequado. Esses processos contribuem para a poluição dos recursos hídricos e do solo, e também representam riscos significativos à saúde humana e à biodiversidade local.

Embora o cenário atual seja marcadamente negativo em termos de sustentabilidade, a análise revelou alternativas para cada um dos processos discutidos, incluindo a otimização de processos utilizando novas ferramentas computacionais e recursos biológicos, a reutilização de materiais descartados e o desenvolvimento de matérias-primas mais sustentáveis.

Além disso, a implementação de tecnologias mais limpas e de sistemas de economia circular aponta para uma evolução no setor. Políticas públicas que incentivem práticas sustentáveis, aliadas a investimentos em pesquisa e

desenvolvimento, podem acelerar a transição para metodologias de produção que minimizem os impactos ambientais e promovam um equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

AMARANTE JUNIOR, Ozelito Possidônio de. *et al.* Glifosato: Propriedades, toxicidade, usos e legislação. **Química Nova**, v. 25, n. 4, p. 589-593, Jul. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422002000400014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/Z9DJG6fy8ZQR79ch8cdxwVP/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 06 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO PET – ABIPET. **Reciclagem**. 2021. Disponível em: <https://abipet.org.br/reciclagem/>. Acesso em: 17 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO - ABIT. **Indústria têxtil e de confecção brasileira - cenários, desafios, perspectivas e demandas**. 2013. Disponível em: <http://abit-files.abit.org.br/site/publicacoes/cartilha.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA TÊXTIL E DE CONFECÇÃO - ABIT. **Perfil do Setor**. 2025. Disponível em: <https://www.abit.org.br/cont/perfil-do-setor>. Acesso em: 04 nov. 2025.

BRAIBANTE, Mara Elisa Fortes; ZAPPE, Janessa Aline Zappe. A química dos agrotóxicos. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 1, p. 10-15, Fev. 2012. Disponível em: https://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc34_1/03-QS-02-11.pdf. Acesso em: 05 nov. 2025.

DOYLE, Emma K.; PRESTON, James W. V.; MCGREGOR, Bruce A.; HYND, Phil. I. The science behind the wool industry. The importance and value of wool production from sheep. **Animal Frontiers**, v. 11, n. 2, p. 15-23, Mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1093/af/vfab005>. Disponível em: <https://academic.oup.com/af/article/11/2/15/6276818>. Acesso em: 04 nov. 2025.

ELTABONI, Fateh. *et al.* Chemistry and applications of azo dyes: A comprehensive review. **Journal of Chemical reviews**, v. 4, n. 4, p. 313-330, 2022. DOI: <https://doi.org/10.22034/jcr.2022.349827.1177>. Disponível em: https://www.jchemrev.com/article_154655.html.

FRIED, Richard. *et al.* Biogenic colourants in the textile industry – a promising and sustainable alternative to synthetic dyes. **Green Chemistry**, v. 24, n.1, p. 13-35, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1039/d1gc02968a>. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2022/gc/d1gc02968a>. Acesso em: 17 nov. 2025.

FROTA, Maria Tereza Borges Araujo; SIQUEIRA, Carlos Eduardo. Agrotóxicos: os venenos ocultos na nossa mesa. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 37, n. 2, e00004321, Fev. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00004321> Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csp/2021.v37n2/00004321>. Acesso em: 06 nov. 2025.

GONZALEZ, Victoria; LOU, Xingqiu; CHI, Ting. Evaluating environmental impact of natural and synthetic fibers: A life cycle assessment approach. **Sustainability**, v. 15, n. 9, 7670, May 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15097670>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/9/7670>. Acesso em: 13 nov. 2025.

HAAS, Peterson; HOEHNE, Lucélia; KUHN, Daniel. Revisão: Avaliação dos efeitos do glifosato no ecossistema agrícola e sua toxicidade para a saúde humana. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 10, n. 4, p. 82-90, Dez. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v10i4a2018.2014>. Disponível em: <https://univates.br/revistas/index.php/destaques/article/view/2014>. Acesso em 06 nov. 2025.

HESS, S. C.; NODARI, R. O. Agrotóxicos no Brasil: Panorama dos produtos aprovados entre 2019 e 2022. **Ambientes em Movimento**, v. 2, n. 2, p 39-52, Dez. 2022. ISSN: 2764-3034. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/am/issue/view/353>. Acesso em: 05 nov. 2025.

HOSSAIN, Sohel. Polyester Fiber: Properties, Manufacturing and Applications. **Textile Learner**. 25 Oct. 2013. Disponível em: <https://textilelearner.net/polyester-fiber-properties-manufacturing/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE - IBAMA. **Relatórios de comercialização de agrotóxicos**. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/quimicos-e-biologicos/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos#boletinsanuais>. Acesso em: 05 nov. 2025.

KISHOR, Roop. *et al.* Ecotoxicological and health concerns of persistent coloring pollutants of textile industry wastewater and treatment approaches for environmental safety.” **Journal of environmental chemical engineering**, v. 9, n. 2, 105012, Apr. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.105012>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343720313610>. Acesso em: 16 nov. 2025.

KOSIKOWSKA, Monika.; BIZIUK, Marek. Review of the determination of pesticide residues in ambient air. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 29, n. 9, p. 1064-1072, Oct. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2010.06.008>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993610001913>. Acesso em: 06 nov. 2025.

MENEGON, Elizangela Maria Pas.; POLI, Odilon Luiz.; MAZZIONI, Sady. Inovação na indústria do segmento têxtil: um estudo sobre o perfil da produção científica

nacional e internacional. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 4, p. 1093-1115, Jul.-Set. 2018. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv4n4-159>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/159/139>. Acesso em: 04 nov. 2025.

MESACASA, Andréia; DEMINSKI, Carla Carolina Deola. Fibras têxteis sintéticas e a liberação de microplásticos: Uma revisão. **Mix sustentável**, v. 9, n. 1, p. 80-90, Dez. 2022. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n1.80-90>. Disponível em: <https://ojs.sites.ufsc.br/index.php/mixsustentavel/article/view/5434>. Acesso em: 07 nov. 2025.

NAHRING, Hiana. **A política do carbono zero e os desafios da indústria têxtil para a neutralização na emissão de CO₂**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Têxtil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Ciências Exatas e Educação, Departamento de Engenharia Têxtil, Blumenau, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/244929>. Acesso em: 04 nov. 2025.

O'BRIEN, Stacey. *et al.* Airborne emissions of microplastic fibres from domestic laundry dryers. **Science of The Total Environment**, v. 747, 141175, Dec. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141175>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720347045>. Acesso em: 09 nov. 2025.

PIZZICATO, Barbara. *et al.* Advancements in sustainable natural dyes for textile applications: A review. **Molecules**, v. 28, n. 16, 5954, Aug. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules28165954>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/16/5954>. Acesso em: 13 nov. 2025.

RIBEIRO, Luiz Augusto de Oliveira. *et al.* Panorama sobre o uso de agrotóxicos no Brasil (2009-2019): Riscos, Benefícios e Alternativas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 10, n. 2, p. 189-203, Jul. 2022. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7321799>. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/1240>. Acesso em: 16 nov. 2025.

SANTOS, Vinícius Lemos dos. **Produção de fios de poliéster a partir do Poli(etileno tereftalato): análise de viabilidade**. 2021. Monografia (Especialização em Gestão de Processos Químicos Industriais) – Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/items/f7bf9678-bac1-4327-a8c0-48604277764e>. Acesso em: 17 nov. 2025.

SANTOS, Fernanda Pereira dos. **Indicadores de desenvolvimento sustentável pela caracterização química e tecnológica de corantes, efluentes e lodos provenientes do polo têxtil de Pernambuco**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2023. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/9142>. Acesso em: 04 nov. 2025.

SILVA, Flavia Martins da; LACERDA, Paulo Sérgio Bergo de; JONES JUNIOR, Joel. Desenvolvimento sustentável e Química verde. **Química Nova**, v. 28, n. 1, p. 103-110, Fev. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000100019>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/gS7t9QZV77mjSt4qLwwYCLf/>. Acesso em: 04 nov. 2025.

TOSCANO-MIRANDA, R. *et al.* Artificial-intelligence and sensing techniques for the management of insect pests and diseases in cotton: a systematic literature review. **The Journal of Agricultural Science**, v. 160, n. 1-2, p. 16-31, May 2022. DOI: <https://doi.org/10.1017/S002185962200017X>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-agricultural-science/article/artificialintelligence-and-sensing-techniques-for-the-management-of-insect-pests-and-diseases-in-cotton-a-systematic-literature-review/66754311D1477771820808139657E338>. Acesso em: 16 nov. 2025.

TRAIANO, Heloísa. Coração do algodão no Brasil pulsa sob efeito de agrotóxicos. **Deutsche Welle**. 13 maio 2025. Natureza e meio ambiente – Brasil. Disponível em: <https://www.dw.com/pt-br/algod%C3%A3o-brasileiro-chega-a-p%C3%B3dio-exportador-com-agrot%C3%B3xicos/a-72440034>. Acesso em: 05 nov. 2025.

WITKOSKI, Silvana Silva Reiter; MORGENSTERN, Elenir Carmem. Tecidos de algodão no contexto da moda: classificação quanto ao impacto ambiental. **Modapalavra e-periódico**, v. 14, n. 34, p. 61-84, Out./Dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.5965/1982615x14342021061>. Disponível em: <https://periodicos.udesc.br/index.php/modapalavra/article/view/17720>. Acesso em: 7 nov. 2025.