

Práticas Sustentáveis na Fabricação do Jeans**Ana Elis Braz Farias****Izabelly Letícia da Silva Santos****Rafael Roney Camara de Melo**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Caruaru

rafael.melo@caruaru.ifpe.edu.br

Resumo

O presente estudo revisa tecnologias sustentáveis e estratégias de economia circular aplicadas à cadeia produtiva do denim, com ênfase no polo têxtil de Caruaru, Pernambuco. A pesquisa tem como objetivo identificar soluções viáveis para mitigar os impactos ambientais do setor, notadamente os associados ao elevado consumo de água e à geração de efluentes com alta carga orgânica, alcalinidade e salinidade, fatores que dificultam o tratamento convencional. O método utilizado baseou-se em revisão técnica e bibliográfica de processos ecológicos e tecnologias emergentes, avaliando sua adequação às condições socioeconômicas e ambientais regionais. Os resultados apontam que alternativas de baixo custo, como zonas de alagamento construídas e uso de biocoagulantes, apresentam vantagens operacionais, porém são insuficientes frente à elevada salinidade dos efluentes. Tecnologias avançadas, como Processos Oxidativos Avançados associados à fotocatalise solar e sistemas de membranas para reúso total de água e recuperação de sais, mostram-se eficazes, mas exigem alto investimento e operação consorciada para atender às pequenas e médias empresas predominantes no polo. Além disso, práticas de prevenção na fonte, incluindo a redução do uso de sais no tingimento e a substituição por corantes naturais, como índigo, urucum e jenipapo, bem como a adoção de detergentes biodegradáveis, revelam potencial para diminuir a carga poluente e estimular a bioeconomia local. Conclui-se que a sustentabilidade do polo denim de Caruaru depende de uma abordagem integrada, combinando redução de insumos nocivos, reaproveitamento de água e subprodutos, eficiência energética e arranjos institucionais coletivos. A articulação entre políticas públicas, financiamento, pesquisa aplicada e capacitação produtiva é essencial para que a região se consolide como referência em moda sustentável, alinhando competitividade e responsabilidade socioambiental.

Palavras-chave: Denim. Economia Circular. Efluentes Têxteis. Sustentabilidade. Caruaru.**Introdução**

A indústria de confecções e denim estabeleceu-se como um pilar socioeconômico fundamental no Agreste de Pernambuco, com o polo de Caruaru e seu entorno desempenhando um papel central na produção nacional de vestuário (Jeitosa, 2018; Costa et al., 2016). Contudo, a

rápida expansão desta atividade, especialmente a produção de denim, gera uma pressão ambiental insustentável, sobretudo em uma região caracterizada pela escassez hídrica crônica do semiárido brasileiro (Araújo; Silva, 2020).

A estrutura industrial local é marcada pela fragmentação e por uma alta concentração de produtores de pequeno e médio porte. Essa dispersão e o limitado acesso a capital e capacidade técnica pelos produtores representam um obstáculo significativo à conformidade ambiental (Santos; Albuquerque, 2021; Costa et al., 2016). A adoção individual de sistemas de tratamento de efluentes complexos e de alto custo de capital se torna financeiramente inviável para a maioria dos produtores, impondo a necessidade de soluções de baixo custo operacional, baseadas em recursos locais e implementadas por meio de arranjos coletivos e consorciados (Santos; Albuquerque, 2021).

O desafio é agravado pela intrínseca intensidade hídrica do setor. A produção de denim requer volumes expressivos de água, variando tipicamente entre 50 a 300 litros por quilograma de tecido processado (Brites et al., 2016). Em um cenário de estresse hídrico severo, onde a água é extraída primariamente de rios e reservatórios superficiais, a otimização hídrica, o reúso de água e a máxima eficiência tornam-se não apenas requisitos ambientais, mas imperativos econômicos (Araújo; Silva, 2020).

O efluente gerado pelo processamento do denim, particularmente nas etapas de tingimento e acabamento, possui características físico-químicas que o tornam altamente recalcitrante ao tratamento convencional, com alta alcalinidade (pH 9–12) e elevada carga orgânica (Brites et al., 2016; Oliveira, 2022).

A complexidade técnica do tratamento decorre da presença de uma "Tripla Barreira Técnica" simultânea que impede a eficácia de soluções de tratamento simples e de baixo custo, como os sistemas biológicos convencionais:

1. Elevada cromaticidade e recalcitrância: O uso predominante de corantes Azo e Reativos, essenciais no processo de tingimento, resulta em intensa poluição visual e introduz carga orgânica que é altamente resistente à degradação biológica. A estrutura molecular desses corantes exige processos de oxidação energética para sua quebra.

2. Alcalinidade: O pH elevado (9–12) proveniente do uso de soda cáustica e outros auxiliares químicos requer uma etapa de neutralização custosa, a qual deve ser realizada antes de qualquer tratamento biológico ou avançado, sob pena de comprometer o desempenho dos reatores.

3. Salinidade extrema (Sólidos dissolvidos totais): O desafio mais crítico para a região de Caruaru e para a sustentabilidade da água é a alta salinidade. O uso de corantes como o Índigo e o Enxofre Preto exige a adição de grandes quantidades de Sulfato de Sódio (Na_2SO_4) e Cloreto de Sódio (NaCl) para garantir a fixação da cor. Consequentemente, o efluente de denim apresenta concentrações elevadas de Sólidos dissolvidos totais (SDT), variando entre 5.000 e 20.000 mg/L.

Metodologia

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, exploratória e de revisão aplicada, voltada à análise de práticas e tecnologias sustentáveis, e estratégias de economia circular na cadeia produtiva do denim, com enfoque no polo têxtil de Caruaru, Pernambuco. A metodologia adotada baseou-se em quatro etapas principais.

Primeiramente, realizou-se uma revisão bibliográfica de casos relacionados ao tratamento de efluentes têxteis, com ênfase no segmento do denim. Foram consideradas publicações nacionais e internacionais, priorizando aquelas que abordam tecnologias de baixo custo, processos oxidativos avançados, sistemas de membranas, corantes naturais e detergentes biodegradáveis.

Na segunda etapa, procedeu-se a uma análise técnica comparativa das alternativas identificadas, sistematizada em uma matriz de viabilidade que contemplou critérios de eficiência na remoção de poluentes (cor, DQO e sais), consumo energético, custos de implantação e operação, adequação ecológica e aplicabilidade em pequenas e médias empresas, predominantes no polo de Caruaru.

A terceira etapa consistiu na adaptação contextual das tecnologias revisadas às condições socioambientais da região semiárida do Agreste Pernambucano, considerando a escassez hídrica crônica, a fragmentação produtiva e as limitações econômicas e técnicas do setor. Essa análise permitiu a proposição de um roteiro prático de implementação, com medidas sequenciais que incluem prevenção na fonte, segregação de efluentes, pré-tratamento descentralizado e adoção de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) consorciadas.

Por fim, a metodologia incorporou a avaliação institucional e de políticas públicas, destacando

instrumentos de financiamento, incentivos fiscais e mecanismos de governança que possam viabilizar a transição para práticas mais sustentáveis. Essa abordagem integrada possibilitou construir recomendações aplicáveis, conciliando inovação tecnológica, competitividade produtiva e responsabilidade socioambiental.

Resultados e Discussão

As tecnologias de tratamento devem ser avaliadas sob a ótica da sustentabilidade, priorizando a redução do consumo de energia, a utilização de recursos locais e a viabilidade econômica para pequenas e médias empresas. Em Caruaru, essa avaliação deve obrigatoriamente considerar a "Tripla Barreira Técnica", especialmente a salinidade.

As Zonas de Alagamento construídas, também chamadas de "wetlands" são classificadas como soluções baseadas na natureza, oferecendo um modelo de tratamento de efluentes intrinsecamente ecológico. Sua principal atratividade reside no baixo custo operacional, na reduzida demanda energética e na capacidade de utilizar recursos vegetais e solos locais. Estes sistemas demonstraram uma boa capacidade de remoção de cor e de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) em efluentes têxteis.

No entanto, a eficácia das wetlands é criticamente limitada no contexto específico do efluente resultante do denim. Devido ao alto teor salino presente no efluente não segregado, a eficiência das wetlands é drasticamente comprometida. A alta salinidade induz um severo estresse osmótico e subsequente inibição microbiana, prejudicando os processos de degradação orgânica e descoloração. Conclui-se, portanto, que, em Caruaru, as wetlands não seriam adequadas como tratamento principal para o efluente bruto de denim. Sua aplicação se restringe a sistemas de polimento ou pós-tratamento, viáveis somente após a remoção da carga de sal e da alcalinidade por um pré-tratamento químico ou físico-químico adequado.

Processos de Coagulação e Floculação Sustentável

Os processos de coagulação e floculação são essenciais para o pré-tratamento do efluente, desempenhando o papel de neutralização da alcalinidade (pH 9–12) e remoção eficiente de corantes insolúveis e sólidos suspensos. Para alinhar essa etapa aos princípios ecológicos, a abordagem deve focar na substituição dos coagulantes químicos inorgânicos tradicionais (sais de ferro e alumínio, que geram grande volume de lodo) por polímeros orgânicos ou biocoagulantes. O uso de extratos

vegetais (ex: sementes) ou quitosana, por exemplo, reduz a toxicidade do processo, minimiza a formação e o volume de lodo gerado, e representa uma alternativa de menor impacto ambiental.

Tecnologias Avançadas e Híbridas

Para enfrentar a recalcitrância orgânica e a salinidade extrema, exigências do reúso de alto grau, são necessárias tecnologias avançadas que, devido ao seu custo e complexidade, são estritamente viáveis apenas quando implementadas em escala consorciada.

O Processo Oxidativo Avançado (POA) é essencial para eliminar a carga orgânica difícil de degradar e remover a cor que sobra dos corantes Azo e reativos. Tipicamente, os POAs (como o ozônio ou /UV) são processos intensivos em energia, o que contraria o princípio de sustentabilidade de baixo consumo energético.

No entanto, o Nordeste brasileiro oferece uma solução ecológica através da alta incidência solar, um recurso local abundante. A integração da Fotocatálise Solar (utilizando) com o tratamento de efluentes têxteis enquadra-se perfeitamente nos critérios de "filtro ecológico" e "baixo consumo de energia". Estudos demonstram que esta tecnologia é econômica, ambientalmente amigável e capaz de alcançar uma alta remoção de cor, ultrapassando 95%. A utilização da energia solar para alimentar os reatores POA mitiga drasticamente o custo operacional (eletricidade).

A remoção dos Sólidos Totais Dissolvidos (SDT), sobretudo os sais (sódio, cloreto, sulfato), é a etapa final necessária para produzir água de qualidade adequada ao reúso primário (o tingimento propriamente dito). Tecnologias de separação por membrana, como a Osmose Inversa (RO) ou a Eletrodialise Reversa (EDR), são os únicos métodos capazes de realizar essa função.

Embora essas tecnologias exijam alto investimento e alto consumo energético, sua implementação é crucial para o fechamento do ciclo hídrico no semiárido. Além disso, os sistemas de membrana abrem a porta para a economia circular através da recuperação de subprodutos. O efluente de rejeito, altamente concentrado em sais, pode ser submetido a processos de cristalização. Isso transforma o principal poluente (TDS) em um subproduto comercializável (sais purificados) que pode ser reintroduzido na cadeia produtiva. A viabilidade econômica e operacional dos sistemas de membrana é estritamente condicionada à sua aplicação em arranjos consorciados. Além disso, a possibilidade de investimentos em energia solar fotovoltaica poderia minimizar os impactos do consumo de energia para esse tipo de tratamento.

A matriz comparativa (Quadro 1) sintetiza a aplicabilidade e as limitações das tecnologias de tratamento ecológico no contexto de Caruaru e região, reconhecendo a necessidade de integrar as opções de baixo custo com as de alta eficiência.

Quadro 1 - Matriz comparativa de tecnologias de tratamento para efluentes do denim.

Tecnologia	Vantagens	Desvantagens / Limitações em Caruaru e região	Eficiência (Cor / Sal)	Adequação para Pequenas e médias empresas
Wetlands	Baixo consumo de energia; uso de recursos locais; boa remoção de cor e DQO como polimento.	Requer grande área; altamente sensíveis à salinidade; não funcionam bem com carga tóxica elevada.	Média/Alta (Cor/DQO); Baixa (Sal)	Média (apenas como polimento)
POA	Alta eficiência para compostos recalcitrantes; remove mais de 95% da cor; aproveita energia solar local.	Alto custo de capital; exige pré-tratamento químico rigoroso (neutralização de pH).	Alta (Cor/DQO); Baixa (Sal)	Baixa (individual); Alta (consorciada)
(RO/EDR)	Única opção para remover sais (TDS) e viabilizar reúso primário; permite recuperar sais como subproduto.	Alto custo de implantação e operação; gera rejeito salino concentrado.	Alta (Cor/DQO/Sal)	Baixa (apenas consorciada)

Fonte: Autores (2025).

A Estratégia Integrada De Mitigação De Impactos: Do Processo Ao Pós Tratamento

A solução para a sustentabilidade da indústria do denim de Caruaru não pode se limitar ao tratamento de efluentes, mas deve ser holística, priorizando a prevenção e a eficiência, essenciais para a gestão da água no semiárido. A sustentabilidade da indústria do denim em Caruaru deve ir além do tratamento de efluentes, priorizando ações preventivas e integradas. O primeiro passo é a redução na fonte, com otimização dos banhos, técnicas de baixo volume de líquido e substituição de sais como NaCl e Na₂SO₄, que são os principais responsáveis pela inviabilidade de tratamentos biológicos e de baixo custo.

O reúso de água é obrigatório diante da escassez hídrica regional. Ele pode ocorrer em dois

níveis:

- Reúso secundário: após tratamentos simples (biológicos ou wetlands integrados), para usos não críticos como lavagem de pisos ou descargas sanitárias.
- Reúso primário: exige remoção completa de cor e sais, com Processos oxidativos avançados (POA) e membranas, garantindo qualidade para o tingimento.

A economia circular deve ser aproveitada por meio da recuperação de sais concentrados em rejeitos de membranas e do reaproveitamento de lodos tratados, que podem servir como insumo agrícola ou energético. Por fim, destaca-se a importância da eficiência energética no processo de tratamento, priorizando o uso de fontes renováveis como a radiação solar em reatores POA, além da implantação de programas de gestão de resíduos sólidos e reciclagem de retalhos têxteis e embalagens químicas.

Implicações de Política e Arranjos Institucionais para Caruaru

A estrutura fragmentada das pequenas e médias empresas de fabricação jeans em Caruaru dificulta a conformidade ambiental e o uso de tecnologias avançadas de tratamento. Por isso, a criação de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs) coletivas/consorciadas é considerada essencial. Apenas a centralização permite viabilizar processos de alto custo, como membranas e POA solar, garantindo eficiência e reúso seguro.

Para superar barreiras financeiras, é necessário adotar modelos de financiamento específicos: linhas de crédito subsidiadas (BNB, FINEP, BNDES) para investimento em ETEs consorciadas. Operação: incentivos fiscais para empresas que adotem práticas de redução na fonte e participem de consórcios; além de subsídios à instalação de energia solar para reduzir custos de operação.

A academia e centros de pesquisa devem contribuir com a adaptação de tecnologias às condições locais, como sistemas híbridos (wetlands e POA solar) e recuperação de sais. Já associações de classe e sindicatos têm papel central na difusão de conhecimento, capacitação técnica e incentivo à adoção de insumos sustentáveis, como corantes de baixo sal e biocoagulantes.

Corantes Naturais para o Tingimento de Jeans

O tingimento do denim está historicamente associado ao índigo. A retomada do índigo natural (*Indigofera suffruticosa*), cultivável no Nordeste, surge como alternativa sustentável de alto valor agregado. Além dele, outras espécies regionais apresentam potencial tintorial: urucum,

açafraão-da-terra (cúrcuma), jenipapo, pau-brasil (via manejo sustentável) e casca de cebola, que aproveita resíduos agroindustriais.

Os benefícios do uso de corantes naturais incluem menor toxicidade e maior biodegradabilidade, redução da carga poluente, valorização da agricultura familiar e fortalecimento da bioeconomia regional, além de criar um diferencial de mercado com produtos sustentáveis e culturais.

Por outro lado, apresentam limitações como menor estabilidade da cor (sensibilidade à luz e lavagens), custos iniciais mais elevados, dificuldade de padronização tonal e necessidade de mordentes para fixação.

Exemplos recentes mostram que empresas globais (como Patagonia e AS Colour) já adotaram linhas com corantes naturais. No Brasil, pesquisas do IFPE – Campus Belo Jardim vêm testando extratos de jenipapo e urucum em algodão, com resultados técnicos positivos para aplicação no denim.

Detergentes Biodegradáveis Aplicáveis em Caruaru e Região

A etapa de lavanderia do jeans é crítica na geração de efluentes, tradicionalmente marcada pelo uso de surfactantes sintéticos de alta toxicidade. Como alternativas sustentáveis, destacam-se:

- Detergentes à base de óleo de coco – produzem surfactantes não iônicos, altamente biodegradáveis e de baixa toxicidade.
- Sabão neutro vegetal – derivado de óleos como palma, dendê ou soja, é eficiente e biodegradável.
- Surfactantes naturais (saponinas) – extraídos de plantas do semiárido, apresentam potencial para lavagens menos agressivas.

Esses insumos podem ser produzidos regionalmente, aproveitando óleos vegetais residuais da cadeia de biodiesel, o que fortalece a economia circular.

As vantagens incluem menor impacto tóxico nos efluentes, rápida biodegradação, redução no tempo de tratamento e melhoria da saúde ocupacional dos trabalhadores. Entretanto, existem desafios, como custos de 20 a 50% superiores aos convencionais, menor estabilidade da espuma e, em alguns casos, eficiência reduzida em baixas temperaturas.

Experiências práticas já mostraram bons resultados: no Ceará, uma lavanderia industrial que substituiu gradualmente seus surfactantes por derivados do coco conseguiu reduzir em 40% a DQO de seus efluentes em dois anos.

Estratégias Integradas de Implementação:

A adoção de tecnologias sustentáveis pelas PMEs de Caruaru enfrenta barreiras econômicas, técnicas e de conhecimento. Para superá-las, é necessária uma estratégia integrada baseada em: Parcerias universidade-empresa – colaboração com instituições como IFPE, UFPE e IPA para desenvolver protocolos de extração de corantes naturais, testes piloto de cultivo (índigo e urucum) e aplicação em escala.

Cooperativas de fornecimento – organização de agricultores familiares para estruturar uma cadeia local de insumos tintoriais, fortalecendo a bioeconomia regional.

Políticas públicas de incentivo – a criação de um Selo Jeans Ecológico de Caruaru e linhas de crédito verde para modernização das lavanderias, estimulando a transição para insumos sustentáveis. Essa integração entre pesquisa aplicada, organização produtiva e apoio governamental visa reduzir custos, difundir práticas sustentáveis e consolidar o polo como referência em moda ecológica.

Recomendações Práticas para Implementação em Pequenas e Médias Empresas da Região

A sustentabilidade do polo de Caruaru deve seguir uma hierarquia: prevenção, tratamento coletivo de alta eficiência e polimento ecológico. Para as PMEs, recomenda-se um roteiro sequencial:

- Ação imediata – Redução na fonte: substituição obrigatória de corantes de alta carga salina, tornando o efluente mais fácil e barato de tratar;
- Segregação de fluxos: separar efluentes concentrados (tingimento) dos diluídos (lavagens), enviando apenas os mais críticos à ETE consorciada;
- Pré-tratamento individual (baixo custo): neutralização de pH e coagulação/floculação, de preferência com biocoagulantes, antes do envio ao sistema coletivo;
- Adesão consorciada: participação obrigatória das PMEs em ETES coletivas, onde tecnologias avançadas (POA solar, membranas) podem ser aplicadas com eficiência e fiscalização. Para otimizar instalações existentes ou futuras, sugere-se a instalação de reatores fotocatalíticos solares no pós-tratamento biológico e o uso de wetlands construídos apenas como etapa de polimento, após redução significativa da salinidade.

Quanto aos insumos, recomenda-se priorizar o índigo natural, urucum e jenipapo entre os corantes, e detergentes de óleo de coco ou sabões vegetais como substitutos sustentáveis nas

lavanderias. Projetos piloto, pesquisas sobre fixadores naturais de corantes e benefícios fiscais devem ajudar as empresas a fazer essa mudança.

Considerações finais

A cadeia produtiva do jeans em Caruaru, um dos principais polos têxteis do Brasil, enfrenta sérios desafios ambientais devido ao elevado consumo de água e à geração de efluentes com alta carga poluente. Esses efluentes apresentam uma “tripla barreira técnica”, caracterizada pela alcalinidade elevada, forte coloração recalcitrante e alta salinidade, o que inviabiliza o uso de métodos convencionais de tratamento e aumenta os custos de tecnologias avançadas. Nesse contexto, torna-se fundamental adotar uma estratégia integrada que combine prevenção, inovação tecnológica e arranjos institucionais. A redução na fonte, especialmente do uso de sais como cloreto e sulfato de sódio no tingimento, é a medida mais eficaz para viabilizar tratamentos de baixo custo, além de tornar possível o reúso da água em diferentes níveis. Tecnologias como processos oxidativos avançados alimentados por energia solar e sistemas de membranas podem assegurar a qualidade da água para o tingimento e, ao mesmo tempo, permitir a recuperação de sais, transformando um passivo ambiental em insumo econômico. Complementarmente, soluções baseadas na natureza, como wetlands construídos, podem atuar como etapas de polimento após a remoção dos contaminantes mais críticos. A transição sustentável também envolve a substituição gradual de insumos, como a adoção de corantes naturais provenientes de espécies locais (índigo, urucum, jenipapo) e detergentes biodegradáveis à base de óleos vegetais, fortalecendo a bioeconomia regional. No entanto, a fragmentação das pequenas e médias empresas exige a implantação de estações de tratamento de efluentes coletivas, viabilizadas por meio de financiamento subsidiado, incentivos fiscais e políticas públicas específicas. Nesse processo, a academia e as associações de classe desempenham papel essencial na pesquisa aplicada, na capacitação técnica e na difusão de boas práticas. Assim, a sustentabilidade do polo de Caruaru depende da combinação entre redução de impactos na fonte, reúso de água, eficiência energética e articulação institucional, capaz de transformar a região em referência global de moda sustentável alinhada à economia circular.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq pela concessão da bolsa que possibilitou a realização desta pesquisa.

Referências

- AMARAL, R. S. et al. Estudo de caso dos resíduos sólidos do denim e seus impactos ambientais. *Revistas Belas Artes*, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://revistas.belasartes.br/arte21/article/download/460/473/1462>. Acesso em: 15 ago. 2025.
- ANDRADE, R. M.; COSTA, J. P. da. Aproveitamento de óleos residuais da indústria de biodiesel para produção de sabões biodegradáveis no Nordeste brasileiro. *Revista de Engenharia Química e Sustentabilidade*, v. 5, n. 2, p. 45-58, 2021.
- ARAÚJO, L. P.; SILVA, F. G. da. Impactos dos efluentes têxteis nos recursos hídricos do semiárido: o caso do Rio Ipojuca. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 14, n. 3, p. 112-125, 2020.
- BARROS, J. C. A. et al. *Reativo ou pró-ativo? Pró-atividade ambiental das lavanderias de jeans em Caruaru-PE (Brasil)*. ResearchGate, 2024. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/348820172>. Acesso em: 22 set. 2025.
- BEZERRA, K. D.; FARIAS, I. M. S. Avaliação da solidez da cor em tecidos de algodão tingidos com extratos de Curcuma longa e Bixa orellana. *Revista Destaques Acadêmicos*, v. 12, n. 4, p. 120-135, 2020.
- BRITÉS, A. et al. Reestruturação na forma do tratamento de efluentes têxteis: uma proposta embasada em fundamentos teóricos. *Gestão & Produção*, São Carlos, v. 23, n. 2, p. 385-397, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/gp/a/mb5D7ftDz8b7qtJHXGsSsFj/>. Acesso em: 02 set. 2025.
- CARVALHO, B. S. et al. Tratamento físico-químico de efluente têxtil utilizando sulfato de alumínio, carvão e Moringa oleifera. *Revista Geama*, Serra Talhada, v. 6, n. 1, p. 119-129, 2020. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/download/2882/482483252/482488078>. Acesso em: 19 jul. 2025.
- CHAVES, M. F. *Toxicidade de corantes têxteis sintéticos e suas implicações para a saúde e o meio ambiente*. São Paulo: Blucher, 2019.
- COSTA, E. F. da et al. *A questão ambiental no polo de confecções de Caruaru: um primeiro ensaio à luz dos instrumentos econômicos de proteção ambiental*. ResearchGate, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/307845444>. Acesso em: 05 ago. 2025.
- GOMES, A. L. *Relatório de sustentabilidade: experiência de substituição de surfactantes em lavanderia industrial no Ceará*. Fortaleza: ABIT, 2020.
- GUPTA, V. K.; SUHAS, S. Application of low-cost adsorbents for dye removal – a review. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 8, p. 2313-2342, 2021.

JEITOSA, M. S. Análise competitiva do arranjo produtivo têxtil de Caruaru. *Revista de Economia Regional, Urbana e do Trabalho*, v. 7, n. 1, p. 78-95, 2018.

LIMA, T. C. *O retorno do anil: estudo agrônomo da Indigofera suffruticosa no Agreste Pernambucano*. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2017.

OLIVEIRA, J. F. de. *Prospecção e tratamento biológicos no efluente da lavanderia têxtil de Caruaru-PE*. 2022. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/47639>. Acesso em: 10 ago. 2025.

OLIVEIRA, P. R. *Surfactantes biodegradáveis à base de óleo de coco: caracterização e aplicação em detergentes têxteis*. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

PEREIRA, R. S. et al. Nonylphenol ethoxylates in textile wastewater: a review on environmental fate, toxicity, and regulations. *Environmental Pollution*, v. 292, Part B, 118291, 2022.

POMPEI, C. M. E. *Filtros ecológicos: um estudo da remoção de produtos farmacêuticos e de cuidados pessoais e do efeito da contaminação no biofilme*. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-15092016-130925/publico/TeseCarolineMocoErbaPompei.pdf>. Acesso em: 03 out. 2025.

ROCHA, M. F. *Saponinas de plantas do semiárido como agentes tensoativos naturais para aplicação têxtil*. 2019. Tese (Doutorado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SANTOS, J. P.; ALBUQUERQUE, M. F. Gestão de resíduos sólidos e efluentes líquidos no polo de confecções de Caruaru: desafios e oportunidades. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 26, n. 2, p. 345-355, 2021.

SANTOS, S. R. et al. *Avaliação do processo Fenton solar no tratamento de efluente gerado por lavanderia de jeans de Pernambuco*. Embrapa Semiárido, Petrolina, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/949812>. Acesso em: 29 set. 2025.

SILVA, L. O. et al. *Tingimento natural de algodão com extratos de jenipapo (Genipa americana) e urucum (Bixa orellana): parâmetros de qualidade*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TÊXTIL E MODA, 12., 2021, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte: ABEP, 2021.

SILVA, M. C. T. S.; BARROS, J. C. A. *Avaliação dos impactos ambientais no tratamento de efluentes têxteis que utilizam processos oxidativos avançados (POA): revisão da literatura sob a ótica da análise de ciclo de vida*. ResearchGate, 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/383151193>. Acesso em: 07 set. 2025.

SOUZA, A. M. Valorização de resíduos agroindustriais: a casca de cebola como fonte de corantes naturais para a indústria têxtil. *Revista de Inovação Tecnológica*, v. 8, n. 1, p. 22-35, 2022.

VALLE, C. E. *Educação ambiental e as empresas*. São Paulo: Editora Senac, 2006.