

ECONOMIA CIRCULAR TÊXTIL COM FOCO EM ALGODÃO: UMA ANÁLISE DAS ALTERNATIVAS FOCADAS EM ALGODÃO NA ECONOMIA CIRCULAR TÊXTIL

1 INTRODUÇÃO

A economia circular (EC) tem se destacado como uma estratégia importante para reduzir impactos ambientais e promover o desenvolvimento sustentável. Geissdoerfer et al. (2017) definem a EC como um sistema regenerativo que minimiza o uso de recursos e energia, além de reduzir o desperdício ao desacelerar, fechar e estreitar os ciclos de materiais. Esse modelo contrasta com o sistema linear tradicional de "extrair-fazer-desperdiçar", oferecendo uma alternativa mais eficiente (Palakshappa, Venkateswar e Ganesh, 2023).

No setor têxtil, especialmente na produção de algodão, a EC é essencial devido aos grandes impactos ambientais. A produção global de algodão, cerca de 25 milhões de toneladas por ano, exige muitos recursos e gera poluição (Aronsson e Persson, 2020). O modelo linear predominante no setor utiliza matérias-primas virgens e descarta resíduos em aterros, agravando a poluição (Mölsä et al., 2022).

A reciclagem de resíduos de algodão tem sido explorada como uma solução sustentável. Bhuiyan et al. (2023) discutem a fabricação de tecidos com barreira térmica a partir de fibras recicladas, um processo que transforma resíduos em materiais de alta qualidade, preservando recursos naturais e diminuindo impactos ambientais. Além disso, a reutilização de fibras recuperadas para reforçar aerogéis de sílica, conforme descrito por Linhares et al. (2023), demonstra o potencial da EC em melhorar o desempenho de materiais em isolamento térmico e acústico. Além disso, Serra et al. (2021) ressaltam o potencial dos subprodutos do algodão para contribuir com uma EC, oferecendo oportunidades para substituir matérias-primas virgens por resíduos industriais.

Através da síntese de diferentes estudos e estratégias, este artigo busca apresentar uma visão abrangente das práticas e tecnologias mais eficazes dentro do conceito da EC, que podem ser implementadas para minimizar os danos ambientais e otimizar o uso dos recursos naturais no setor têxtil. Utiliza-se no artigo, três perguntas de pesquisa como base, sendo elas:

1. Quais são as principais estratégias de EC aplicadas referente ao algodão no setor têxtil?
2. Como as diferentes alternativas da EC têxtil com foco em algodão contribuem para a redução da poluição e promoção da sustentabilidade ambiental?
3. Quais são os desafios/lacunas que requerem mais estudos a fim de viabilizar de fato as alternativas?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 REUTILIZAÇÃO

No que se refere à reutilização de resíduos têxteis, Mölsä et al. (2022) investiga a reutilização de resíduos têxteis, especificamente os rolos de toalhas de algodão, comparando os impactos ambientais de um ciclo de vida linear com um ciclo de economia circular (EC). O objetivo principal do estudo foi avaliar como a reutilização e a reciclagem desses itens influenciam as mudanças climáticas e o consumo de água. Os resultados mostram que a reutilização de toalhas, que pode ocorrer até 100 ciclos de lavagem e prolongar sua vida útil para até 10.500 usos, oferece uma redução significativa nos impactos ambientais, com uma diminuição de 24% nas alterações climáticas e 47% no consumo de água.

Em contraste, a reciclagem apresenta impactos mais variáveis, com reduções entre -8% e +9% nas alterações climáticas e de -66% a +1% no consumo de água, dependendo da tecnologia e do tipo de produto substituído (Mölsä et al., 2022). A pesquisa destaca que,

enquanto a reutilização é a estratégia mais eficaz para mitigar os impactos ambientais dos ciclos lineares, a reciclagem, embora ainda benéfica, apresenta resultados menos previsíveis e mais dependentes das condições específicas de implementação (Mölsä et al.,2022).

2.2 RECICLAGEM

A reciclagem têxtil é abordada por vários estudos que exploram diferentes métodos e suas implicações para a sustentabilidade na indústria, visto que, sublinham a diversidade de abordagens e a importância de soluções inovadoras na reciclagem têxtil, cada uma contribuindo para uma maior sustentabilidade no setor. O estudo de Bhuiyan et al. (2023) por exemplo, investigou a transformação de resíduos de algodão em tecidos com propriedades avançadas, como resistência térmica e conforto, promovendo a economia circular ao reduzir a dependência de recursos virgens. Já Hussain et al. (2023) analisaram compósitos de polipropileno com fibras de algodão pós-consumo, destacando a adequação dos compósitos para aplicações estruturais e ambientais, com variações de desempenho baseadas na carga de fibra.

Ademais, Wesley et al. (2023) focaram na eficiência energética da produção de fibras de carbono a partir de têxteis, demonstrando que a produção de fibras de carbono de alta qualidade requer altas temperaturas, mas com benefícios significativos para a redução de resíduos e o consumo energético. Outrossim, Bonifazi et al. (2022) aplicaram espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para melhorar a triagem de fibras têxteis, conseguindo uma precisão elevada na identificação de tecidos e destacando a tecnologia como uma ferramenta valiosa para a reciclagem eficiente.

De Oliveira Neto et al. (2023) investigaram a trituração mecânica da celulose de algodão, revelando benefícios econômicos e ambientais significativos, com uma redução notável dos impactos ambientais. Por outro lado, Plesu Popescu et al. (2021), propõem a Pegada de Exergia para avaliar a sustentabilidade dos processos de reciclagem química, mostrando uma redução substancial nas emissões de gases de efeito estufa e impactos ambientais. Já o projeto TEX2MAT, descrito por Piribauer et al. (2020), desenvolveu um processo inovador de reciclagem para misturas de algodão e poliéster, utilizando hidrólise enzimática para separar os componentes e reciclar o poliéster.

Por fim, o estudo de Aronsson e Persson (2019) examinou o impacto da trituração de resíduos de algodão no comprimento das fibras, revelando que a trituração suave é crucial para manter a qualidade das fibras recicladas. Em contrapartida Haslinger et al. (2019) propôs um método para transformar resíduos mistos de algodão e poliéster em novas fibras de celulose, com desafios na recuperação do PET, mas mostrando um potencial significativo para a produção de fibras têxteis sustentáveis.

2.3 UPCYCLING

Com a crescente necessidade de desenvolver materiais sustentáveis e eficientes, a pesquisa sobre aerogéis de sílica reforçados com fibras têxteis recuperadas se destaca como uma abordagem promissora. Diante disso, a pesquisa de Linhares et al. (2023) investigou o aprimoramento de aerogéis de sílica com fibras têxteis recuperadas, visando melhorar suas propriedades de isolamento térmico e acústico e promover práticas sustentáveis. O estudo avaliou a eficácia de diferentes fibras de algodão, poliéster e lã em aerogéis de sílica, com o objetivo de superar a fragilidade inerente dos aerogéis devido à sua alta porosidade.

Os resultados mostraram que os compósitos com fibras de algodão ofereceram excelente absorção sonora, com coeficientes de até 0,86; as fibras de poliéster demonstraram a melhor condutividade térmica; e os compósitos com lã equilibraram eficientemente as propriedades térmicas e acústicas. A pesquisa sublinhou a contribuição das fibras têxteis

recicladas para a sustentabilidade ao reduzir a fragilidade dos aerogéis e promover a economia circular (EC).

Por sua vez, o estudo de Mohl et al. (2022) abordou o desenvolvimento de produtos semiacabados ecológicos utilizando fibras recicladas de algodão e linho combinadas com ácido polilático (PLA) como matriz termoplástica. O objetivo foi criar compósitos de base biológica que sejam ao mesmo tempo ecologicamente corretos e econômicos e como resultados, a pesquisa observou que a combinação de fibras recicladas com termoplásticos de base biológica é uma abordagem promissora para a reciclagem de resíduos têxteis, permitindo a criação de materiais sustentáveis e eficazes (Mohl et al., 2022).

2.4 REDESIGN E INOVAÇÃO DE PRODUTOS

Com o crescente interesse em soluções sustentáveis e a necessidade de reaproveitar materiais, o estudo de compósitos têxteis tem se tornado um campo de pesquisa importante. Diante disso, o estudo de Hussain et al. (2023) analisou a usabilidade e as propriedades mecânicas dos compósitos de polipropileno reforçados com fibras de algodão pós-consumo (PP-PCCF) para aplicações industriais. O objetivo foi avaliar como diferentes cargas de fibra (0 a 40%) afetam o desempenho mecânico dos compósitos em testes de tração, compressão e impacto.

Os resultados revelaram que compósitos com 10% de PCCF apresentaram boas propriedades de tração, enquanto compósitos com 30% e 40% de PCCF foram adequados para aplicações ambientais devido a sua resistência melhorada. A pesquisa destacou a influência da carga de fibra na microestrutura e nas propriedades mecânicas, sugerindo que os compósitos PP-PCCF têm potencial para uso em setores estruturais e ambientais.

Já o trabalho de Serra et al. (2021) investigou a viabilidade de utilizar resíduos têxteis tingidos de algodão na fabricação de compósitos à base de polipropileno, com foco no módulo de flexão. Os resultados mostraram um aumento significativo no módulo de flexão (até 272%) com a adição de até 50% de fibras de algodão, e o MAPP melhorou a adesão e a capacidade de deformação dos compósitos. Diante disso, a pesquisa sugeriu que os compósitos de polipropileno com fibras de algodão são competitivos em termos econômicos e técnicos, mas indicou que tingimentos podem afetar complexamente as propriedades dos materiais.

Por fim, a pesquisa de Levänen et al. (2021) comparou o potencial de aquecimento global (GWP) de cinco cenários de gestão de um par de jeans: uso básico com descarte, uso prolongado, revenda, reciclagem industrial e serviço de aluguel. Utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), os resultados demonstraram que os cenários de uso prolongado (REDUCE) e revenda (REUSE) apresentaram os menores impactos de GWP.

2.5 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS

A integração de práticas sustentáveis e circulares em modelos de negócios tem o potencial de enfrentar questões complexas, como a degradação ambiental e a pobreza. No setor agrícola, especialmente na produção de algodão, a transição para modelos de economia circular (EC) pode oferecer soluções inovadoras que beneficiem tanto o meio ambiente quanto as comunidades locais. Diante disso, artigo de Palakshappa, Venkateswar e Ganesh, (2023) explorou a implementação de práticas sustentáveis na agricultura do algodão através da iniciativa Appachi Eco-Logic, localizada no sul da Índia.

O objetivo foi demonstrar como modelos de economia circular (EC) podem enfrentar simultaneamente a degradação ambiental e a pobreza nas comunidades rurais. A Appachi Eco-Logic adotou cinco estratégias-chave: educação e treinamento em agricultura orgânica, contratos agrícolas para garantir preços justos, diversificação de culturas para segurança

alimentar, eliminação de intermediários para melhorar a margem de lucro dos agricultores, e regeneração ambiental para promover a biodiversidade. O estudo concluiu que essas práticas ajudam a estabelecer um modelo sustentável que integra aspectos sociais, econômicos e ambientais, mas também enfrentam desafios significativos, como a escala e a necessidade de maior regeneração e redistribuição dos benefícios.

Em contraste, o estudo de Zandberga, Kalnins e Gusca (2023) desenvolveu um algoritmo de decisão multicritério para avaliar produtos recuperados de resíduos têxteis, utilizando técnicas de Análise Hierárquica de Processos (AHP) e TOPSIS. A pesquisa identificou que glicose e ácido tereftálico possuem o maior potencial de valorização, enquanto etanol e combustíveis derivados de resíduos têm menor potencial. Além disso, o estudo destacou a importância de critérios como o valor acrescentado do produto e a abordagem da EC na tecnologia, sugerindo futuras análises das necessidades energéticas e impactos ambientais dos processos de recuperação.

Por fim, Alves et al. (2022) revisaram a rastreabilidade na cadeia de valor têxtil, enfatizando a importância da tecnologia blockchain e da Internet das Coisas (IoT) para promover a EC. A pesquisa concluiu que a blockchain proporciona uma solução robusta para transparência na cadeia de suprimentos, enquanto a IoT facilita o rastreamento e a identificação dos itens, apoiando a sustentabilidade. Assim, o estudo revela como essas tecnologias emergentes são cruciais para avançar a EC na indústria têxtil.

2.6 EDUCAÇÃO E ENGAJAMENTO DO CONSUMIDOR

No que se refere à educação e engajamento do consumidor na EC têxtil, Cruz e Cruz (2023) apresentam estratégias digitais que envolvem o consumidor de forma direta e indireta nas práticas de EC têxtil. A pesquisa visou identificar e analisar abordagens digitais que incentivem práticas sustentáveis, considerando o consumidor final como um agente crucial para a mudança. Entre as estratégias analisadas, os aplicativos com elementos de gamificação se destacam por integrar aspectos lúdicos, como pontuações e recompensas, para tornar o aprendizado sobre práticas sustentáveis mais envolvente e eficaz (Cruz e Cruz, 2023).

Além disso, os sistemas de recomendação oferecem uma solução personalizada e acessível para ajudar os consumidores a tomarem decisões mais informadas e ecológicas (Cruz e Cruz, 2023); Ademais, o marketing social e sustentável promove campanhas que visam transformar comportamentos em benefício do meio ambiente e da sociedade (Cruz e Cruz, 2023); E os aplicativos não gamificados, facilitam a troca, aluguel e customização de roupas, contribuindo para uma economia colaborativa e a extensão da vida útil dos produtos têxteis (Cruz e Cruz, 2023).

Por fim, a pesquisa concluiu que tanto os aplicativos gamificados quanto os não gamificados são eficazes em promover práticas de consumo sustentável, destacando a importância das soluções digitais para a educação e engajamento dos consumidores na EC (Cruz e Cruz, 2023). A análise também ressalta que, em contextos de consumo elevado e geração de resíduos, essas abordagens digitais são fundamentais para fomentar uma maior adoção de práticas sustentáveis no setor têxtil.

3 CONCLUSÃO

A implementação da economia circular (EC) no setor têxtil, com foco no algodão, é essencial para promover a sustentabilidade e reduzir os impactos ambientais dessa indústria. A revisão sistemática identificou várias abordagens e tecnologias inovadoras, como a reciclagem de resíduos de algodão e a reutilização de fibras têxteis, que diminuem a necessidade de recursos virgens e a poluição ambiental. Essas estratégias, além de conservar recursos naturais, permitem a criação de produtos de maior valor e funcionalidade. Também é importante incluir

outros tecidos poluentes, como o poliéster, para uma abordagem mais completa (Aronsson e Persson, 2019; Haslinger et al., 2019).

A gamificação e outras ferramentas digitais são eficazes para engajar consumidores na economia colaborativa e no comércio de roupas usadas, ajudando a prolongar a vida útil dos produtos e a reduzir os resíduos (Cruz e Cruz, 2023). No entanto, desafios permanecem, como a melhoria dos processos de reciclagem e a viabilidade econômica em larga escala, além da necessidade de análise de ciclo de vida e educação dos consumidores (Piribauer et al., 2020; Plesu Popescu et al., 2021; Levänen et al., 2021).

A transição para a EC no setor têxtil, especialmente no algodão, é promissora, e a combinação de inovação tecnológica, engajamento digital e políticas públicas pode criar um ciclo de produção mais sustentável, beneficiando o meio ambiente e a sociedade (Bhuyan et al., 2023; Linhares et al., 2023).

Como implicações práticas, a implementação das estratégias discutidas no presente estudo pode acarretar na redução do impacto ambiental da produção de algodão: a diminuição no consumo de recursos naturais; e na promoção de uma indústria mais sustentável. Teoricamente, a pesquisa propõe contribui para a teoria da EC ao oferecer novos paradigmas que desafiam os modelos econômicos lineares tradicionais; além de proporcionar fundamentos teóricos para o desenvolvimento de modelos de avaliação de ciclo de vida mais sofisticados, que considerem não apenas os impactos ambientais da produção de algodão, mas também os benefícios sociais e econômicos da implementação da EC.

Ademais, socialmente, a indústria têxtil, ao fortalecer a responsabilidade social das suas empresas, pode melhorar sua imagem corporativa e a aceitação pelos consumidores, impulsionando o mercado para produtos têxteis sustentáveis; além de preservar o meio ambiente.

Como sugestões para estudos futuros, é interessante desenvolver modelos de classificação para uma maior variedade de resíduos têxteis, tanto puros quanto misturados (Bonifazi et al., 2022); explorar outros processos de reciclagem de fibras têxteis e investigar seus impactos ambientais e a circularidade (De Oliveira Neto et al., 2022); além de realizar pesquisas para entender melhor como diferentes composições de resíduos têxteis afetam os processos de recuperação pode otimizar a eficiência das tecnologias (Zandberga, Kalnins, e Gusca, 2023).

REFERÊNCIAS

ALVES, Luís et al. Towards circular economy in the textiles and clothing value chain through blockchain technology and IoT: A review. *Waste Management & Research*, v. 40, n. 1, p. 3-23, 2022.

ARONSSON, Julia; PERSSON, Anders. Tearing of post-consumer cotton T-shirts and jeans of varying degree of wear. *Journal of Engineered Fibers and Fabrics*, v. 15, p. 1558925020901322, 2020.

BHUIYAN, MA Rahman et al. Recycling of cotton apparel waste and its utilization as a thermal insulation layer in high performance clothing. ***Fashion and Textiles***, v. 10, n. 1, p. 22, 2023.

BONIFAZI, Giuseppe et al. End-of-life textile recognition in a circular economy perspective: a methodological approach based on near infrared spectroscopy. *Sustainability*, v. 14, n. 16, p. 10249, 2022.

CRUZ, Estrela Ferreira; DA CRUZ, AM Rosado. Digital solutions for engaging end-consumers in the circular economy of the textile and clothing value chain-A systematic review. *Cleaner and Responsible Consumption*, p. 100138, 2023.

DE OLIVEIRA NETO, Geraldo Cardoso et al. Assessment of the Eco-Efficiency of the Circular Economy in the Recovery of Cellulose from the Shredding of Textile Waste. *Polymers*, v. 14, n. 7, p. 1317, 2022.

GEISSDOERFER, Martin et al. The Circular Economy—A new sustainability paradigm?. **Journal of cleaner production**, v. 143, p. 757-768, 2017.

HASLINGER, Simone et al. Upcycling of cotton polyester blended textile waste to new man-made cellulose fibers. *Waste Management*, v. 97, p. 88-96, 2019.

HUSSAIN, Abrar et al. Experimental mechanics analysis of recycled polypropylene-cotton composites for commercial applications. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, v. 6, n. 3, p. 226-238, 2023.

LEVÄNEN, Jarkko et al. Innovative recycling or extended use? Comparing the global warming potential of different ownership and end-of-life scenarios for textiles. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 5, p. 054069, 2021.

LINHARES, Teresa et al. A Comparative Thermoacoustic Insulation Study of Silica Aerogels Reinforced with Reclaimed Textile Fibres: Cotton, Polyester and Wool. *Gels*, v. 9, n. 7, p. 548, 2023.

MOHL, Claudia et al. Development of natural fibre-reinforced semi-finished products with bio-based matrix for eco-friendly composites. *Polymers*, v. 14, n. 4, p. 698, 2022.

MÖLSÄ, Kiia M. et al. Linear, reuse or recycling? An environmental comparison of different life cycle options for cotton roller towels. **Journal of Cleaner Production**, v. 374, p. 133976, 2022.

PALAKSHAPPA, Nitha; VENKATESWAR, Sita; GANESH, Shiv. Broadening the circle: creativity, regeneration and redistribution in value loops. *Social Responsibility Journal*, v. 19, n. 10, p. 1870-1884, 2023.

PIRIBAUER, Benjamin et al. Tex2mat—Next level textile recycling with biocatalysts. *Detritus*, v. 13, p. 78-86, 2020.

PLESU POPESCU, Alexandra et al. Exergy footprint assessment of cotton textile recycling to polyethylene. *Energies*, v. 15, n. 1, p. 205, 2021.

SERRA, Albert et al. Exploring the potential of cotton industry byproducts in the plastic composite sector: Macro and micromechanics study of the flexural modulus. *Materials*, v. 14, n. 17, p. 4787, 2021.

WESLEY, Charlotte et al. An investigation into the minimum energy requirements for transforming end-of-life cotton textiles into carbon fibre in an Australian context. **Resources, Conservation & Recycling Advances**, v. 17, p. 200123, 2023.

ZANDBERGA, Anda; KALNINS, Silvija Nora; GUSCA, Julija. Decision-making algorithm for waste recovery options. Review on textile waste derived products. *Environmental and Climate Technologies*, v. 27, n. 1, p. 137-149, 2023.