

Alternativas de materiais e processos mais sustentáveis para a indústria têxtil atual — uma revisão

Ana Paula Provin

Mestranda, Universidade do Sul de Santa Catarina / ana_provin@yahoo.com.br
Orcid: 0000-0003-4441-5657 / [lattes](#)

Anelise Leal Vieira Cubas

Doutora, Universidade Federal de Santa Catarina / anelisecubas@gmail.com
Orcid: 0000-0002-7124-9503 / [lattes](#)

Ana Regina de Aguiar Dutra

Doutora, Universidade do Sul de Santa Catarina / aradutra@gmail.com
[lattes](#)

Enviado: 17/04/2020 // Aceito: 17/09/2020

Alternativas de materiais e processos mais sustentáveis para a indústria têxtil atual — uma revisão

Inúmeros estudos são realizados todos os anos no intuito de descobrir formas inovadoras de elaborar têxteis para o conforto, segurança e, muitas vezes, que representem as ideologias do consumidor. No entanto, devido à problemática da indústria têxtil relacionada à degradação ambiental, pesquisadores têm realizado estudos acerca de materiais e processos que sejam mais sustentáveis. Portanto, o presente artigo propõe uma revisão bibliográfica de caráter analítico, em três bases de dados, a *Scopus*, *ScienceDirect* e *ProQuest*, sobre materiais e processos mais sustentáveis utilizados no setor de têxteis entre os períodos de 2015 e 2020. Os resultados mostram 38 artigos sobre alternativas sustentáveis de materiais e processos para o mercado atual, bem como sobre pesquisas em andamento sobre novas possibilidades de têxteis nos campos da engenharia, biotecnologia, design, entre outros.

Palavras-chave: Vestuário. Materiais têxteis. Sustentabilidade.

More sustainable material and process alternatives for today's textile industry — a review

Numerous studies are carried out every year in order to discover innovative ways of making textiles for comfort, safety and, often, that represent the ideologies of the consumer. However, due to the textile industry's problems related to environmental degradation, researchers have conducted studies on materials and processes that are more sustainable. Therefore, this article proposes a bibliographic review of an analytical character, in three databases, the Scopus, ScienceDirect and ProQuest, on more sustainable materials and processes used in the textile sector between the periods of 2015 and 2020. The results show 38 articles on sustainable alternatives of materials and processes for the current market, as well as on-going research on new possibilities for textiles in the fields of engineering, biotechnology, design, among others.

Keywords: Clothing. Textile materials. Sustainability.

Alternativas de materiales y procesos más sostenibles para la industria textil actual — una revisión

Numerosos estudios se llevan a cabo todos los años para descubrir formas innovadoras de hacer textiles para mayor comodidad, seguridad y, a menudo, que representen las ideologías del consumidor. Sin embargo, debido a los problemas de la industria textil relacionados con la degradación ambiental, los investigadores han realizado estudios sobre materiales y procesos que son más sostenibles. Por lo tanto, este artículo propone una revisión bibliográfica de carácter analítico, en tres bases de datos, a Scopus, ScienceDirect y ProQuest, sobre materiales y procesos más sostenibles utilizados en el sector textil entre los períodos de 2015 y 2020. Los resultados muestran 38 artículos sobre alternativas sostenibles de materiales y procesos para el mercado actual, así como investigaciones en curso sobre nuevas posibilidades para los textiles en los campos de ingeniería, biotecnología, diseño, entre otros.

Palabras clave: Ropa. Materiales textiles. Sostenibilidad.

1 INTRODUÇÃO

As roupas além de serem úteis para vestir os seres humanos e protegê-los de eventuais intempéries, também são elementos fundamentais para o conforto e funcionalidade, assim sendo, com o desenvolvimento da sociedade, novas exigências vão surgindo através dos indivíduos que a compõem e, conseqüentemente, este movimento acarreta em adaptações do próprio mercado (Lurie, 1997). Da mesma forma, o avanço e as melhorias dos padrões de vida materiais e culturais, fazem com que ocorram mudanças nos níveis de consumo de roupas, buscando opções que lhes ofereçam mais conforto, segurança e que expressem suas ideologias e pensamentos (Jiang, 2013; Sarier *and* Onder, 2012).

No entanto, a indústria da moda possui uma dinâmica competitiva no mercado, principalmente pelo rápido movimento das tendências e a grande oferta de opções por parte dos empreendedores (*Fast Fashion*) (Haslinger *et al.*, 2019; Yasin *and* Sun, 2019). Conseqüentemente, os produtos possuem um ciclo de vida curto, um descarte inadequado, processos de fabricação tóxicos e essas questões desafiam os aspectos de sustentabilidade da indústria da moda (Hu *et al.*, 2018; Moretto *et al.*, 2018).

Pode-se dizer que nos últimos anos, algumas questões referentes ao desenvolvimento sustentável atraíram muita atenção em relação ao cotidiano de inúmeras pessoas, tornando-se um estilo de vida em vários aspectos como a alimentação, tecnologias e o vestuário (Ng *et al.*, 2013). A indústria têxtil e da moda são um dos setores que mais enfrentam problemas com questões ambientais e sustentáveis, não somente pela utilização de produtos químicos e o descarte de resíduos, mas pela postura do próprio consumidor ao fazer parte dessa cadeia e não

repensar nas atitudes em relação ao consumo e os materiais utilizados nos produtos (Eifler *and* Diekamp, 2013).

Em muitos casos, as pessoas possuem a consciência de que existem produtos não nocivos ao meio ambiente, no entanto, devido ao seu estilo de vida e preferências, acabam optando por tecidos considerados esteticamente bonitos e mais confortáveis (Lurie, 1997). Entretanto, com o avanço de pesquisas na área, uma das soluções encontradas foi repensar a matéria-prima e encontrar possibilidades que atinjam o conforto e beleza exigidos pelo cliente através de tecidos sustentáveis, naturais e que não agridam o meio ambiente (Ng *et al.*, 2013). Salienta-se que, os meios de seleção de materiais estão progredindo, pois existem bibliotecas de materiais físicos, bancos de dados, software e ferramentas que conectam estes materiais com designers (Prendeville *et al.*, 2014).

Sendo assim, o mercado de roupas que visa o protecionismo ambiental está crescendo, por isso, deve-se prestar atenção suficiente às questões sustentáveis (Ng *et al.*, 2013). A urgência para desenvolver e fabricar roupas com esse viés vai além de aumentar a consciência ambiental de designers, consumidores e empresas de vestuário, necessita-se de esforços para projetar, pesquisar e desenvolver roupas ecologicamente corretas através de novos materiais (Zhao, 2011).

Materiais provenientes de recursos renováveis, reciclados e reaproveitados estão cada vez mais em voga como alternativas de produção, juntamente com as áreas da biotecnologia e da biofabricação (Camere *and* Karana, 2018). Além das possibilidades com micro-organismos e modificações de tecidos já existentes, dentro do que podem ser consideradas alternativas sustentáveis, materiais naturais como fibras de cânhamo e bambu surgem, também, como

novas alternativas de estudo para a adequação em vestuários (Nayak *and* Mishra, 2016).

Outras áreas também surgem com o intuito de fomentar pesquisas para o desenvolvimento tecnológico de tecidos, um exemplo disso são as novas descobertas com fibras têxteis “inteligentes”, nanotêxteis e microfibras produzidas via eletrofição coaxial (Rossi *et al.*, 2011; Lagerwall, 2012). Estudos já comprovaram que, à medida que a indústria do vestuário e as pesquisas acadêmicas vêm realizando grandes avanços na integração de variados elementos para o desenvolvimento de tecidos e processos, os desafios surgem paralelamente, exigindo novas soluções (Sarier *and* Onder, 2012).

Portanto, pesquisas relacionadas à área têxtil, juntamente com laboratórios de engenharias, química, entre outros, possibilitaram investimentos nas descobertas de materiais alternativos e processos têxteis que influenciarão não somente áreas profissionais, mas outros setores da atividade humana, como o próprio consumido (Jiang, 2013). Diante desse contexto, tem-se por objetivo mostrar uma revisão sobre alternativas de materiais e processos mais sustentáveis para a indústria têxtil atual, suas formas de produção e tecnologias através de uma compilação de artigos científicos nacionais e internacionais publicados entre o período de 2015 a 2020.

2 METODOLOGIA

A pesquisa constitui-se em uma revisão bibliográfica de caráter analítico, com relevância nas bases de dados acadêmicas acessadas via Portal Periódico Capes (CAPES, 2019). Para operacionalizar tal pesquisa, utilizou-se a bibliometria que tem como função, a partir de métodos

estatísticos, mapear informações de registros bibliográficos de documentos armazenados em bancos de dados (Campbell *et al.*, 2010).

Posteriormente a escolha dos artigos, a etapa a seguir é a análise esmiuçada do conteúdo, que tem como finalidade congrega e sintetizar resultados de pesquisas sobre um determinado assunto, contribuindo para o aprofundamento do conhecimento do tema investigado.

2.1 Análise Bibliométrica

Para o enriquecimento dessa análise foram selecionadas as palavras-chave: *clothing* AND "*textile materials*" AND *sustainability*. Posteriormente, foi elaborada a indagação norteadora da pesquisa, que se baseia nas alternativas de fibras e processos têxteis que sejam mais sustentáveis no mercado atual da moda. Por conseguinte, o procedimento utilizado para realizar a pesquisa bibliográfica foi constituído por três etapas: coleta de dados, análise de dados e síntese dos resultados.

2.1.1 Coleta de dados

As bases de dados escolhidas para a escrita do presente artigo foram: a) *Scopus*: possui um vasto banco de dados de resumos e citações da literatura revisada por pares, periódicos científicos, livros e anais de congressos; b) *ProQuest*: o banco de dados de Ciência e Engenharia de Materiais inclui os renomados bancos de dados da *Metadex*, *Copper* and *Polymer Library*, fornecendo títulos de textos completos de todo o mundo; c) *ScienceDirect*: é considerada uma das mais importantes plataformas de pesquisa

acadêmica pela *Elsevier*. Suas coleções possibilitam pesquisas na área de bioquímica, genética e biologia molecular, química, medicina clínica, engenharia e medicina veterinária.

2.1.2 Análise de dados

Para a realização da análise de dados, os artigos selecionados continham um título, resumo ou a presença de palavras-chave referindo-se aos termos no corpo do texto, como *clothing AND "textile materials" AND sustainability*. Sendo assim, foram empregados os critérios de inclusão e exclusão conforme as leituras fossem compatíveis com a proposta da pesquisa.

2.1.3 Síntese dos resultados

Esta última etapa, abrangeu a leitura de todos os artigos na íntegra, permitindo mais uma seleção com o intuito de excluir os que não demonstraram anuência à temática investigada. Por conseguinte, eliminando alguns documentos que foram indicados na fase anterior por possuir algum termo na palavra-chave, no título ou no resumo que não remetesse a proposta pesquisada.

3 RESULTADOS

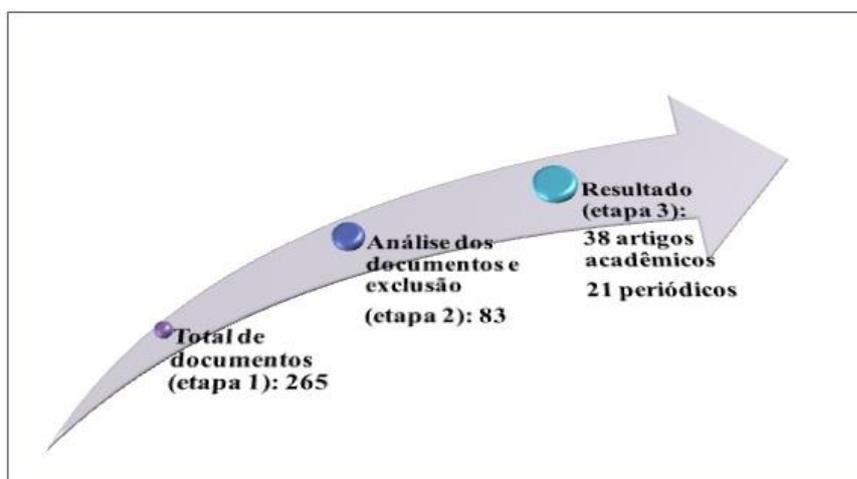
Foram encontrados 131 artigos na base de dados *ScienceDirect*, 72 artigos na base de dados *Scopus* e 62 artigos na base de dados da *ProQuest*, utilizando os termos *clothing AND "textile materials" AND sustainability*, seguindo respectivamente os mesmo filtros como artigos acadêmicos, no período de tempo entre 2015 e 2020, totalizando assim

265 artigos. Posteriormente, foram excluídos os artigos repetidos entre as bases de dados, 4 artigos repetidos entre as bases *ScienceDirect* e *Scopus* e 2 repetidos entre as bases *Scopus* e *ProQuest*, totalizando 259 artigos.

Na fase de leitura dos títulos, resumos (abstract) e palavras-chaves de cada artigo, foram escolhidos aqueles que estavam alinhados com o tema da busca. Sendo assim, foram excluídos 82 artigos da base de dados da *ScienceDirect*, 51 artigos da base de dados da *Scopus* e 49 artigos da base de dados da *ProQuest*. Por conseguinte, com a leitura dos artigos na íntegra e para a realização da feitura do presente artigo de revisão, ainda no processo de exclusão dos artigos que não condiziam com a temática abordada, foram subtraídos 26 artigos da base *ScienceDirect*, 12 artigos da base *Scopus* e 7 artigos da base *ProQuest*, totalizando 38 artigos.

A Figura 1 exemplifica o processo utilizado para a análise bibliométrica.

Figura 1. Etapas da análise bibliométrica.



Fonte: Autores.

A Tabela 1 a seguir, explicita os dados referentes ao fator de impacto (F.I), a qualificação pela CAPES dos periódicos em

que os artigos foram publicados e a quantidade de artigos encontrados em cada revista. A apresentação das revistas segue em ordem decrescente referente ao número de publicações.

Tabela 1. Avaliação CAPES e fator de impacto dos periódicos.

REVISTA	FATOR DE IMPACTO	AValiaÇÃO CAPES	QUANTIDADE
Journal of Cleaner Production	6.395	A1	8
Cellulose	3.917	A1	3
Industrial Crops & Products	4.191	A1	3
Journal of Natural Fibers	1.252	A3	3
Geoforum	2.926	A1	2
International Journal of Biological Macromolecules	4.784	A1	2
Materials and Design	5.770	A1	2
Fibers and Polymers	1.439	A2	2
Materials Review	3.532	A2	1
Textile Research Journal	1,54	A2	1
Environmental Development	2,5	A1	1
Nano Research	8.515	A1	1
International Journal of Clothing Science and Technology	0,796	A4	1
Fashion and Textiles	0,85	A2	1
Arabian Journal of Chemistry	3.298	A2	1
Scientific Reports	1,41	A2	1
Process Biochemistry	2.883	A4	1
Nano energy	15.548	A1	1
Optik	1.914	A4	1
Sustainable Chemistry and Pharmacy	2.404	A3	1
Dyes and Pigments	4.018	A1	1

Fonte: Autores

Através da Tabela 1 é possível observar que os periódicos ficaram qualificados pela CAPES entre A1 e A4 e com a grande maioria com o fator de impacto > 1 , demonstrando assim, autenticidade e segurança nos conteúdos apresentados pelos artigos. Destaca-se também que o maior número de artigos foi encontrado no “*Journal of Cleaner Production*”, uma revista interdisciplinar com o escopo voltado para as questões de sustentabilidade em diversos setores.

A Figura 2 demonstra o número de artigos publicados de cada continente e as parcerias realizadas entre continentes.

Figura 2. Publicação de artigos por continente e suas parcerias.



Fonte: autores.

Através da Figura 2 é possível observar que os continentes com o maior número de publicações acerca de materiais e processos sustentáveis foram a Europa (14 artigos) e a Ásia (9 artigos), destacando a China como o país com o maior número de publicações (6 artigos). Segundo Zhao *and* Lin (2019) e Baiardi *and* Bianchi (2019), a indústria têxtil é considerada uma tradição chinesa e valorizada como um de

seus pilares econômicos, mantendo-se líder principalmente nas exportações, no entanto, apresentam diversas problemáticas relacionadas à sua forma de produção e questões ambientais e sociais.

3.1 Alternativas de materiais mais sustentáveis

Estudos comprovam que os compósitos de biopolímero de tecido de fibra natural são biodegradáveis, renováveis e recicláveis, podendo ainda substituir ou reduzir o uso de fibras sintéticas em várias aplicações têxteis (Fazita *et al.*, 2016). Assim sendo, celulose e materiais lignocelulósicos estão sendo utilizadas por muitos fins tradicionais e inovadores (Judit *et al.*, 2016).

Fibras naturais de celulose são reconhecíveis como parte de uma planta original, sendo possível a utilização das sementes (algodão, kapok), hastes (linho, cânhamo, juta, kenaf, rami), folhas (sisal, abaca), frutas (coco, abacaxi) e de plantas em decomposição, como fibras à base de turfa (Mikucioniene *et al.*, 2018). Para além da utilização dos recursos naturais das celuloses vegetais, áreas como a biotecnologia e a biofabricação, exploram alternativas como a utilização de microrganismos para a fabricação de têxteis, tanto para roupas quanto para a indústria calçadista (Camere *and* Karana, 2018; Saraç *et al.*, 2015; Scarlat *et al.*, 2019).

Por conseguinte, salienta-se que os têxteis eletrônicos, denominados tecidos inteligentes, vêm em uma crescente de pesquisas nos últimos anos (Saraç *et al.*, 2019). Segundo Busi *et al.* (2016) e Li *et al.* (2018), a nanotecnologia tem um altivo potencial tecnológico para o setor têxtil, pois tem se percebido uma tendência com o desenvolvimento de têxteis eletrônicos vestíveis inteligentes, que apresentam novas possibilidades para o vestuário funcional e para o monitoramento da saúde

pessoal, por exemplo. Portanto, com base em pesquisas nacionais e internacionais, o artigo explanará sobre diversos materiais naturais oriundos de plantas, microrganismos e os chamados têxteis “inteligentes”.

3.1.1 Algodão

Entre os diferentes materiais, o algodão é uma das que mais contribuem para a destruição do ecossistema de água doce em âmbito global, embora a fibra de algodão venha de uma fonte sustentável. Contudo, para o plantio do algodão são utilizados inseticidas, pesticidas e, salienta-se, para produzir 1 kg de fibra de algodão pode-se exigir mais de 20.000 L de água (Tausif *et al.*, 2015). Compreende-se que o desempenho, a relação custo-benefício e a estética dos tecidos podem ser aprimorados pela mistura de diferentes tipos de fibras, por isso, a mistura de poliéster e algodão (PC) é uma das mais praticadas na indústria têxtil, gerando assim, maiores complexidades nas questões de sustentabilidade (Domskiene *et al.*, 2018).

Na Etiópia, por exemplo, existem planos para o país se tornar o quinto maior produtor do mundo em algodão, no entanto, voluntários dos programas de certificação prometem garantir a sustentabilidade desse desenvolvimento e convocam consumidores a “aderir à revolução da moda” comprando roupas certificadas (Partzsch *and* Kemper, 2019). Segundo Partzsch e Kemper (2019), já existem alguns programas de certificação que evoluíram a partir de movimentos ativistas em oposição ao sistema convencional, citando como exemplo o Global Organic Textile Standard (GOTS), fazendo com que as pessoas fiquem a par das

informações específicas como salário mínimo e a proibição de produtos tóxicos como pesticidas e fertilizantes.

3.1.2 Bambu

Pode-se afirmar que, o bambu é uma planta que possui grande destaque no que se refere ao desenvolvimento socioeconômico, pois se encontra em abundância no meio ambiente, crescem rapidamente e em sua maior parte é cultivada organicamente, sem uso de pesticidas e fertilizantes (Nayak *and* Mishra, 2016). Considera-se o bambu uma fibra lignocelulósica natural obtida do colmo de bambu, tendo sua composição química, estrutura e propriedades frequentemente comparadas com outras fibras liberianas como o linho e a juta (Mishra *et al.*, 2012).

Atualmente, algumas empresas estão interessadas em fibras de bambu regeneradas, supostamente devido a algumas características especiais como propriedades antibacterianas, absorventes, anti-UV e antiestática (Mishra *et al.*, 2012; Nayak *and* Mishra, 2016). Conforme Tausif *et al.* (2015), a fibra de viscose de bambu foi estudada como uma alternativa ecológica à fibra de algodão em misturas poliéster-celulósica. Assim, é crucial reconhecer as propriedades funcionais necessárias para o biopolímero de tecido de fibra natural e seus compósitos para serem utilizados não somente pela indústria têxtil, mas também como outras opções de mercado como, por exemplo, material para embalagens (Fazita *et al.*, 2016).

3.1.3 Cânhamo e linho

Cânhamo industrial e linho são fontes muito prósperas de celulose, fornecendo importantes substâncias celulósicas e não celulósicas com baixo investimento agrícola e pode ter diversos usos roupas, isolamento, agricultura, filtração, compósitos, adsorção de alguns contaminantes e biocombustíveis (Borsa *et al.*, 2016). Atualmente, há um interesse crescente em métodos especiais de cultivo e os destinos de uso final devido à sua pegada de carbono relativamente pequena, eles têm um papel crescente no mercado de biocompósitos, principalmente para o setor automotivo e de isolamento materiais (Borsa *et al.*, 2016).

Nas últimas décadas, a mídia destacou o esgotamento do ozônio como o maior problema ambiental resultando em um aumento da radiação ultravioleta (UVR), atingindo a superfície da Terra e essa radiação é capaz de causar danos à população humana, sendo assim, a proteção UV fornecida pelas roupas torna-se um assunto de interesse significativo dos produtores e consumidores de tecidos (Kocic *et al.*, 2019; Zhou *et al.*, 2020). Apesar de muitas fibras terem pouca capacidade de proteção UV, destaca-se o potencial da fibra de cânhamo no desenvolvimento de produtos têxteis funcionalizados como protetores contra UV, mais sustentáveis e saudáveis (Kocic *et al.*, 2019).

3.1.4 Celulose bacteriana

A inclusão de sistemas biológicos vivos no campo da nanotecnologia e ciências de materiais, por meio de extensivas pesquisas, faz com que sejam criadas estratégias e soluções de novos materiais sustentáveis que não serão

uma fonte de poluição para o nosso planeta (Camere *and* Karana, 2018). Salienta-se que esta necessidade surge através do entendimento de inúmeros estudiosos que se preocupam com o desenvolvimento de novos materiais sustentáveis que não serão uma fonte de poluição para o nosso planeta (Haneef *et al.*, 2017).

O uso de biomateriais nos negócios da moda pode ser promissor, pois o material pode se desenvolver no tamanho necessário para a sua utilização e possui propriedades biodegradáveis (Domskiene *et al.*, 2018). Para a produção de materiais a partir de bactérias, por exemplo, observam-se os processos de fermentação para gerar um material que pode ser confeccionado e desenvolvido como material fino e flexível, e com grande potencial para substituir o couro de animais (Yim *et al.*, 2017).

A produção de celulose bacteriana, biomaterial produzido a partir de bactérias, se efetiva através da fermentação de uma cultura simbiótica de bactérias com leveduras (*SCOB*Y) em meio nutriente ácido, contendo monossacarídeos como glicose, frutose ou glicerol e quando fornecidos com os nutrientes corretos as bactérias produzem uma camada de 100% de celulose pura (Domskiene *et al.*, 2018). Percebe-se na produção de celulose bacteriana a baixa utilização de energia e de água, salientando assim, as vantagens sustentáveis de desenvolvimento comparados a outros materiais comuns do nosso cotidiano (Camere *and* Karana, 2018; Costa *et al.*, 2019).

Pesquisas demonstraram algumas viabilidades para a modelagem através do cultivo da celulose bacteriana chamada também de Self-grown Fashion, demonstrando dois métodos principais: a) Formato 2D: forma folhas 2D usando bactérias de cultivo estáticas em caldo e, através desse método, o material pode ser cortado e costurado como uma

peça de roupa semelhante ao tecido convencional; e b) Formato 3D: modela diretamente em uma forma 3D como um manequim, sendo moldado em 3D e seco sem a necessidade de corte e costura, economizando tempo e custos do corte tradicional (Domskiene *et al.*, 2018).

3.1.5 Têxteis inteligentes

Fontes de energia vestíveis com alto desempenho estão atraindo atenção intensiva, devido ao seu grande potencial em eletrônicos vestíveis de nova geração (Bai *et al.*, 2019). Uma comunidade crescente de têxteis inteligentes os designers utilizam materiais de engenharia e tecnologias avançadas de fabricação para criar produtos comercializáveis (Velden *et al.*, 2015).

Além da função de captação de energia, esses tecidos inteligentes também podem ser integrados a roupas de uso diário sentir a amplitude dos movimentos humanos, servindo como um sensor altamente sensível dos movimentos e posturas humanas (Qiu *et al.*, 2019). Segundo Busi *et al.* (2016), a nanotecnologia possui alto potencial tecnológico para a indústria têxtil, citando como exemplo os "têxteis autolimpantes", que podem ser facilmente lavados e mantidos, capazes de melhorar o desempenho do processo em termos de energia e recursos de consumo de água. No entanto, pesquisadores recomendam uma expansão nos estudos sobre tecidos autolimpantes para considerar o custo e o benefício da fase de produção agregando todos os pilares da sustentabilidade (Yun *et al.*, 2016)

Exemplos também de desenvolvimento de nanogeradores triboelétricos (TEGAs) podem ser utilizados como uma nova ideia para aliviar a grave crise energética (Yan *et al.*, 2018).

Têxteis flexíveis nomeados TENG, baseados em membranas termofásticas poliméricas de nanofibras termoplásticas fabricadas pelo método de extrusão por fusão poderia ser usado para coletar a energia mecânica de baixa frequência produzida por movimentos humanos (Yan *et al.*, 2018; Qiu *et al.*, 2019).

Por fim, para implementar uma maneira ambientalmente consciente de inovação de produtos, o impacto ambiental de tais produtos precisa ser levado em conta já nos estágios iniciais do projeto (Velden *et al.*, 2015). Para Velden *et al.* (2015), uma nova perspectiva do ciclo de vida dos produtos da moda, fazem com que os designers adotem atitudes mais sustentáveis para a preservação do meio ambiente.

3.2 Processos de fabricação têxtil

À medida que a demanda global por têxteis aumenta, o mesmo ocorre com os possíveis impactos ambientais negativos decorrentes da sua produção, uso e descarte e, conseqüentemente, os rios costumam ser os principais receptores de resíduos gerados durante a produção de tecidos (Stone *et al.*, 2019). No entanto, observa-se que apesar dos consumidores desejarem um aumento no conforto, também existe uma conscientização crescente entre os mesmos e o meio ambiente (Tausif *et al.*, 2015)

O processo de fabricação têxtil é caracterizado pelo alto consumo de recursos como água, combustível e uma variedade de produtos químicos em um longo processo sequenciado gerando uma carga significativa ao ambiente (Parisi *et al.*, 2015). Os processos comuns de tingimento de têxteis, por exemplo, são grandes responsáveis pelo descarte de resíduos inadequados, no entanto, o tingimento de

corantes naturais tem se tornado mais popular, garantindo não somente a mitigação dos processos poluentes, mas ampliando um leque de cores e abrindo novas possibilidades para os designers têxteis (Fröse *et al.*, 2019)

A extração de corantes naturais a partir de folhas de resíduos e cascas superficiais das plantas poderia ser uma tecnologia sustentável para a utilização de resíduos de biorrecursos pelos segmentos de pequena escala, bem como pelas áreas rurais (Baliarsingh *et al.*, 2015). Conforme El *et al.* (2015), extratos coloridos de subprodutos naturais como a utilização da pimenta, exibe características positivas de tingimento e eficácia antimicrobiana contra patógenos humanos comuns como *Pseudomonas aeruginosa* e *Staphylococcus aureus*.

Pesquisadores demonstraram através de estudos outros procedimentos eficientes de pigmentação usando métodos variados e diversas espécies de plantas como a casca de grão de bico (um potencial desperdício agrícola que pode ser utilizado para a coloração e funcionalidade acabamento de têxteis) (Jose *et al.*, 2019); extrato de flor de *Tagetes erecta* para tingimento, acabamento anti-UV e antioxidante economicamente viável (Shabbir *et al.*, 2017); extrato de casca de romã (*Punica granatum l*) com propriedades antibacterianas e funcionalização antifúngica (Butola *et al.*, 2019; Zuber *et al.*, 2019) e extração assistida por ultrassom por micro-ondas de corantes naturais da casca de sorgo com diferentes solventes (Wizi *et al.*, 2018).

Inúmeras pesquisas e projetos têm sido realizados em âmbito global. O tratamento de desbotamento das cores dos produtos têxteis coloridos, por exemplo, é um tópico importante devido à sua importância comercial, entretanto, acarreta em vários problemas ambientais (Kan *et al.*, 2016). Para Kan *et al.* (2016), o tratamento com ozônio induzido por

plasma é um processo ecológico que não gera efluentes químicos, e ocasiona a redução das etapas e o custo do processamento quando comparado com a cor convencional de tratamento de desbotamento. A viabilidade dessas soluções alternativas foi demonstrada também durante o projeto BISCOL da União Europeia, propondo um novo processo de tingimento como alternativa global para a conversão de matérias-primas em produtos finais competitivos e ecologicamente viáveis através da integração de síntese enzimática de corantes em escala semi-industrial, pré-tratamento têxtil com base na tecnologia de plasma (Parisi *et al.*, 2015).

Apesar dos corantes naturais serem mais ambientalmente sustentáveis em comparação aos sintéticos, seu desempenho é pior, fazendo com que mordentes tipicamente metálicos sejam aplicados para melhorar a afinidade do corante em relação aos substratos, mas essa não é uma técnica adequada em uma "história verde" (Phan *et al.*, 2020). Pesquisadores perceberam um grande potencial utilizando a quitosana que é um amino polissacarídeo versátil e renovável em potencial e pode ser utilizado no desenvolvimento de tecidos de lã coloridos e multifuncionais sem a necessidade de mordentes de sal metálico (Butola *et al.*, 2019). Os resultados além de terem sido positivos em relação à durabilidade das cores, conferiu excelente propriedade antibacteriana contra *E. coli* e *S. aureus* e, portanto, oferece novas oportunidades no domínio do tingimento natural (Tadesse *et al.*, 2019; Shahid and Rather, 2018). Outros estudos demonstraram a efetividade em um novo tingimento livre de mordente de tecido de poliéster com curcumina, corante natural, usando processo de tingimento supercrítico de dióxido de carbono (scCO₂), isento de água e eficiente em recursos naturais (Tadesse *et al.*, 2019).

Por fim, além dos estudos acerca de materiais têxteis já conhecidos e plantas diversas, o surgimento de têxteis novos como biotêxteis oriundos de celulose bacteriana e os processos de tingimentos também estão sendo explorados, afinal, a mitigação eficaz pode combinar avanços tecnológicos com mudanças sociais nos mecanismos de mercado (Stone *et al.*, 2019). Segundo Fernanda *et al.* (2019), é possível o uso de corantes naturais à base de plantas em celulose bacteriana (BC) sem perder o valor estético às películas tingidas e mantendo as propriedades mecânicas. Pigmentos naturais de *Clitoria ternatea L.* e *Hibiscus rosa-sinensis* foram testados em relação à fixação, reidratação, resistência à tração e elasticidade nas celulosas bacterianas e foi possível comprovar que o tingimento é um processo que pode ser realizado na CB hidratada, comprovando a importância dos estudos relacionados à consciência ambiental e preocupação pública em relação ao aumento da poluição (Fernanda *et al.*, 2019).

4 Conclusões

Perante a importância no desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao assunto da indústria têxtil e suas novas descobertas, o objetivo do artigo se concentrou na reunião de referências bibliográficas para explicar as alternativas existentes no mercado atual mundial. Foram selecionados os artigos mais relevantes para a análise do tema proposto, levando em consideração as principais propostas acerca da sustentabilidade e das novas possibilidades tecnológicas.

Posteriormente, através da análise bibliométrica, foi possível averiguar a potencialidade de cada artigo, periódico e suas contribuições acadêmicas. Diante das análises dos

artigos, observou-se que, com o desenvolvimento da sociedade e dos estilos de vida dos sujeitos que a compõe, novas exigências do mercado do vestuário foram surgindo. Sendo assim, percebeu-se uma movimentação tanto das indústrias têxteis e dos designers, quanto de pesquisadores acadêmicos na busca por descobertas inovadoras de materiais e processos, que sejam menos degradantes para o meio ambiente.

Portanto, mediante ao exposto, conclui-se que estudos vinculados à área têxtil, juntamente com pesquisadores das engenharias, biotecnologia, materiais, entre outros, proporcionam investimentos nas descobertas de materiais e processos mais sustentáveis e estes modificam, não somente áreas profissionais, mas outros setores da atividade humana de forma efetiva.

Referências

- Bai, Z., Zhang, Z., Li, J., & Guo, J. (2019). Nano Energy Textile-based triboelectric nanogenerators with high-performance via optimized functional elastomer composited tribomaterials as wearable power source. **Nano Energy**, 65(August), 104012. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.104012>
- Baiardi, D., & Bianchi, C. (2019). At the roots of China's striking performance in textile exports: A comparison with its main Asian competitors. **China Economic Review**, 54(August 2018), 367–389. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2019.02.001>
- Baliarsingh, S., Behera, P. C., Jena, J., Das, T., & Das, N. B. (2015). UV reflectance attributed direct correlation to colour strength and absorbance of natural dyed yarn with respect to mordant use and their potential antimicrobial efficac. **Journal of Cleaner Production**, 102, 485–492. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.112>
- Borsa, J., László, K., Boguslavsky, L., Takács, E., Rácz, I., Tóth, T., & Szabó, D. (2016). Effect of mild alkali / ultrasound treatment on flax and hemp fibres : the different responses of the two substrates. **Cellulose** (2016), 23, 2117–2128. <https://doi.org/10.1007/s10570-016-0909-y>
- Busi, E., Maranghi, S., Corsi, L., & Basosi, R. (2016a). Environmental sustainability evaluation of innovative self-cleaning

- textiles. **Journal of Cleaner Production**, 133, 439–450. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.072>
- Butola, B. S., Gupta, A., & Roy, A. (2019). Multifunctional finishing of cellulosic fabric via facile, rapid in-situ green synthesis of AgNPs using pomegranate peel extract biomolecules. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**, 12(December 2018), 100135. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2019.100135>
- Camere, S., & Karana, E. (2018). Fabricating materials from living organisms: An emerging design practice. **Journal of Cleaner Production**, 186, 570–584. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.081>
- Campbell, D., Picard-Aitken, M., Côté, G., Caruso, J., Valentim, R., Edmonds, S., ... Archambault, É. (2010). Bibliometrics as a performance measurement tool for research evaluation: The case of research funded by the national cancer institute of Canada. **American Journal of Evaluation**, 31(1), 66–83. <https://doi.org/10.1177/1098214009354774>
- Costa, A. F. de S., de Amorim, J. D. P., Almeida, F. C. G., de Lima, I. D., de Paiva, S. C., Rocha, M. A. V., ... Sarubbo, L. A. (2019). Dyeing of bacterial cellulose films using plant-based natural dyes. **International Journal of Biological Macromolecules**, 121, 580–587. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.066>
- De Rossi, D., Coyle, S., Wallace, G., Wu, Y., Diamond, D., & Lau, K.-T. (2011). Smart Nanotextiles: A Review of Materials and Applications. **MRS Bulletin**, 32(05), 434–442. <https://doi.org/10.1557/mrs2007.67>
- Domskiene, J., Sederaviciute, F., & Simonaityte, J. (2018). Kombucha bacterial cellulose for sustainable fashion. **International Journal of Clothing Science and Technology**, 31(5), 644–652. <https://doi.org/10.1108/IJCST-02-2019-0010>
- Eifler, C., & Diekamp, K. (2013). Consumer Acceptance of Sustainable Fashion in Germany. **Research Journal of Textile and Apparel**, 17(1), 70–77. <https://doi.org/10.1108/RJTA-17-01-2013-B007>
- El, I., Ben, R., Faidi, K., Ben, M., & Farouk, M. (2015). Mixture approach for optimizing the recovery of colored phenolics from red pepper (*Capsicum annum* L.) by-products as potential source of natural dye and assessment of its antimicrobial activity. **Industrial Crops & Products**, 70, 34–40. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.03.017>
- Fazita, M. R. N., Jayaraman, K., Bhattacharyya, D., & Haafiz, M. K. M. (2016). Green Composites Made of Bamboo Fabric and Poly (Lactic) Acid for Packaging Applications — A Review. **Materials**, 9(435), 1–29. <https://doi.org/10.3390/ma9060435>
- Fernanda, A., Costa, D. S., Amorim, J. D. P. De, Carolina, F., Almeida, G., Diego, I., ... Sarubbo, L. A. (2019). Dyeing of bacterial cellulose films using plant-based natural dyes. **International Journal of Biological Macromolecules**, 121, 580–587. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.066>

- Fröse, A., Schmidtke, K., Sukmann, T., Junger, I. J., & Ehrmann, A. (2019). Optik Application of natural dyes on diverse textile materials. **Optik - International Journal for Light and Electron Optics**, *181*(December 2018), 215–219. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.12.099>
- Haneef, M., Ceseracciu, L., Canale, C., Bayer, I. S., Heredia-Guerrero, J. A., & Athanassiou, A. (2017). Advanced Materials from Fungal Mycelium: Fabrication and Tuning of Physical Properties. **Scientific Reports**, *7*(December 2016), 1–11. <https://doi.org/10.1038/srep41292>
- Haslinger, S., Hummel, M., Anghelescu-Hakala, A., Määttänen, M., & Sixta, H. (2019). Upcycling of cotton polyester blended textile waste to new man-made cellulose fibers. **Waste Management**, *97*, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.040>
- Hu, Y., Du, C., Pensupa, N., & Lin, C. S. K. (2018). Optimisation of fungal cellulase production from textile waste using experimental design. **Process Safety and Environmental Protection**, *118*, 133–142. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.009>
- Jiang, Z. H. (2013). Art of Fashion Design Based on New Materials. **Applied Mechanics and Materials**, *340*, 374–377. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amm.340.374>
- Jose, S., Pandit, P., & Pandey, R. (2019). A potential agro waste for coloration and functional finishing of textiles. **Industrial Crops & Products**, *142*(September), 111833. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111833>
- Kan, C., Cheung, H., & Chan, Q. (2016). A study of plasma-induced ozone treatment on the colour fading of dyed cotton. **Journal of Cleaner Production**, *112*, 3514–3524. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.100>
- Kocic, A., Bizjak, M., Popovic, D., Poparic, G. B., & Stankovic, S. B. (2019). UV protection afforded by textile fabrics made of natural and regenerated cellulose fibers. **Journal of Cleaner Production**, *228*, 1229–1237. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.355>
- Lagerwall, J. P. F. (2012). Switchable and responsive liquid crystal-functionalized microfibers produced via coaxial electrospinning. **Emerging Liquid Crystal Technologies VII**, 8279, 82790N. <https://doi.org/10.1117/12.914959>
- Li, X., Hu, H., Hua, T., Xu, B., & Jiang, S. (2018). Wearable strain sensing textile based on one-dimensional stretchable and weavable yarn sensors. **Nano Research**, *11*(11), 5799–5811. <https://doi.org/10.1007/s12274-018-2043-7>
- LURIE, Alison. **A linguagem das roupas**. Tradução Ana Luiza Dantas Borges. Rio de Janeiro: Rocco, 1997.
- Mikucioniene, D., Cepukone, L., & Milasiene, D. (2018). Investigation on mechanical and thermal properties of knits from peat fibers and their combination with other natural fibers. **Textile Research Journal**, *88*(14), 1660–1670. <https://doi.org/10.1177/0040517517705633>

- Mishra, R., Behera, B. K., & Pal, B. P. (2012). Novelty of bamboo fabric. **Journal of the Textile Institute**, *103*(3), 320–329. <https://doi.org/10.1080/00405000.2011.576467>
- Moretto, A., Macchion, L., Lion, A., Caniato, F., Danese, P., & Vinelli, A. (2018). Designing a roadmap towards a sustainable supply chain : A focus on the fashion industry. **Journal of Cleaner Production**, *193*, 169–184. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.273>
- Nayak, L., & Mishra, S. P. (2016). Prospect of bamboo as a renewable textile fiber, historical overview, labeling, controversies and regulation. **Fashion and Textiles**, *3*(1), 1–23. <https://doi.org/10.1186/s40691-015-0054-5>
- Ng, R., Yan, S., & Dong, L. (2013). Consumer Acceptance of Sustainable Design Strategy for Reducing Raw Material without Sacrificing Style Variety. **Research Journal of Textile and Apparel**, *17*(2), 115–126. <https://doi.org/10.1108/RJTA-17-02-2013-B014>
- Parisi, M. L., Fatarella, E., Spinelli, D., Pogni, R., & Basosi, R. (2015). Environmental impact assessment of an eco-efficient production for coloured textiles. **Journal of Cleaner Production**, *108*, 514–524. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.06.032>
- Partzsch, L., & Kemper, L. (2019). Cotton certification in Ethiopia : Can an increasing demand for certified textiles create a ` fashion revolution? **Geoforum**, *99*(December 2018), 111–119. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.11.017>
- Phan, K., Broeck, E. Van Den, Speybroeck, V. Van, Clerck, K. De, Raes, K., & Meester, S. De. (2020). Dyes and Pigments The potential of anthocyanins from blueberries as a natural dye for cotton : A combined experimental and theoretical study. **Dyes and Pigments**, *176*(January), 108180. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2019.108180>
- Prendeville, S., O'Connor, F., & Palmer, L. (2014). Material selection for eco-innovation: SPICE model. **Journal of Cleaner Production**, *85*, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.023>
- Qiu, Q., Zhu, M., Li, Z., Qiu, K., Liu, X., & Yu, J. (2019). Nano Energy Highly flexible , breathable , tailorable and washable power generation fabrics for wearable electronics. **Nano Energy**, *58*(January), 750–758. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2019.02.010>
- Saraç, E. G., Öner, E., & Kahraman, M. V. (2019). Microencapsulated organic coconut oil as a natural phase change material for thermo-regulating cellulosic fabrics. **Cellulose**, *9*, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02701-9>
- Sarier, N., & Onder, E. (2012). Organic phase change materials and their textile applications: An overview. **Thermochimica Acta**, *540*, 7–60. <https://doi.org/10.1016/j.tca.2012.04.013>
- Shabbir, M., Rather, L. J., Bukhari, M. N., Ul-, S., Shahid, M., Khan, M. A., & Mohammad, F. (2017). Light Fastness and Shade

Variability of Tannin Colorant Dyed Wool with the Effect of Mordanting Methods Light Fastness and Shade Variability of Tannin Colorant Dyed Wool with the Effect of Mordanting Methods.

Journal of Natural Fibers, 00(00), 1–14.

<https://doi.org/10.1080/15440478.2017.1408521>

Shahid, M., & Rather, L. J. (2018). Simultaneous shade development, antibacterial, and antifungal functionalization of wool using Punica granatum L. Peel extract as a source of textile dye. **Journal of Natural Fibers**, 00(00), 1–12.

<https://doi.org/10.1080/15440478.2018.1428846>

Stone, C., Windsor, F. M., Munday, M., & Durance, I. (2019). Science of the Total Environment Natural or synthetic – how global trends in textile usage threaten freshwater environments. **Science of the Total Environment**, xxx(xxxx), 134689.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134689>

Tadesse, M., Ferri, A., Guan, J., Chen, G., Ferreira, J. A., & Nierstrasz, V. (2019). The Journal of Supercritical Fluids Single-step disperse dyeing and antimicrobial functionalization of polyester fabric with chitosan and derivative in supercritical carbon dioxide. **The Journal of Supercritical Fluids**, 147(August 2018), 231–240. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.11.002>

Tausif, M., Ahmad, F., Hussain, U., Basit, A., & Hussain, T. (2015). A comparative study of mechanical and comfort properties of bamboo viscose as an eco-friendly alternative to conventional cotton fibre in polyester blended knitted fabrics. **Journal of Cleaner Production**, 89, 110–115.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.011>

Velden, N. M. Van Der, Kuusk, K., & Köhler, A. R. (2015). Life cycle assessment and eco-design of smart textiles: The importance of material selection demonstrated through e-textile product redesign. **Materials and Design**, 84, 313–324.

<https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.06.129>

Wizi, J., Wang, L., Hou, X., Tao, Y., Ma, B., & Yang, Y. (2018). Ultrasound-microwave assisted extraction of natural colorants from sorghum husk with different solvents. **Industrial Crops & Products**, 120(April), 203–213.

<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.068>

Yan, S., Lu, J., Song, W., & Xiao, R. (2018). Flexible triboelectric nanogenerator based on cost-effective thermoplastic polymeric nanofiber membranes for body-motion energy harvesting with. **Nano Energy**, 48(January), 248–255.

<https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2018.03.031>

Yasin, S., & Sun, D. (2019). Propelling textile waste to ascend the ladder of sustainability: EOL study on probing environmental parity in technical textiles. **Journal of Cleaner Production**, 233, 1451–1464. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.009>

Yim, S. M., Song, J. E., & Kim, H. R. (2017). Production and characterization of bacterial cellulose fabrics by nitrogen sources of tea and carbon sources of sugar. **Process Biochemistry**, 59, 26–36. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.07.001>

Yun, C., Islam, I., Lehew, M., & Kim, J. (2016). Assessment of Environmental and Economic Impacts Made by the Reduced Laundering of Self-cleaning Fabrics. **Fibers and Polymers**, 17(8), 1296–1304. <https://doi.org/10.1007/s12221-016-6320-3>

Zhao, H., & Lin, B. (2019). Assessing the energy productivity of China's textile industry under carbon emission constraints. **Journal of Cleaner Production**, 228, 197–207. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.327>

Zhao, J. (2011). Analysis on Green Initiative Costume Design Concept. **Advanced Materials Research**, 331, 97–100. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.331.97>

Zhou, Y., Yang, Z., & Tang, R. (2020). Facile and green preparation of bioactive and UV protective silk materials using the extract from red radish (*Raphanus sativus* L .) through adsorption technique. **Arabian Journal of Chemistry**, 13(1), 3276–3285. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2018.11.003>

Zuber, M., Adeel, S., Rehman, F., Anjum, F., Abdullah, M., & Zia, K. M. (2019). Influence of Microwave Radiation on Dyeing of Bio-mordanted Silk Fabric using Neem Bark (*Azadirachta indica*) - Based Tannin Natural Dye Influence of Microwave Radiation on Dyeing of Bio-mordanted Silk Fabric using Neem Bark (*Azadirachta indica*) -Based Tannin Natural Dye. **Journal of Natural Fibers**, 1–13. <https://doi.org/10.1080/15440478.2019.1576569>