
Superação das barreiras tecnológicas pelo setor têxtil segundo as premissas
de Economia Circular

Gonçalo Nuno Rocha Marques Silva Madeira

Relatório de estágio
Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente

Orientado por:

Prof.^a Dra.^a Patricia Calicchio Berardi

2021

AGRADECIMENTOS

A elaboração do presente relatório de estágio não seria possível sem o apoio de alguns intervenientes. Assim sendo, pretendo agradecer a todos aqueles que sempre me apoiaram e deram um forte contributo para a concretização desta importante etapa na minha formação, o Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente.

Gostaria de começar por dirigir os meus sinceros agradecimentos a todos os elementos da empresa Produtech, pela simpatia e receptividade que foram demonstradas durante o período de estágio.

À supervisora de estágio, Maria João Samúdio, um agradecimento por todo o apoio e incentivo que me deu.

À minha orientadora de estágio Patrícia Berardi, pela sua disponibilidade, partilha de saber, orientações, conselhos, e sobretudo por toda a simpatia e generosidade com que sempre me tratou.

Aos meus amigos que sempre me incentivaram e motivaram a atingir os meus objetivos.

Por fim aos meus familiares, por todos valores e princípios que me foram transmitidos ao longo dos anos, assim com o seu apoio incondicional.

RESUMO

Desde o início da Revolução Industrial que os progressos económicos fomentados por um modelo económico linear têm sido alcançados através de enormes custos para o planeta e para os seus habitantes. Dada a incapacidade deste modelo em garantir padrões efetivamente sustentáveis, surge a necessidade de ser encontrado um modelo capaz de o fazer. A Economia Circular caracteriza-se por ser restauradora e regenerativa por intenção e design, e tem cada vez mais vindo a ser reconhecida como alternativa ao atual modelo económico em vigor. No entanto, existem diversas barreiras que têm impedido progressos significativos à sua implementação, entre as quais, são referidas e realçadas as barreiras tecnológicas. Este trabalho explorou o setor têxtil, um setor tradicionalmente linear e que gera fortes impactos negativos, sobretudo ambientais e sociais, para então perceber que soluções têm vindo a ser elaboradas, para fazer face às barreiras tecnológicas, e assim serem implementadas práticas de acordo com as premissas circulares. Através de múltiplos estudos de caso, foram analisadas diferentes empresas que têm vindo a desenvolver tecnologias inovadoras, nomeadamente tecnologias de reciclagem e de classificação, que detêm um vasto potencial contributivo para superar as limitações tecnológicas que têm condicionado os processos de reciclagem têxtil, e que por sua vez, têm levado a baixas percentagens de materiais efetivamente reprocessados. Este trabalho ressaltou assim a importância de serem fomentadas ações capazes de fornecer contributos para ultrapassar as barreiras existentes à Economia Circular, a necessidade de ser efetuada uma transição para uma Economia Circular para além da reciclagem, não só no setor têxtil, mas de forma geral, e ainda o papel contribuinte das tecnologias para essa transição.

Palavras-chave: Economia Circular; barreiras tecnológicas; setor têxtil; inovação

ABSTRACT

Since the beginning of the Industrial Revolution, economic progress fostered by a linear economic model has been achieved at enormous costs to the planet and its inhabitants. Given the inability of this model to guarantee effectively sustainable standards, there is a need to find a model capable of doing so. The Circular Economy is characterized by being restorative and regenerative by intention and design, and has increasingly come to be recognized as an alternative to the current economic model in place. However, there are several barriers that have impeded significant progress in its implementation, among which technological barriers are mentioned and highlighted. This work explored the textile sector, a traditionally linear sector that generates strong negative impacts, especially environmental and social, to then understand what solutions have been developed to face technological barriers, and thus implement practices in accordance with the circular premises. Through multiple case studies, different companies that have been developing innovative technologies were analyzed, namely recycling and classification technologies, which have a vast contributory potential to overcome the technological limitations that have conditioned textile recycling processes, which in turn, they have led to low percentages of effectively reprocessed materials. This work thus highlighted the importance of promoting actions capable of providing contributions to overcome the existing barriers to the Circular Economy, the need to make a transition to a Circular Economy beyond recycling, not only in the textile sector, but in general, and also the contributing role of technologies for this transition.

Key-Words: Circular Economy; technological barriers; textile sector; innovation

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	v
ÍNDICE.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. ECONOMIA LINEAR	4
3. ECONOMIA CIRCULAR	9
3.1- Origens	9
3.2- Conceito e definição	13
3.3- A transição para a Economia Circular.....	16
3.4- Implementação da Economia Circular	20
3.5- Economia Circular e Desenvolvimento Sustentável	23
3.6- Barreiras à implementação da Economia Circular	25
4. METODOLOGIA E ANÁLISE DE RESULTADOS	29
4.1- Metodologia.....	29
4.2- Análise de resultados.....	31
4.3- Tecnologias de Reciclagem.....	53
4.3.1- Infinited Fiber Company.....	53
4.3.2- Worn Again Technologies	55
4.4- Tecnologias de classificação	58
4.4.1- Fibersort	59
4.4.2- SIPTex.....	61
4.5- Discussão dos resultados	63

5. CONCLUSÃO.....	66
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo de vida do produto na economia linear.....	4
Figura 2 - Variação da extração de material, criação de valor e de emissões de gases com efeito estufa (carbono) de 1900 a 2017 e projeções para 2050.....	7
Figura 3 - Esquema gráfico do ciclo biológico do conceito "Cradle to Cradle".....	12
Figura 4 - Esquema gráfico do ciclo técnico no conceito "Cradle to Cradle".....	12
Figura 5 - Número de publicações no Web of Science referentes à Economia Circular (2010-2020).....	13
Figura 6 - Número de publicações na Scopus referentes à Economia Circular (2010-2020)	14
Figura 7 - Categorização das abordagens lineares e circulares para a redução da utilização dos recursos	17
Figura 8 - Benefícios da transição da Economia Linear para Circular.....	19
Figura 9 - Estratégia de implementação da EC, através da combinação de estratégias top-down e bottom-up.....	21
Figura 10 - Aumento da produção de vestuário entre 2000 e 2015.....	33
Figura 11 - Modelo linear de produção têxtil.....	34
Figura 12 - 4 diferentes ambições para uma nova economia têxtil.....	42
Figura 13 - Cadeia de abastecimento alinhada com os princípios da EC.....	46
Figura 14 - Percentagens relativas à retenção possível dos recursos.....	47
Figura 15 - Estimativa de materiais utilizados para produção de vestuário que são descartados, incinerados, reutilizados e reciclados.	48
Figura 16 - A captura do valor total dos materiais através da reciclagem nos diferentes níveis.....	49
Figura 17 - Diagrama de processos incluindo a tecnologia de reciclagem desenvolvida pela Worn Again Technologies	56
Figura 18 – Diagrama do processo Worn Again.....	57

Figura 19 - Percentagens dos fluxos anuais de têxteis pós-consumo no Noroeste da Europa.....	60
--	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Barreiras à EC nas organizações	26
Tabela 2- Barreiras principais da EC na Europa	26
Tabela 3- Fibras Naturais	35
Tabela 4- Fibras Sintéticas	35
Tabela 5- Principais problemas ambientais relacionados com as fases do ciclo de vida do produto.....	38
Tabela 6- Tabela síntese dos estudos de caso- Tecnologias de Reciclagem	58
Tabela 7- Tabela síntese dos estudos de caso- Tecnologias de classificação.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS

CO₂ - Dióxido de Carbono

CS₂ - Dissulfeto de carbono

DS - Desenvolvimento Sustentável

EC - Economia Circular

EI - Ecologia Industrial

EMF - Fundação Ellen MacArthur

Gt - Gigatonelada

GtCo_{2e} - Gigatoneladas de toneladas equivalentes de CO₂

NIR- Near Infrared (Espectroscopia de infravermelho próximo)

ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PAEC - Plano de Ação para a União Europeia de Economia Circular

PET - Politereftalato de etileno

VIS- Visual Spectroscopy (Espectroscopia de infravermelho visual)

1. INTRODUÇÃO

Ao longo da sua evolução, a economia industrial tem seguido uma linha condutora que foi convencionada desde o início da industrialização no chamado modelo linear de produção e consumo que segue um padrão de extração-produção-descarte, no qual as empresas começam pela extração dos recursos naturais, que posteriormente com a aplicação de energia são utilizados para fabricar um determinado produto que será vendido ao consumidor, que por fim o descarta quando este não funciona mais, não serve mais o seu propósito ou mesmo quando é substituído por um produto mais recente, pelo facto do utilizador o considerar de certa forma obsoleto. Este modelo económico linear depende de grandes quantidades de recursos e energia, razão pela qual, cada vez mais tem vindo a ser identificado como inadequado e insustentável face à realidade atual em que opera, onde está presente o desafio da restrição na disponibilidade de recursos, desafio este que tem vindo a ser agravado pela crescente procura, que é resultante do aumento populacional, do aumento do poder de compra dessa maior população e ainda pela maior velocidade de substituição de produtos. (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Para além deste desafio, estão também os diferentes impactos negativos que os processos alinhados a este modelo económico têm vindo a provocar na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas mundiais. De forma conjunta, todos estes fatores têm progressivamente levado a uma maior pressão sobre o planeta, colocando mesmo em risco os seus limites físicos.

Face aos riscos e problemas inerentes a este modelo económico, surge a necessidade de ser desenvolvido um novo modelo, que dissocie o progresso económico do aumento no consumo de matérias-primas. Desta forma surge a Economia Circular (EC), uma economia restauradora por intenção e design, onde por oposição ao padrão extração-produção-descarte os produtos são projetados para que possa ser facilitada a sua reutilização, desmontagem e renovação, ou reciclagem. Dado o reconhecimento deste conceito como potencial alternativa perante o atual modelo de produção e consumo, esta tem vindo cada vez mais a receber atenção nos últimos anos.

É igualmente reconhecido que uma transição do atual modelo económico para um modelo económico circular também traria benefícios a nível social, ambiental e económico (European Environment Agency, 2016), assim como ainda contribuiria para

a implementação dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (Ellen MacArthur Foundation, 2019b; Schroeder et al., 2019; United Nations Environment Programme, 2018). No entanto, diversas barreiras têm vindo a surgir e a impedir progressos significativos em relação à implementação da Economia Circular, como são exemplos as barreiras financeiras, estruturais, operacionais, culturais, regulatórias, comportamentais e ainda o próprio mercado. A par das mesmas está também a barreira tecnológica, na qual são apontados na literatura fatores como as limitações tecnológicas ao nível do design circular, a falta de dados, poucos projetos de demonstração em grande escala, a capacidade tecnológica para fornecer produtos remanufaturados de alta qualidade, entre outros (Kirchherr et al., 2018; Ritzén & Sandström, 2017). Para que esta barreira seja efetivamente ultrapassada, existe a necessidade de inovação e desenvolvimento tecnológico, uma vez que, de acordo com a literatura, ter a tecnologia de maior relevância em vigor é mesmo um pré-requisito da transição para a EC (Kirchherr et al., 2018).

Desta forma, torna-se perceptível que as tecnologias detêm um papel nesta mesma transição. Por esse motivo, e dada a sua relevância, colocou-se a questão de investigação: Como as barreiras tecnológicas têm sido trabalhadas pelo setor têxtil segundo as premissas de Economia Circular?

De forma a buscar responder a esta pergunta, este trabalho explorou o setor têxtil. Trata-se de um setor que está fortemente estruturado numa tradicional cadeia de valor linear, que tem gerado impactos negativos a nível ambiental, social e económico, sendo considerado pelos estudos como o quarto maior setor contribuinte aos danos globais (European Commission, 2020). Impactos estes que podem ser reduzidos se este setor estiver alinhado com os princípios da EC. No entanto, para que tal ocorra, existem diferentes ambições que devem ser concretizadas, entre as quais a melhoria dos processos de reutilização, reprocessamento e reciclagem, uma vez que até aos dias de hoje, são baixas as percentagens de materiais que são efetivamente reprocessados. Uma das principais razões para que estas taxas sejam baixas, são as limitações tecnológicas ao nível das tecnologias de classificação dos resíduos e das tecnologias de reciclagem, razão pela qual neste setor, a barreira tecnológica tem também sido identificada como forte desafio à implementação da EC (Global Fashion Agenda, 2017; Mathews, 2015; Mistra Future Fashion, 2016).

Conscientes destas limitações existentes, a indústria, as universidades, as organizações não governamentais e as instituições de pesquisa, têm vindo a intensificar os seus esforços através de projetos e programas de pesquisa para que sejam desenvolvidas novas tecnologias capazes de fornecer soluções para os problemas identificados e resolver esta barreira tecnológica (Koszevska, 2018). Este relatório, através de múltiplos estudos de caso, realizou uma análise de diferentes tecnologias de reciclagem e de classificação que têm vindo a ser desenvolvidas e podem vir a contribuir com um potencial de superar essas limitações, melhorando assim os processos de reciclagem, o que por sua vez pode auxiliar como um início para a transição de uma Economia Linear para uma Economia Circular.

O relatório foi assim dividido em 5 capítulos:

No presente capítulo estão contextualizadas as problemáticas do atual modelo económico em vigência e a necessidade de se efetuar uma transição para um modelo económico circular, assim como o papel das tecnologias nessa transição, mais especificamente no setor têxtil. Os capítulos 2 e 3 apresentam uma revisão da bibliografia disponível sobre a Economia Linear e a Economia Circular, onde são apresentados os conceitos e tópicos relevantes para posterior perceção dos mesmos contextualizados no setor têxtil. O capítulo 4 identifica a metodologia que foi adotada para a realização do relatório, assim como a questão de investigação definida para orientar a investigação. O mesmo desenvolve ainda primeiramente um enquadramento da importância da implementação da EC no setor têxtil, bem como a identificação da tecnologia como barreira à sua implementação. Por fim, são analisados os diferentes estudos de caso e é feita uma interpretação dos resultados obtidos. O capítulo 5 descreve as conclusões finais, as limitações e ainda as sugestões de trabalhos futuros.

2. ECONOMIA LINEAR

O modelo Económico Linear surgiu com a Revolução Industrial, no século XVII (Ellen MacArthur Foundation, 2019a; Prieto-Sandoval et al., 2018), aquando se deu um aumento exponencial de inovações científicas e tecnológicas, que não tinham em consideração os limites ambientais e os impactos sociais que poderiam resultar a longo prazo (Prieto-Sandoval et al., 2018).

De acordo com McDonough & Braungart (2002), desde a Revolução Industrial e ao longo do passado século, a maioria dos negócios seguem este modelo, que os autores descreveram como *Cradle-to-Grave* (do berço ao túmulo), que opera segundo uma lógica de extração, processamento e transformação em produtos, comercialização e por último, após esgotada a sua vida útil, o descarte final (figura 1).



Figura 1- Ciclo de vida do produto na economia linear

Fonte: Sauvé et al (2016)

Como se pode verificar na figura 1, e de acordo com Bonciu (2014), este ciclo linear de produtos pressupõe que quanto mais produção de recursos houver, maior serão a poluição e os resíduos gerados e consequentemente inseridos no meio ambiente.

No trabalho *Economics of coming spaceship Earth*, Boulding (1966) apresentou duas distintas visões da economia, a do *spaceman* e a do *cowboy*. Para o autor, a economia do *spaceman* traz uma perspetiva de que a economia é fechada, onde o planeta Terra é uma única nave espacial, sem recursos ilimitados, quer para extração ou poluição. Como

tal, tudo o que a humanidade dispõe na sua nave é de importância extrema. Por contraste à economia do “homem do espaço”, aparece a economia do *cowboy*, esta por sua vez, foi descrita como uma economia aberta, na qual é exibida uma visão ilimitada da natureza, em que o *cowboy* apresenta comportamentos exploradores e imprudentes, resultantes do seu pensamento sobre a possibilidade de todas as necessidades humanas serem possíveis de serem sustentadas pela natureza. Desta forma, pode ser estabelecida uma associação do modelo económico linear com a economia do cowboy, uma vez que este modelo linear baseia-se na premissa de que o ambiente é uma fonte eterna e constante de recursos, e que o mesmo consegue absorver toda a carga de poluição e resíduos gerados (Wilts et al., 2016).

Face a esta linha de pensamento e atuação, os limites de uma economia linear começaram a ser notados através do elevado número de externalidades negativas por todo o mundo, em diferentes indústrias (Adler & Volta, 2016), tendo sido a sua internalização, uma das ideias centrais discutidas pela Economia do Ambiente (Aidt, 1998). As externalidades surgem sempre que o valor de uma função objetivo, como por exemplo os lucros de uma empresa ou a felicidade de um indivíduo, depende dos subprodutos não intencionais ou incidentes de algumas atividades de outros (E. J. Mishan, 2017; R. H. Coase, 2016; Steven A.Y. Lin, 1976). No que diz respeito às externalidades negativas, estas constituem um efeito externo aos mecanismos de mercado, que de alguma forma, influenciam um indivíduo ou empresa, que não controla a situação, reduzindo a sua utilidade ou conjunto de produção. Os custos sociais, não são por isso, contabilizados pelos agentes e o bem-estar pessoal dos indivíduos em causa pode ser reduzido (Zerrahn, 2017). São exemplos de externalidades negativas a poluição (Sandholm, 2005; Sankar, 2002), onde pode servir de modelo as descargas de efluentes não tratados nos rios, que causam danos na forma de custos de saúde e custos de purificação da água (Sankar, 2002). Podem também, no entanto, haver externalidades positivas, que surgem quando uma ação de um indivíduo ou grupo promove benefícios a outros (Sankar, 2002) como são exemplos os serviços ecossistêmicos que são disponibilizados e consumidos, e que não são passíveis de serem transacionados (Pascual et al., 2012).

Em 2005, foi desenvolvido pela Organização das Nações Unidas (ONU), a Avaliação Ecossistêmica do Milênio, um programa de pesquisas com objetivo de avaliar as consequências das alterações nos ecossistemas para os seres humanos. Esta foi realizada no âmbito do reconhecimento das rápidas mudanças que estavam a ocorrer nos

ecossistemas globais devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento económico (Millennium Ecosystem Assessment Board, 2013). O estudo revelou que a estrutura e funcionamento dos ecossistemas mundiais, mudaram mais rapidamente na segunda metade do século XX do que em qualquer período comparável da história humana, sendo que a maioria destas mudanças foi consequente do elevado aumento da procura por recursos como alimentos, água, madeira, combustível e fibras, originado pelo crescimento populacional e pelo crescimento económico. Este acréscimo da procura para satisfazer as necessidades de consumo levou à consequente degradação dos serviços ecossistêmicos, que por sua vez têm vindo a afetar o bem-estar e a saúde do ser humano, especialmente em países com maiores índices de pobreza (Millennium Ecosystem Assessment Board, 2013). Desta forma, este estudo tornou perceptível que o desenvolvimento económico linear, praticado desde a Revolução Industrial, tem vindo a exercer pressão e a acelerar o esgotamento dos serviços ecossistêmicos e por isso a gerar diversos impactos ambientais negativos que afetam os seres humanos.

De acordo com a Platform for Accelerating the Circular Economy (PACE) (2019), a extração de recursos originada pelo crescimento populacional e pelo progresso económico desde a Revolução Industrial, tem vindo ao mesmo tempo a ser a causa de emissões de gases com efeito de estufa (figura 2). Estas, segundo o Plano de Ação para a Economia Circular (2017) são provenientes de poluentes para o ar e de resíduos, e são originadas desde a extração, ao longo de toda a cadeia de produção, ao nível do consumidor e no fim de vida. Ainda de acordo com o mesmo, mais de metade das emissões de gases com efeito estufa a nível mundial, são derivados de produção de materiais básicos.

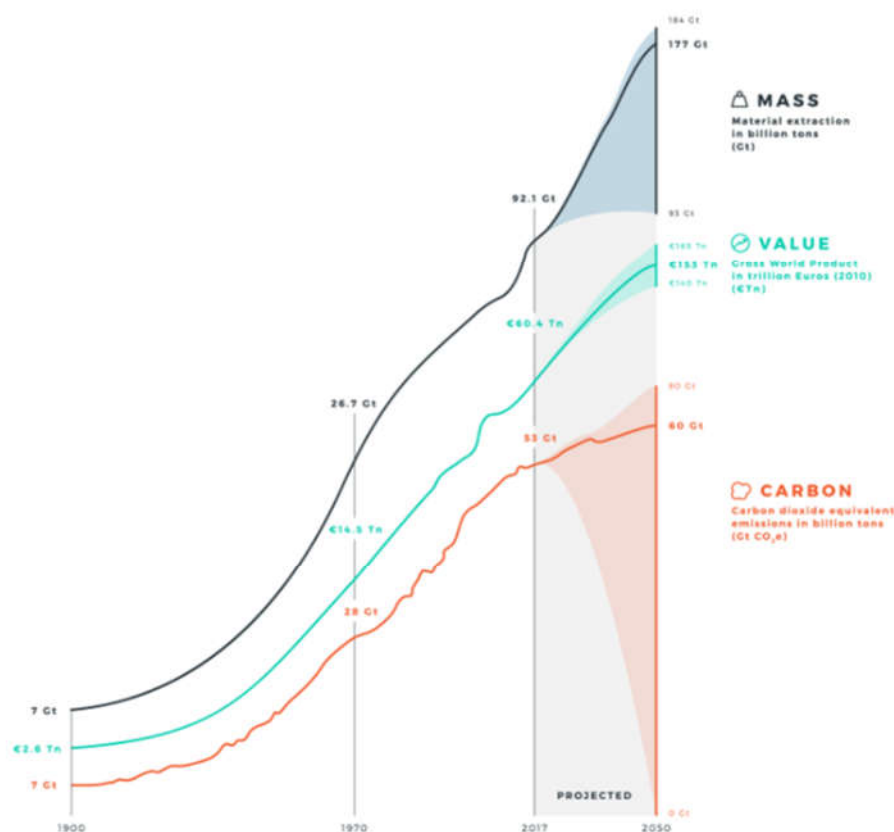


Figura 2- Variação da extração de material, criação de valor e de emissões de gases com efeito estufa (carbono) de 1900 a 2017 e projeções para 2050

Fonte: PACE (2019)

Como demonstra a figura 2, nas últimas quatro décadas, a extração global de materiais quase triplicou, passando de 26, 7 gigatoneladas (Gt) em 1970 para 92,1 gigatoneladas em 2017, sendo ainda previsto crescer para valores a rondar entre os 177 e 184 gigatoneladas até 2050. Também o produto mundial bruto se desenvolveu de forma semelhante, onde passou de 2,6 € triliões em 1990 para 60,4 € triliões em 2017, contudo, estes valores, alimentados pela expansão económica, especialmente na Ásia e em África, podem chegar até aos 165 € triliões em 2050. No que diz respeito às emissões globais, estas vêm igualmente a aumentar nas últimas décadas até atingirem 53 gigatoneladas equivalentes de Co₂ (GtCo₂e) por ano em 2017, sendo que apesar de todas as ambições de mitigação que tem vindo a ser implementadas, estas emissões podem chegar aos 60 gigatoneladas até 2050.

Deste modo, se pode afirmar que de facto, desde a Revolução Industrial que a economia linear tem vindo a proporcionar um desenvolvimento económico, contudo, tal

tem vindo também a ser alcançado através de um enorme custo para o planeta e para muitos dos seus habitantes. No mundo atual de recursos limitados e onde se tem vindo a assistir a um crescimento populacional, este modelo económico, face aos problemas que tem originado, não é mais adequado (PACE, 2019), e prova disso, é que neste mesmo ritmo, em 2050 seriam necessários recursos equivalentes a três planetas, para que fosse possível sustentar o atual modo de vida (República Portuguesa, 2017).

Ora, face ao pressuposto do modelo atual praticado representar um risco de escassez, tornando-se por isso insustentável (Ellen MacArthur Foundation, 2013), surgiu a necessidade de ser adotado um novo modelo económico alternativo, que permita um aumento de qualidade de vida, sem aumentar a procura por matérias primas virgens.

3. ECONOMIA CIRCULAR

3.1- Origens

No que diz respeito ao conceito de EC, não existe resposta concreta para a data da sua criação, ou quanto ao autor responsável. No entanto, pode se afirmar que este remonta a diferentes escolas de pensamento (Ghisellini et al., 2016). Segundo Stahel (2019), a circularidade tem os seus princípios na natureza e é praticada pelas sociedades desde o início dos tempos, sobretudo naquilo que nomeou como sociedade da escassez. Porém, a proposta do modelo atual de EC está inserida em outro contexto, com novas variáveis a serem contempladas.

De acordo com Ghisellini et al. (2016), os economistas Pearce e Turner introduziram o termo de economia circular, baseando-se em estudos anteriores do economista ecológico Kenneth Boulding, em 1966, entre os quais, o trabalho *Economics of the coming spaceship Earth*, previamente mencionado no capítulo 2, embora ainda como ação circular ao final do modelo linear.

A EC tem também as suas raízes conceituais na Ecologia Industrial (EI), teoria desenvolvida pela primeira vez por académicos ambientais na década de 1970 (Andersen, 2007; Preston, 2012). A EI constitui uma abordagem ao design de produtos e processos industriais, que efetua uma avaliação através de perspetivas duplas de competitividade do produto e interações ambientais, (Kapur & Graedel, 2016). Para Kapur & Graedel (2016) dada a natureza multidisciplinar da EI, torna-se difícil a atribuição de uma definição consistente e universalmente aceite. No entanto, a essência desta teoria pode ser captada pelas seguintes definições apresentadas:

Segundo Graedel e Allenby (2002, citado por Kapur & Graedel, 2016) a EI é:

“(…) o meio pela qual a humanidade pode, de forma intencional e racional, abordar e manter a sustentabilidade, dada a evolução económica, cultural e tecnológica contínua. O conceito requer que um ecossistema industrial seja visto não de forma isolada face ao seu ecossistema circundante, mas de acordo com o mesmo. É assim uma visão sistêmica que procura otimizar o ciclo total dos materiais, desde o material virgem até ao material acabado, ao componente, ao

produto e ao mesmo no seu fim de vida útil e descarte final. Os fatores que podem ser otimizados são os recursos, a energia e o capital.” (tradução livre).

Para Tibbs (1992) a EI tem como objetivo:

(...) interpretar e adaptar o entendimento do sistema natural e aplicá-lo ao design feito pelo homem, a fim de ser alcançado um padrão de industrialização que não seja apenas mais eficiente, mas que seja intrinsecamente ajustado às características e tolerância do sistema natural (...) (p.169) (tradução livre).

Ainda de acordo com o autor, para que a EI seja aplicada, é necessário um programa técnico e de gestão integrada que inclua:

- a criação do ecossistema industrial;
- o equilíbrio da entrada e saída industrial para a capacidade natural do ecossistema;
- desmaterialização da produção industrial;
- otimização do uso de materiais na indústria;
- padrões sistemáticos do uso de energia;
- alinhamento de políticas com uma perspectiva de longo prazo de evolução do ecossistema industrial.

Ambas as definições realçam as inter-relações entre os sistemas naturais e os sistemas industriais assim como a necessidade de limitar os impactos ambientais através do equilíbrio da entrada e saída consoante a capacidade do ecossistema (Kapur & Graedel, 2016). Por conseguinte, é perceptível que a compreensão do conceito de EI é necessário para perceber a origem do conceito da EC, uma vez que, a EI é um pilar fundamental presente na estrutura base da EC, pois esta relaciona a necessidade de preservação dos recursos com a redução dos impactos ambientais em atividades de produção, a partir do estudo dos fluxos de materiais e de energia em atividades industriais.

De acordo com a Ellen MacArthur Foundation (2013) existem ainda outras abordagens mais recentes, entre as quais a biomimética e o *cradle to cradle* (do berço ao berço), que de alguma forma influenciaram e contribuíram para o refinamento e desenvolvimento do conceito de EC. No que diz respeito à biomimética, esta define-se como o estudo da formação, estrutura ou função de substâncias, materiais ou mecanismos

de forma biológica e de processos (como a fotossíntese), com especial propósito de sintetização de produtos semelhantes por mecanismos artificiais que imitem os naturais (Bhushan, 2009). Segundo Benyus (1997) e a Ellen MacArthur Foundation (2013) esta é baseada em três princípios fundamentais:

- a natureza como modelo: a biomimética é uma ciência que estuda os modelos da natureza e, em seguida, utiliza a inspiração nos seus processos e sistemas para a resolução dos problemas humanos, como por exemplo, uma célula solar inspirada numa folha;
- a natureza como medida: uso de um padrão ecológico para avaliar a sustentabilidade das inovações, dado que a natureza após 3,8 bilhões de anos de evolução, consegue nos fornecer aprendizagens sobre o que dura, o que funciona e o que é apropriado;
- a natureza como mentor: valorizar a natureza com base nas lições que esta nos pode proporcionar, e não com base no que pode ser extraído.

Por outro lado, o conceito *Cradle to Cradle* foi desenvolvido por o químico alemão Michael Braungart juntamente com o arquiteto americano Bill McDonough (Ellen MacArthur Foundation, 2013; Rossi et al., 2006). Neste conceito, todos os materiais envolvidos nos processos industriais e comerciais são considerados nutrientes. Este efetua ainda uma distinção entre os ciclos biológicos e técnicos dos materiais (Ellen MacArthur Foundation, 2013; McDonough & Braungart, 2002). Materiais como fibras naturais ou embalagens biodegradáveis por exemplo, circulam num ciclo biológico, no qual produtos pós-uso não são transformados em resíduos, uma vez que são reintroduzidos com segurança após a sua utilização, transformando-se em compostos ou outros materiais que, por sua vez podem ser utilizados para fazerem um novo produto. Desta forma, dizem-se nutrientes para um novo produto (EPEA, 2020).

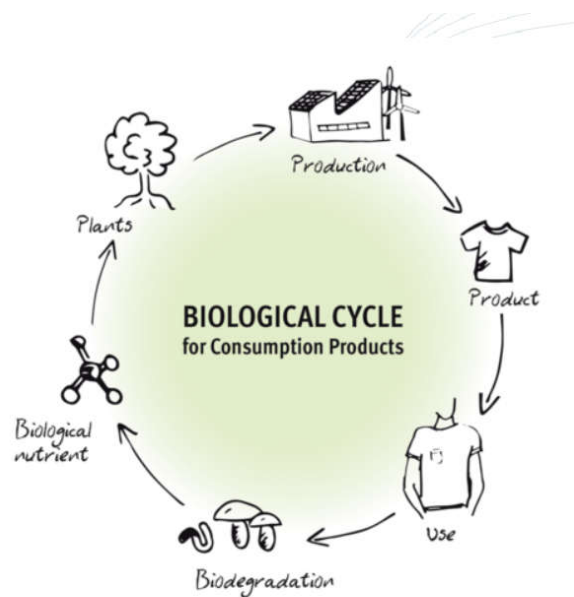


Figura 3- Esquema gráfico do ciclo biológico do conceito "Cradle to Cradle"

Fonte: EPEA, (2020)

Bens de consumo, como são exemplo os equipamentos eletrónicos, circulam num ciclo técnico. Neste os produtos são otimizados durante o seu processo de design e fabrico para poderem ter uma nova vida útil como novos produtos. Isto é efetuado através da classificação dos seus materiais constituintes após a sua utilização, para posteriormente serem reintroduzidos num ciclo técnico. Assim, é mantida a qualidade dos materiais e é evitado um ciclo descendente (EPEA, 2020).

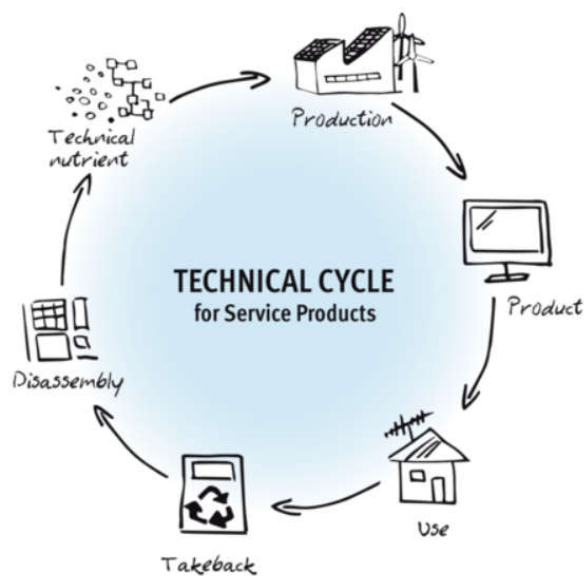


Figura 4- Esquema gráfico do ciclo técnico no conceito "Cradle to Cradle"

Fonte: EPEA, (2020)

Como se pode verificar nas figuras 3 e 4, o design implícito no conceito *Cradle to Cradle* tem em consideração os processos seguros e produtivos do “metabolismo biológico” presente na natureza, como modelo base para o desenvolvimento de um fluxo de “metabolismo técnico” de materiais industriais (Ellen MacArthur Foundation, 2013; McDonough & Braungart, 2002), no qual os produtos e materiais são projetados para serem recuperados e reutilizados de forma contínua, como nutrientes biológicos e técnicos dentro dos seus respetivos ciclos (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

3.2- Conceito e definição

A EC tem vindo a receber cada vez mais atenção nos últimos anos em todo o mundo. Esta atenção resulta do reconhecimento deste conceito como potencial solução de superação face ao atual modelo de produção e consumo, designado por *take, make and dispose* (Ness, 2008), que apenas se baseia no crescimento contínuo através da exploração de recursos (Ghisellini et al., 2016). Parte deste reconhecimento pode ser verificado pelo crescente número de publicações científicas nas principais bases de dados como Web of Science e Scopus, como apontado nas figuras 5 e 6.

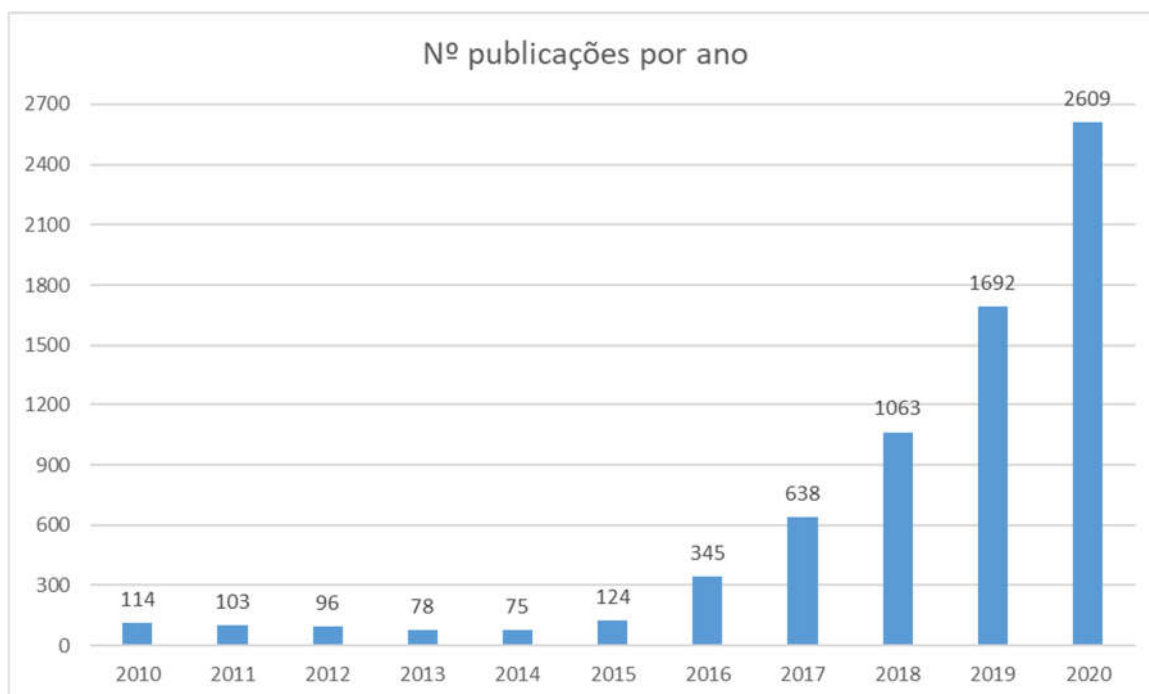


Figura 5- Número de publicações no Web of Science referentes à Economia Circular (2010-2020)

Fonte: Elaboração própria

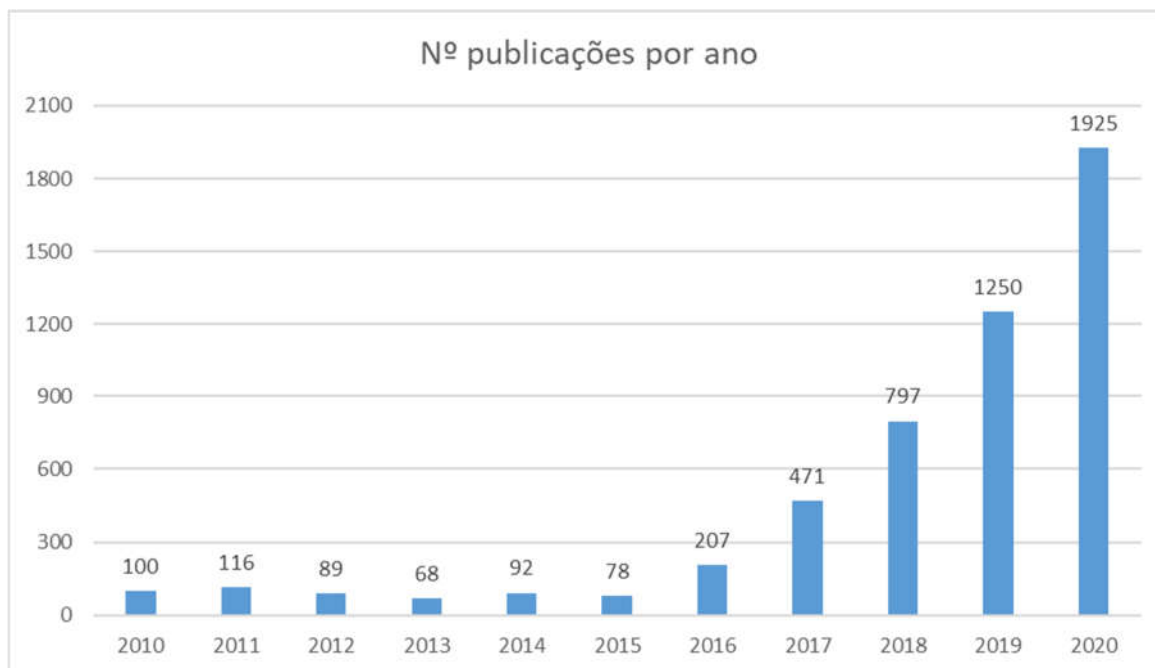


Figura 6- Número de publicações na Scopus referentes à Economia Circular (2010-2020)

Fonte: Elaboração própria

Os respetivos gráficos, são resultado da pesquisa da palavra-chave “circular economy”, no qual foi selecionado o período entre 2010 e 2020. Ambas as figuras demonstraram um crescimento das publicações, sobretudo a partir do ano de 2015. De salientar ainda a evolução verificada do ano 2019 para 2020 uma vez que em ambos os gráficos, corresponde ao maior aumento de publicações entre dois anos consecutivos.

Desta forma, torna-se pertinente a apresentação de algumas definições da temática da Economia Circular, de acordo com as publicações científicas.

No trabalho *Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions*, o objetivo foi de identificar um conjunto dos muitos elementos que são destacados como estruturantes para criar o conceito de Economia Circular. Tendo os autores Kirchherr et al. (2017) reunido 114 definições, apresentaram a seguinte definição para a Economia Circular:

“(…) Sistema económico que substitui o conceito de ‘fim de vida’ pela redução, através da reutilização, reciclagem e recuperação de materiais em processos de produção/distribuição e consumo. Atua ao nível micro (produtos, empresas, consumidores), a nível meso (parques industriais) e a nível macro (cidade, região, país e além), com objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável, criando

simultaneamente qualidade ambiental, prosperidade económica e igualdade social em benefício das gerações atuais e futuras (...).” (p.229) (tradução livre)

De destacar que a EC passou a motivar maior número de estudos recentes por conta das questões legais e normativas iniciadas primeiramente pela China que foi o primeiro país a incluir em sua legislação a procura por práticas de circularidade em 2008, e na sequência, a União Europeia que apresentou em 2015 o Plano de Ação para a União Europeia de Economia Circular (PAEC). Neste documento a EC é definida como uma economia que começa desde o início do ciclo de vida dos produtos, onde estes são concebidos de forma a serem mais duráveis, fáceis de reparar, refabricar e modernizar, sendo privilegiada, sempre que possível para a sua produção, a utilização em cascata dos recursos renováveis com vários ciclos de reutilização e por fim, reciclagem. A EC é ainda caracterizada por ser capaz de evitar danos irreversíveis causados pela utilização excessiva de recursos, impulsionar a competitividade das empresas, diminuir a volatilidade dos preços e de criar formas inovadoras e otimizadas de produção e consumo (Comissão Europeia, 2015).

Dentro das organizações que promovem mudanças no sistema de produção e consumo mundial para um modelo mais equilibrado, e que muito tem contribuído para fomentar, junto a gestores privados e públicos, governos, e ao mercado como um todo, melhores práticas de circularidade está a Fundação Ellen Macarthur (EMF). Com reconhecida relevância devido ao elevado número de trabalhos direcionados à temática, cujo objetivo passa pela integração da EC numa agenda mais alargada, é importante também referir, a definição proposta por esta entidade.

Para a EMF (2013), a EC define-se como um sistema restaurador por intenção e design, assente em três princípios:

- 1- preservar e valorizar o capital natural através de um controlo sobre os stocks e do equilíbrio dos fluxos de recursos naturais;
- 2- otimizar o rendimento dos recursos através da circulação de produtos, materiais e componentes em uso, em todos os momentos;
- 3- promover a eficácia do sistema de forma a reduzir as externalidades negativas.

A EMF (2013) refere ainda que, além do foco nos recursos, a EC incentiva a produção e ampliação do uso de energias renováveis e o fim da utilização de produtos químicos tóxicos, uma vez que a toxicidade do recurso natural impede que o mesmo retorne de forma segura ao meio ambiente. Procura respeitar os limites do planeta através dos materiais reciclados, reduzindo de forma simultânea o consumo de matéria prima e de energia, enquanto reduz as emissões de gases de efeito estufa e perdas de materiais (European Environment Agency, 2016).

Desta forma se constata, que apesar das inúmeras definições referentes ao conceito EC, é possível afirmar que a EC se apresenta como método alternativo, que pode dar respostas às atuais problemáticas relacionadas com o modelo linear, permitindo aos agentes económicos, prevenir situações adversas (Economics, 2016). Por esse motivo, este tem também gerado um grande interesse não só para académicos, mas também para as empresas (Ghisellini et al., 2016; Kirchherr et al., 2017b; Murray et al., 2017) e para os governos, quer a nível local, regional e internacional (Ghisellini et al., 2016; Su et al., 2013).

3.3- A transição para a Economia Circular

Reconhecida a importância da EC como método alternativo capaz de solucionar os atuais problemas consequentes do modelo económico linear, torna-se fundamental a tomada de ações para estabelecer uma transição entre os respetivos modelos económicos.

Para Bocken et al (2016) existem duas estratégias fundamentais para que haja a circularidade de recursos, são elas:

1. Retardar o ciclo de recursos (*Slowing resource loop*), que pode ser feito através do design e pela extensão da vida útil de um produto (por exemplo um serviço de ciclo através de reparo ou remanufatura), para que assim seja estendida a vida de um determinado produto. Assim é intensificado e/ou estendido o período de utilização de um produto, resultando na desaceleração do fluxo de recursos.

2. Fechar o ciclo dos recursos (*Closing resource loops*), que pode ser feito através da reciclagem. Assim um ciclo entre o pós-uso e a produção é fechado, resultando assim num fluxo circular de recursos.

Estas abordagens distinguem-se de uma terceira:

3. Otimização de recursos ou estreitamento dos fluxos de recursos (*Resource efficiency or narrowing flows*). Esta, por sua vez, não visa a utilização cíclica de materiais e produtos, mas apenas a redução do uso de recursos associados para a sua produção. Esta abordagem é ainda diferente da primeira abordagem referida, pois, ao contrário da mesma, não influencia a velocidade do fluxo de produtos nem envolve qualquer serviço de ciclo (figura 7).

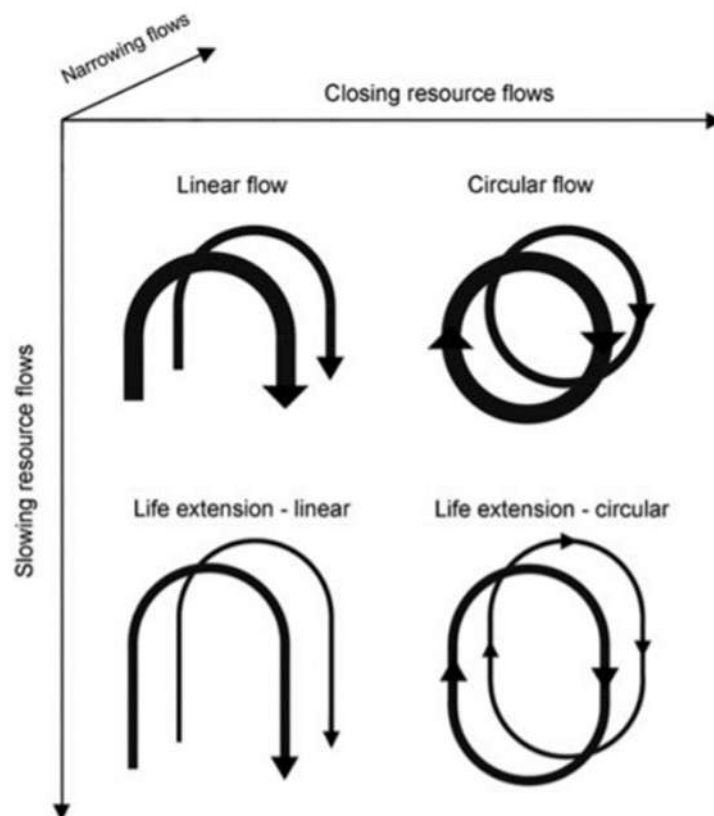


Figura 7- Categorização das abordagens lineares e circulares para a redução da utilização dos recursos

Fonte: Bocken et al (2016)

Ainda na perspectiva dos autores, para que se aplique efetivamente o conceito de circularidade, o design deve estar de acordo com as três abordagens, referindo ainda necessidade de ambos elementos serem implementados de forma conjunta.

Para que esta transição seja apoiada, é necessária também a adoção de padrões de produção mais limpos ao nível empresarial, um aumento da consciência e responsabilidade não só dos produtores, mas também dos consumidores, a utilização sempre que possível, de tecnologias e materiais renováveis, bem como a adoção de políticas e ferramentas claras, estáveis e adequadas. Para isso é necessário também, o envolvimento de todos os atores da sociedade e da sua capacidade de vinculação e criação de padrões adequados de colaboração (Ghisellini et al., 2016).

Assim, fica claro que para que seja considerada efetivamente EC, são necessários vários elementos importantes, a começar pelo processo de design do produto. Isto porque, no processo de Economia Linear, uma vez concebidas as especificações de um produto, apenas pequenas alterações são geralmente possíveis de serem efetuadas no mesmo. Deste modo torna-se difícil posteriormente efetuar alterações, dado que os recursos, infraestruturas e as atividades foram já comprometidas com um determinado design de produto. Desta forma, afirma-se ser fundamental integrar todas as preocupações inerentes à EC, logo no processo de design do produto que faz toda a previsão circular também dos processos (Bocken et al., 2016).

Tal transição oferece novas perspectivas para a economia na busca de fontes de crescimento e emprego, ao mesmo tempo que permite ser uma fonte de resiliência e estabilidade (Ellen MacArthur Foundation, 2013). A mesma perspectiva ainda novas oportunidades para impulsionar a inovação de materiais e de melhores serviços e produtos (European Environment Agency, 2016).

De acordo com a European Environment Agency (2016), na transição da economia linear para a EC, são originados benefícios a nível económico, ambiental, social e ao nível dos recursos (figura 8).

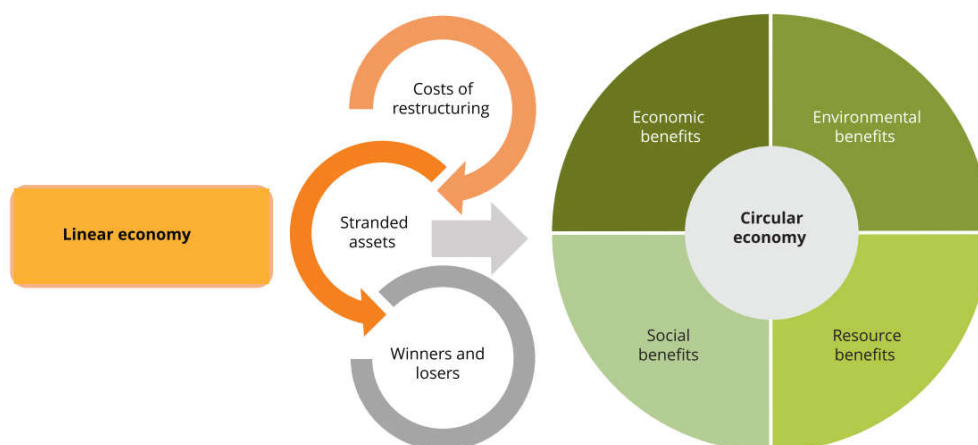


Figura 8- Benefícios da transição da Economia Linear para Circular

Fonte: European Environment Agency (2016)

No que diz respeito aos benefícios a nível dos recursos, uma EC poderia aumentar a otimização do consumo de recursos primários, através da conservação de materiais incorporados em produtos de alto valor, ou através da devolução de resíduos para a economia sob forma de matérias-primas secundárias. Uma EC permitiria ainda reduzir a procura por matérias-primas primárias, o que ajudaria muitos países a reduzir a dependência das importações e a tornar as cadeias de aquisição de muitos setores industriais desses países menos sujeitos à volatilidade dos preços dos mercados internacionais, a fatores geopolíticos e à incerteza de abastecimento.

Relativamente aos benefícios ambientais, seria aumentada a resiliência dos ecossistemas e diminuídos os impactos ambientais, como por exemplo a redução nas emissões de gases com efeito estufa. No que concerne aos benefícios económicos, uma EC poderia oferecer uma plataforma para abordagens inovadoras, como por exemplo modelos de negócios e tecnologias, capazes de com menos recursos naturais, criar mais valor económico. Para além disto, uma EC ainda proporcionaria reduções de custo significativas para diversos setores.

Adicionalmente, para os benefícios sociais, é esperado que a inovação social, associada ao design ecológico, compartilhamento, reciclagem e outros desenvolvimentos semelhantes resultem em comportamentos mais sustentáveis por parte dos consumidores, o que por sua vez, fornece importantes contribuições para a segurança e saúde humana. Em acréscimo, também diferentes estratégias circulares podem gerar diferentes tipos de

empregos, como por exemplo estratégias de trabalho para a preparação e classificação de materiais e produtos para reutilização e reciclagem.

Contextualizada a relevância da tomada de ações para a transição entre os modelos já referidos, assim como os vários benefícios que resultariam desta mesma transição, é necessário proceder à implementação da EC.

3.4- Implementação da Economia Circular

Para que seja implementada uma EC em maior escala, é exigida uma transformação fundamental da sociedade. Esta por sua vez, para acontecer, necessita da mudança de formas simultâneas em vários subsistemas, mais concretamente a nível regional, nacional, e à escala europeia e global (van Buren et al., 2016).

Devem ser combinadas estratégias *top-down* (de cima para baixo) por meio de instituições públicas como por exemplo órgãos governamentais e formuladores de políticas, e estratégias *bottom-up* (de baixo para cima) por meio das indústrias. O motivo para esta combinação de estratégias simultâneas, é baseado na suposição de que existem motivações inversas entre ambas as partes interessadas na EC, que precisam ser alinhadas e convergidas (Lieder & Rashid, 2016).

Na perspetiva de Lieder & Rashid (2016), os órgãos governamentais e os formuladores de políticas defendem a consciência coletiva sobre as temáticas ambientais, assim como o benefício social das atividades industriais, como consequência existe a noção da possibilidade da maximização dos benefícios ambientais, através do controlo dos negócios ao nível da indústria. Por outro lado, as empresas têm consciência dos impactos ambientais que as suas atividades industriais causam, no entanto, devido à pressão competitiva, estes impactos são muitas vezes desconsiderados, uma vez que o foco principal passa pelo crescimento económico. Dado este cenário, torna-se obrigatório um processo alinhado e convergente para serem atingidos os interesses das instituições públicas (parte superior), e os múltiplos atores industriais (parte inferior), com objetivo de evitar a priorização dos benefícios ambientais em detrimento dos benefícios económicos e vice-versa, criando desta forma, uma economia ambiental e economicamente regenerativa, que beneficia ambas as partes envolvidas (figura 9).

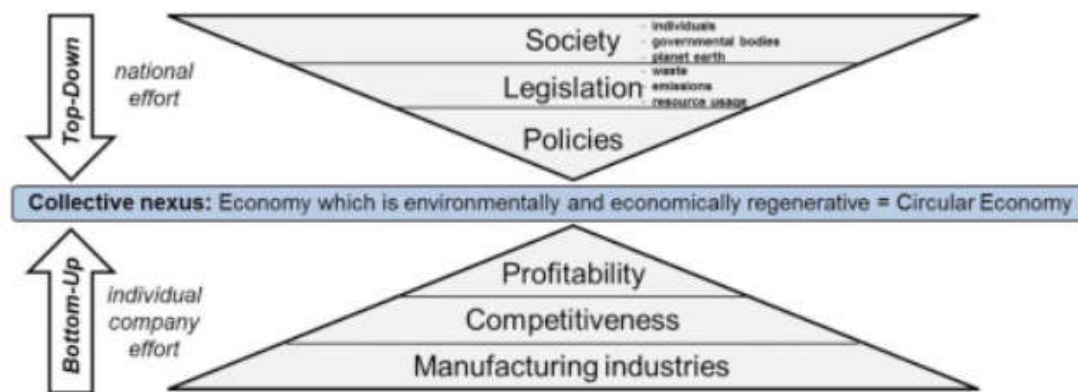


Figura 9- Estratégia de implementação da EC, através da combinação de estratégias top-down e bottom-up

Fonte: Lieder e Rashid (2016)

No que diz respeito aos diferentes níveis de implementação da EC, parece existir um consenso quanto à sua caracterização em três diferentes níveis: micro, meso e macro (Ghisellini et al., 2016; Kirchherr et al., 2017a), no entanto, foi possível verificar algumas divergências nas abordagens consoante os respetivos autores.

Segundo a abordagem de Ghisellini et al (2016) a nível micro, uma implementação da EC deve implicar um design ecológico e a adoção de uma produção mais limpa. Relativamente ao design ecológico, este leva em consideração todos os impactos ambientais dos produtos desde a sua fase inicial, que pode favorecer um melhor uso dos materiais e recursos. Por outro lado, a introdução de uma produção limpa, realizada por exemplo através de ecoparques industriais, que correspondem a projetos, onde comunidades, grupos de empresas locais e outros atores, efetuam trocas de água, energia, subprodutos e resíduos (Lehtoranta et al., 2011), origina benefícios ambientais e económicos para as empresas, uma vez que permite não só reduzir a quantidade de resíduos gerados, mas também os custos do seu descarte final. Ao nível meso, a implementação da EC diz respeito apenas a ações do lado da produção, envolvendo o desenvolvimento de ecoparques industriais, simbiose industrial e *networks*. Nestes sistemas, indústrias que funcionavam tradicionalmente de forma separada, envolvem-se em complexas trocas de recursos (designada simbiose industrial), com objetivo de alcançar benefícios ambientais e económicos. Por último o nível macro, o qual corresponde ao desenvolvimento da EC nas cidades, províncias ou regiões, através da

integração e o redesign de quatro sistemas: os sistemas industriais, o sistema de infraestruturas de prestação de serviços, a estrutura cultural e o sistema social.

No trabalho de Su et al (2013), por sua vez, foi utilizada uma abordagem semelhante, na qual foram cobertas práticas ligadas à EC nas seguintes áreas: produção, consumo, gestão de resíduos. No nível micro, na área de produção, os produtores devem ser incentivados ou mesmo obrigados a adotar produtos mais limpos e um eco design. Em termos de consumo, deve ser promovido um consumo verde, para facilitar o uso e a compra de produtos ecológicos. Relativamente à gestão dos resíduos, as empresas devem sempre que possível utilizar os recursos residuais de produtores, consumidores e outras empresas, para em seguida estes serem transformados ou reciclados, de forma poderem voltar a ser integrados no sistema, com a finalidade de ser construído um ecossistema industrial. A nível meso, as práticas devem incluir, por exemplo, o desenvolvimento de ecoparques industriais e sistemas ecoagrícola, em que ambos os casos aplica-se o conceito de simbiose industrial. As empresas integradas num eco-parque industrial podem partilhar infraestruturas e serviços, como água, calor, energia e resíduos de fabricação, melhorando o seu desempenho ambiental e simultaneamente diminuir o custo geral de produção. De forma semelhante, num sistema ecoagrícola, são utilizados os subprodutos e resíduos de colheita e gado. Por último a nível macro, no que concerne à área de produção, é necessário a inclusão de extensas redes cooperativas entre as indústrias e os parques industriais do setor primário, secundário e terciário. Sobre o consumo, é proposto um sistema de aluguer, baseado no conceito de serviço. Na área da gestão de resíduos, reside a principal diferença face à abordagem anteriormente referida, uma vez que, segundo Su et al (2013), nesta mesma área, deve ser promovida, como extensão da simbiose industrial, a simbiose urbana, que se baseia na oportunidade sinérgica decorrente da proximidade geográfica por meio da transferência de resíduos, para benefício económico e ambiental.

Dadas as duas abordagens referidas, fica perceptível a importância da implementação de práticas de EC ao nível da produção, consumo e gestão de resíduos nos diferentes níveis.

Pelo enquadramento do Plano de Ação para a Economia Circular em Portugal, este considera três níveis de ações:

- Macro, que corresponde às ações de âmbito estrutural. Estas ações produzem efeitos sistêmicos e transversais que potenciam na sociedade a necessidade de apropriação dos princípios da EC.
- Meso (setorial), que diz respeito a iniciativas ou ações dos intervenientes nas cadeias de valor, em setores relevantes para o aumento da produtividade e para a utilização ótima dos recursos, com propósito de capturar benefícios ambientais, sociais e económicos.
- Micro (regional/local), que indica as iniciativas ou ações do conjunto de agentes económicos, governativos, sociais, regionais e/ou locais.

Apesar de verificadas algumas diferenças, quanto à implementação da EC nos diferentes níveis, é possível perceber que nas abordagens apresentadas, o principal objetivo da implementação da EC passa por alcançar um Desenvolvimento Sustentável (Ghisellini et al., 2016; Lieder & Rashid, 2016; Su et al., 2013).

3.5- Economia Circular e Desenvolvimento Sustentável

Em 1987, foi elaborado um documento intitulado de *Our Common Future*, pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento, por solicitação da Organização das Nações Unidas (ONU) (World Commission on Environment and Development, 1987). No documento foi proposta uma definição para o termo Desenvolvimento Sustentável (DS) como:

“(...) aquele que garante que são atendidas as necessidades do presente, sem que seja comprometida a capacidade das gerações futuras em atender as suas próprias necessidades. Implica limitações impostas pelo estado atual da tecnologia e da organização social dos recursos ambientais, e pela capacidade da biosfera em absorver os efeitos das atividades humanas (...).” (p.16) (tradução livre)

Este identificou ainda, aqueles que até aos dias de hoje são considerados os pilares fundamentais do DS: a Economia, a Sociedade e o Ambiente (Clarke et al., 2016; World Commission on Environment and Development, 1988).

A implementação deste conceito, tem constituído uma tarefa difícil e complexa, pois requer esforços de forma contínua e a longo prazo (Banaité, 2016). Neste sentido a ONU estabeleceu a definição da Agenda 2030, constituída por 17 Objetivos do

Desenvolvimento Sustentável (ODS). Estes definiram as prioridades e aspirações globais para 2030 e tiveram como interesse a criação de um modelo global capaz de acabar com a pobreza e de promover o bem-estar dos seres humanos. Mencionaram ainda como ambições, a proteção do ambiente e o combate às alterações climáticas. Estes objetivos, foram concretizados para serem priorizados por todos os mercados a nível mundial, sendo por isso imperativo, uma gestão sustentável dos recursos no âmbito de toda a economia. (Organização das Nações Unidas, 2018).

A EC por sua vez, se for adotada em maior escala, pode apresentar um papel contributivo para a implementação dos ODS (Ellen MacArthur Foundation, 2019b; United Nations Environment Programme, 2018). De acordo com a EMF (2019b), a EC pode mesmo ter um papel importante para o cumprimento dos mesmos, pois apresentaria soluções a grandes desafios do nosso tempo, como a perda da biodiversidade, a escassez de recursos, a poluição e o desperdício. A mesma referiu ainda que, uma vez que a EC contribuiria para o objetivo do consumo e produção responsáveis (ODS 12) e desenvolveria sistemas alimentares inteligentes em termos de recursos, esta contribuiria para pelo menos 12 dos 17 ODS, estabelecidos na Agenda 2030.

Também segundo a perspetiva de Schroeder et al (2019), as práticas de EC podem ajudar a atingir várias metas definidas pelos ODS. Ainda segundo os autores, os maiores contributos seriam para o ODS 6 (Água limpa e Saneamento), ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ODS 8 (Trabalho decente e crescimento económico), o já referido ODS 12 (Consumo e produção responsáveis) e o ODS 15 (Vida na Terra). Para além destes contributos de forma direta, as práticas da EC detém ainda potencial para criar sinergias entre os vários ODS, como por exemplo a promoção do crescimento económico e empregos decentes (ODS 8), acabar com a fome e a produção sustentável de alimentos (ODS 2), eliminar a pobreza (ODS1) e ainda ODS que visem a proteção da biodiversidade na terra e nos oceanos (ODS 14 e ODS 15 respetivamente).

Assim, dados os relevantes contributos que uma maior adoção da EC daria para o cumprimento dos ODS, se pode afirmar igualmente que a sua implementação em larga escala, pode contribuir desta forma para o DS a longo prazo.

3.6- Barreiras à implementação da Economia Circular

Tendo sido percebida a importância da implementação da EC, assim como o seu papel contributivo para o alcance do DS, foi necessário também compreender as barreiras que têm surgido, porque até agora, foram alcançados apenas alguns progressos em relação à sua implementação (Kirchherr et al., 2018).

A Comissão Europeia realizou um estudo para explorar as atividades das pequenas e médias empresas relacionadas com a EC, assim como para perceber que barreiras foram sentidas pelas mesmas. Para a concretização desse estudo, foram realizados inquéritos a cerca de 10.618 nos 28 Estados-Membros da União Europeia durante o ano de 2016 (European Commission, 2016). No que diz respeito às barreiras sentidas pelas empresas, os resultados foram divididos em duas secções: os problemas que as empresas que desenvolviam atividades relacionadas com a EC sentiram, e os problemas que levavam certas empresas a não desenvolverem atividades relacionadas com a EC.

No que concerne às empresas incluídas no primeiro grupo mencionado, mais de metade relatou ter tido pelo menos um dos problemas listados: procedimentos administrativos ou jurídicos complexos, o custo do cumprimento de regulamentos ou normas, o acesso ao financiamento, a falta de experiência e a falta de recursos humanos. Para o segundo grupo, foram identificados os seguintes motivos pelos quais as empresas não desenvolviam qualquer atividade: falta de ideias claras dos benefícios sobre os custos ou sobre os processos de trabalho, falta de especialização para a implementação dessas atividades, a complexidade dos procedimentos administrativos ou jurídicos, as dificuldades de acesso ao financiamento, falta de uma ideia clara sobre o investimento necessário e por último o custo do cumprimento dos regulamentos ou normas.

Ritzén & Sandström (2017), apresentaram uma categorização das barreiras mais frequentes dentro das organizações, de acordo com vários estudos previamente elaborados sobre as barreiras à EC. Como resultado, foram determinadas cinco principais barreiras à EC: Financeiras, Estruturais, Operacionais, Comportamentais e Tecnológicas (tabela 1).

Tabela 1- Barreiras à EC nas organizações

Financeiras	Medir os benefícios financeiros da Economia Circular Rentabilidade financeira
Estruturais	Falta de troca de informações Distribuição pouco clara da responsabilidade
Operacionais	Infraestruturas/ Gestão das cadeias de abastecimento
Comportamentais	Aversão ao risco Percepção de sustentabilidade
Tecnológicas	Integração em processos de produção Design do produto

Fonte: Ritzén & Sandström (2017)

Kirchherr et al. (2018) também apresentaram um estudo sobre as barreiras da EC, mais concretamente na Europa, onde foram conduzidas 47 entrevistas com especialistas de EC, complementadas com uma pesquisa efetuada com 208 *stakeholders* (partes interessadas) de empresas e governos. Este estudo teve como objetivo perceber as principais barreiras que atrasavam ou atrapalhavam a transição para uma EC na União Europeia, uma vez que apesar da Comissão Europeia ter vindo a adotar uma variedade de políticas ambiciosas ligadas à EC, como foi exemplo o *Circular Economy Package*, lançado em 2015 e atualizado em 2018, a maioria dos Estados-Membros revelaram uma implementação limitada. Como resultado do trabalho, foram identificadas quatro principais barreiras (tabela 2).

Tabela 2- Barreiras principais da EC na Europa

Cultural	- Baixa vontade em colaborar na cadeia de valor - Operar num sistema linear - Falta de conscientização e interesse por parte do consumidor - Cultura hesitante nas empresas
Mercado	- Custos elevados nos investimentos iniciais - Financiamento limitado para os modelos de negócio circulares - Padronização limitada - Preços baixos na matéria-prima virgem
Tecnológica	- Poucos projetos de demonstração em grande escala - Falta de dados, por exemplo ao nível dos impactos - Design circular limitado - Capacidade de fornecimento de produtos remanufaturados de elevada qualidade
Regulatório	- Aquisição circular limitada - Falta consenso global - Obstrução por leis e regulamentos

Fonte: Kirchherr et al. (2018)

O estudo concluiu ainda que, a falta de conscientização e interesse por parte do consumidor, assim como uma cultura hesitante nas empresas, constituíram as principais sub-barreiras para EC. As barreiras mencionadas contribuíram por si só como dificuldades para a implementação da EC, no entanto, também as múltiplas interações entre estas podem estar na origem de reações em cadeia, contribuindo também para a falha de transição para uma EC (Kirchherr et al., 2018; Ritzén & Sandström, 2017).

Araujo Galvão et al (2018) desenvolveram um estudo, no qual, através de uma análise bibliométrica de 195 artigos extraídos a partir de bases de dados científicas, identificaram como principais barreiras apresentadas na literatura:

- tecnológicas;
- financeiras e económicas;
- os consumidores;
- políticas e regulatórias;
- os indicadores de desempenho.

Nos trabalhos desenvolvidos, foi verificada a inclusão das tecnologias, como uma das áreas que constituem barreiras à implementação da EC. Esta barreira, de acordo com Kirchherr et al (2018) tem vindo mesmo a ser atribuída pela maioria dos estudos académicos, como uma das principais responsáveis face aos pequenos progressos alcançados até agora na implementação da EC. Como verificado na tabela 2, os autores indicaram no estudo como barreiras tecnológicas principais, as limitações tecnológicas ao nível do design circular onde dão como exemplo o facto dos produtos não serem projetados para modelos de negócios circulares, poucos projetos de demonstração em grande escala, exemplificando a aplicação limitada de novos modelos de negócios, a falta de dados e por último a capacidade tecnológica para fornecer produtos remanufaturados, por exemplo ao nível da qualidade limitada dos materiais reciclados.

Também Jaeger e Upadhyay (2020) no trabalho *Understanding barriers to circular economy: cases from the manufacturing industry* identificaram diversas barreiras para a EC por empresas de manufatura. Entre elas, foi mencionado que a etapa da reciclagem requer processos de tecnologia intensiva com protocolos de teste de alto nível, para que sejam garantidos materiais reciclados de acordo com as especificações dos consumidores.

Face aos pressupostos referidos, é reconhecida a necessidade do desenvolvimento da componente tecnológica para que seja ultrapassada esta mesma barreira, e assim, se possa efetuar a transição de um modelo económico linear para um modelo económico circular.

4. METODOLOGIA E ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1- Metodologia

De acordo com Quivy & Campenhoudt (2008), uma investigação é caracterizada por ser “(...) um caminhar para um melhor conhecimento e deve ser aceite como tal, com todas as hesitações, desvios e incertezas que isso implica.” (p.31) Tem como objetivo descobrir e descrever fenómenos e acontecimentos, assim como também compreender e explicar porque razões tais fenómenos acontecem (Pinto, 1999). Para Fonseca (2002) a investigação é um processo permanentemente inacabado, que se processa através de sucessivas aproximações da realidade, e que fornecem ferramentas capazes de entender a realidade que nos encontramos a investigar. Ainda na ótica do autor, para que esta investigação seja concretizada, é necessário definir o tipo de investigação que se quer seguir, podendo esta ser de natureza qualitativa ou quantitativa.

A escolha do método pelo investigador deve considerar os recursos naturais, pessoais e temporais que estão disponíveis para lidar com uma determinada pergunta científica, pelo que o investigador deve usar a abordagem que lhe permita chegar ao resultado que melhor contribua para compreender o fenómeno investigado (Günther, 2006). Face aos pressupostos mencionados, e com vista a orientar a investigação da melhor forma, foi definida a questão de investigação:

Como as barreiras tecnológicas têm sido trabalhadas pelo setor têxtil segundo as premissas de Economia Circular?

Dentro das abordagens metodológicas, a metodologia qualitativa parece ser indicada para trabalhar tal questão, uma vez que, ao contrário da metodologia quantitativa que se preocupa com a medição de forma objetiva e com a quantificação dos resultados, a metodologia qualitativa não procura uma medição ou enumeração dos eventos estudados, assim como não utiliza instrumentos estatísticos para efetuar uma análise dos dados (Godoy, 2017). Esta por sua vez, segundo Godoy (2017) “Parte de questões ou focos de interesses amplos, que vão se definindo à medida que o estudo se desenvolve. Envolve a obtenção de dados descritivos sobre pessoas, lugares e processos interativos pelo contato direto do pesquisador com a situação estudada, procurando compreender os

fenómenos segundo a perspectiva dos sujeitos, ou seja, dos participantes da ação em estudo (...) “(p.58). No que diz respeito ao método, foi utilizado um estudo de caso. De acordo com Yin (1994) um estudo de caso é definido como uma abordagem empírica que “ Investiga um fenómeno contemporâneo dentro do seu conceito de vida real, especialmente quando as fronteiras entre fenómeno e contextos não são claramente evidentes (...) “ (p.24). Ainda mediante a ótica de Carmo & Ferreira (2008), esta definição refere-se ao estudo de caso exploratório, que foi o definido para a concretização do presente estudo, no entanto, existem ainda outros tipos de estudo de caso. Assim, a investigação em causa concretizou-se no setor têxtil, dado constituir um dos setores que mais impactos negativos (ambientais, sociais e económicos) tem gerado por atuar sob um sistema económico linear, e teve como propósito a exploração do papel das tecnologias na transição de uma Economia Linear para uma EC no mesmo.

Os estudos de caso podem ainda ser estudados como um único caso ou como múltiplos casos (Carmo & Ferreira, 2008; Merriam, 1998; Yin, 1994) , tendo neste trabalho sido escolhido como método múltiplos estudos de caso, uma vez que, foi definida mais do que uma unidade de análise, um dos passos de planificação de um estudo de caso de natureza qualitativa (Yin, 1994).As unidades de análise, foram também seleccionadas de acordo a questão de investigação, uma vez que, de acordo com Yin (1994) a definição da unidade de análise deve ser relacionada com a formulação das perguntas de investigação .Deste modo, foram seleccionadas empresas cujas tecnologias desenvolvidas podem fornecer diferentes contributos para a transição entre os modelos económicos já referidos, podendo por conseguinte, obter respostas à questão de investigação inicialmente definida.

Como já mencionado, uma investigação é um processo que permite sucessivas aproximações da realidade e que nos fornece ferramentas para entender a realidade da nossa investigação. Desta forma, foi também elaborada uma revisão de literatura das temáticas investigadas. Esta constitui uma componente essencial do processo de investigação, uma vez que contribui para conceptualizar a realização do estudo e a interpretação dos resultados (Carmo & Ferreira, 2008). Por último, procedeu-se à recolha de dados por análise documental, uma das diferentes técnicas para a recolha de dados no estudo de caso (Günther, 2006), onde foram utilizados dados secundários como resultado do levantamento de múltiplas fontes bibliográficas de diversos autores, onde foram

selecionadas fontes confiáveis e fidedignas de informação, principalmente a Scopus, Web of Science, o Fórum Económico Mundial e ainda os relatórios elaborados pela Fundação Ellen MacArthur.

4.2- Análise de resultados

Neste subcapítulo, foi primeiramente desenvolvido um enquadramento da importância da implementação da EC no setor têxtil, assim como a identificação da tecnologia como barreira à sua implementação. Em seguida foram analisados diferentes casos de estudo referentes a empresas que têm desenvolvido tecnologias inovadoras que detêm o potencial de ajudar o setor na transição para uma EC, mais concretamente, através da otimização da reciclagem de têxteis. Por último, foram sintetizados e analisados os diferentes contributos provenientes de cada uma das tecnologias mencionadas.

4.2.1- A Economia Circular no setor têxtil

Os mais antigos indícios de que o ser humano fabricava e usava têxteis remontam aos tempos da pré-história, sendo que os mesmos são suportados por várias evidências de escavações arqueológicas. Os primeiros registos históricos, indicam que, sob a forma de necessidade básica de sobrevivência, no período Paleolítico, o homem da caverna utilizava peles de animais como forma de tecido para assim se proteger. Desde então, os demais registos demonstram que a necessidade da utilização de têxteis para proteção, sempre acompanharam o ser humano ao longo de toda a sua história (Bezerra et al. 2002).

Os têxteis da palavra latina *textilis*, que significa tecido, são materiais elaborados através de vários filamentos longitudinais de diferentes construções. Através de uma gama vasta de fibras, vários tipos de fios e amplas possibilidades de tratamento, é possível originar uma gama bastante diversificada de tecidos feitos por vários métodos como a tecelagem, tricô, feltragem ou tufagem e posteriormente gerar uma grande variedade de produtos (Euratex, 2020). Os têxteis e as roupas constituem uma parte fundamental da nossa vida quotidiana e são um setor muito importante da economia mundial (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Franco, 2017). De acordo com a Euratex (2018), a indústria têxtil e do vestuário, encontra-se incluída nas indústrias de bens e consumo mais essenciais, correspondendo por mais de 37% da atividade industrial total a nível europeu

e empregando 1,7 milhões de pessoas apenas na Europa. É composta por diferentes subsetores (vestuário ou roupa, têxteis técnicos e têxteis de interior) e caracteriza-se por ter uma cadeia de abastecimento longa e complexa (Franco, 2017). Só a indústria do vestuário, a nível global, emprega mais de 300 milhões de pessoas ao longo da cadeia de valor, e representa mais de 60 % do total de têxteis usados (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

A procura global por produtos têxteis tem aumentado de forma constante devido a fatores como o crescimento populacional a nível mundial, o aumento dos padrões de qualidade de vida, o desenvolvimento económico e o aumento da expectativa de vida (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Koszewska, 2018; Piribauer & Bartl, 2019; Quartinello et al., 2017; Sandin & Peters, 2018). De acordo com Claudio (2007), tem-se vindo a assistir a uma “obsolescência progressiva” de roupas assim como de outros bens de consumo desde a década de 1920, uma vez que em períodos anteriores, especialmente durante o período da Primeira Guerra Mundial, a maioria das roupas era adaptada, consertada e remendada. Posteriormente, e ainda segundo a ótica do autor, a industrialização foi a responsável pelo aumento do consumo, começando o mesmo a ser parte integrante da economia. O crescimento económico do setor começou assim a ser dependente da comercialização continua de produtos novos, em função do descarte dos antigos, simplesmente porque as normas estilísticas assim o ditavam. No que diz respeito à produção de vestuário nos últimos 15 anos, a procura, quase duplicou (Figura 10), também pelo fenómeno classificado como *fast-fashion*, caracterizado pela constante reviravolta de novos estilos, o aumento do número de coleções que são oferecidas por ano, e de forma frequente, associada a preços mais baixos (Ellen MacArthur Foundation, 2017) e que está a levar a um aumento da taxa de compras pelos consumidores e a uma tendência de manter as roupas por tempos cada vez mais curtos (T. Vadicherla et al., 2017). Na ótica de Piribauer e Bartl (2019), em muitas partes do mundo, as roupas passaram mesmo a ser consideradas um produto de moda e que pode conferir *status* para além da necessidade básica. Para manter esse ritmo de constante presença de novas coleções, a indústria têxtil gera cada vez mais pressão por mais recursos que acarretam também em altos impactos de desperdícios e resíduos.

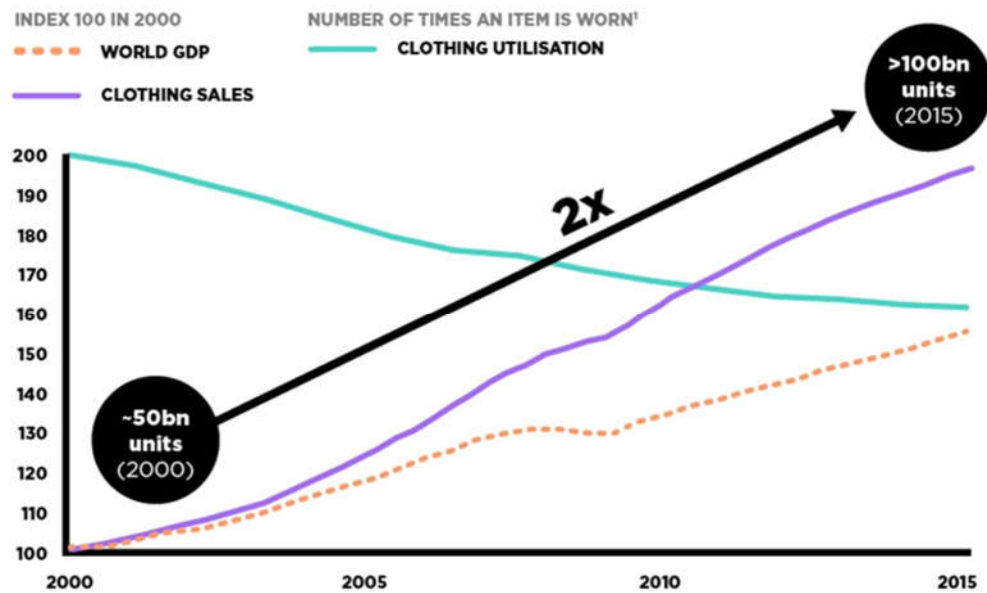


Figura 10- Aumento da produção de vestuário entre 2000 e 2015

Fonte: Ellen MacArthur Foundation (2017)

A cadeia de valor têxtil é composta por todas as atividades que de alguma forma fornecem ou recebem valor por projetar (design), fabricar, distribuir, revender e consumir um determinado produto têxtil, ou mesmo fornecer um serviço prestado por este. Desta forma a sua cadeia de valor cobre todas as fases de vida de um produto, desde a extração e fornecimento de matéria-prima, até às atividades que envolvem os produtos após a sua utilização e o seu fim de vida útil. Abrange por isso também atividades ligadas à criação de valor, como modelos de negócios, investimentos e regulamentações (United Nations Environment Programme, 2020).

De acordo com a Euratex (2020), a fabricação de têxteis é a soma de operações e processos tecnológicos, em que os produtos são elaborados de forma gradual, começando pela conversão de fibras em fios e posteriormente dos fios em tecidos para uma gama diversificada de produtos. Os têxteis são assim elaborados a partir de fibras de origens diferentes, que podem sofrer extrusão através de uma fiação para criar um filamento, ou torcidas para criar fios. Este processo denomina-se fiação e caracteriza-se como um processo essencial na fabricação de têxteis. O fio diz-se subsequentemente tecido, quando dois conjuntos de fios são entrelaçados em ângulos retos para se formar um tecido, ou quando os fios são tricotados e formam laços simétricos. O fio pode ainda ser trançado em redes/cordas ou bordado em laços. Para além destes processos, existem também os processos de pré-tratamento, assim como o tingimento e a estampagem, que

podem ser concretizados em várias etapas do processamento dos fios ou dos tecidos. O processo de pré-tratamento prepara os têxteis para os processos de tingimento, impressão ou acabamento. Por outro lado, o processo de acabamento ou revestimento, compreende variados processos que dão aos têxteis propriedades funcionais como resistência à água, retardamento de chama e propriedades antibacterianas. Todos estes processos servem para que as propriedades dos materiais têxteis sejam melhoradas. Posteriormente, e na sequência do processamento dos tecidos em vestuário ou em produtos para utilização industrial, estão as etapas que correspondem à distribuição, no qual é contemplada toda a logística de transporte e venda, e o último estágio que é o consumidor final (Do Amaral et al., 2018) (figura 11).

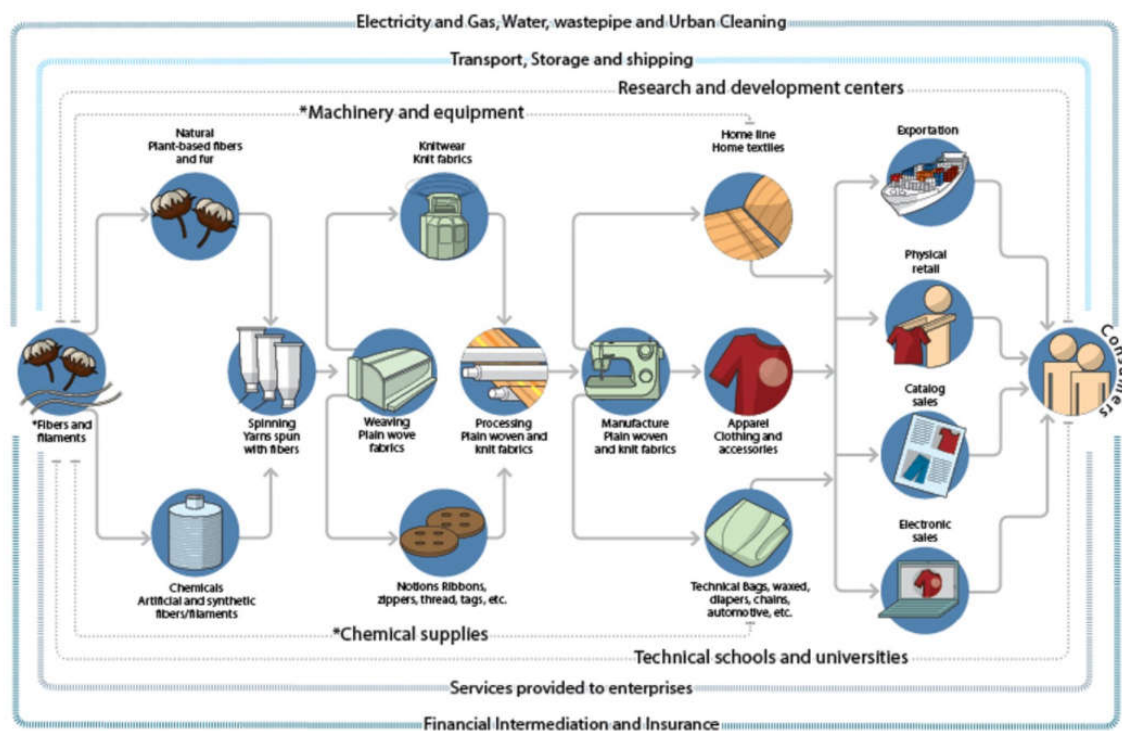


Figura 11- Modelo linear de produção têxtil

Fonte: Do Amaral et al (2018)

Conforme Hopkins (2012) e Piribauer e Bartl (2019) as fibras são o elemento estrutural básico de um têxtil. Estas são geralmente classificadas em fibras naturais ou sintéticas, embora possam ser formadas por diversos tipos de materiais (Piribauer & Bartl, 2019). Para a Ellen MacArthur Foundation (2017) as fibras naturais podem ser subdivididas em fibras à base de celulose e em fibras à base de proteína. No que diz respeito às primeiras, estes referem-se às fibras obtidas a partir de materiais à base de plantas, em que o material pode ser captado diretamente das plantas, ou tratado quimicamente para se extrair e processar a celulose. Estão englobadas nas fibras à base

de celulose o algodão, viscose, liocell, linho e cânhamo entre outras. Estas fibras representam cerca de um terço (1/3) de todas as fibras usadas para têxteis, sendo que 27% das quais correspondem a fibras de algodão. Por outro lado, as fibras à base de proteína referem-se às de origem animal, como a seda e a lã. Estas representam menos de 2% de todas as fibras usadas, sendo que a grande maioria são de lã (tabela 3).

Tabela 3- Fibras Naturais

Fibras Naturais	
Fibras à base de celulose	• Algodão • Viscose • Liocell • Linho • Cânhamo
Fibras à base de proteína	• Lã • Seda

Fonte: EMF (2017)

Relativamente às fibras classificadas como fibras sintéticas, estas correspondem atualmente a cerca de dois terços (2/3) da entrada de material para a produção de têxteis. Os materiais mais comuns são o poliéster, que é nos dias de hoje a fibra têxtil mais comum, seguido do nylon, acrílico, e por último o elastano (tabela 4).

Tabela 4- Fibras Sintéticas

Fibras Sintéticas
• Poliéster • Nylon • Acrílico • Elastano

Fonte: EMF (2017)

A indústria têxtil e do vestuário, é considerada uma das mais poluentes e com desafios sociais exigentes em todo o mundo (Greenpeace international, 2012). No que concerne aos desafios de sustentabilidade, a atenção tem se concentrado nas seguintes temáticas específicas: materiais não renováveis, o uso de produtos químicos perigosos, o uso de água, as emissões de gases com efeito de estufa, o uso da terra e por último a nível social, os direitos humanos (de Souza Machado et al., 2018; Franco, 2017).

A indústria têxtil é principalmente dependente de recursos não renováveis, no qual estes são extraídos em grandes quantidades, e posteriormente utilizados para produzir materiais que muitas vezes, são usados por curtos períodos de tempo (Ellen MacArthur Foundation, 2017). A produção de têxteis, mais concretamente no cultivo de algodão, seguida pela produção de fios (United Nations Environment Programme, 2020) exige bilhões de metros cúbicos de água anualmente, o que tem contribuído para problemas concretos como o esgotamento de água em diversas regiões (Chapagain et al., 2006; Ellen MacArthur Foundation, 2017; Filho et al., 2019; Sandin & Peters, 2018). O cultivo do algodão, com ainda uma pequena contribuição de outras fibras celulósicas, está também associado ao uso da terra, que é um dos principais fatores responsáveis pela perda de biodiversidade em todo mundo (United Nations Environment Programme, 2020).

Embora não existam muitos dados concretos sobre o volume de substâncias preocupantes que são usadas em toda a indústria (Ellen MacArthur Foundation, 2017), é reconhecido que a produção têxtil está associada à poluição tóxica, devido ao uso intensivo de pesticidas (Sandin & Peters, 2018), e grandes descargas de volumes de água, que contêm químicos nocivos ao meio ambiente. Exemplo concreto deste reconhecimento, são os 20% da poluição da água industrial a nível global, que foram atribuídos aos processos de tingimento e tratamento de têxteis (Filho et al., 2019). Mais recentemente, a indústria têxtil foi também identificada como uma das principais contribuintes para a questão dos plásticos que entram nos oceanos (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Filho et al., 2019), o que tem impulsionado uma atenção e preocupação crescentes, devido às implicações negativas quer para a saúde quer para o ambiente (Ellen MacArthur Foundation, 2017). De acordo com Filho et al. (2019), este fenómeno ocorre durante a lavagem de tecidos feitos com fibras à base de plástico (fibras sintéticas), no qual microfibras - pequenos fios de fibras ou filamentos básicos (United Nations Environment Programme, 2020), são perdidas e entram nos oceanos por meio de rotas de águas residuais. Estas por não serem biodegradáveis, permanecem ainda por longos períodos de tempo no meio ambiente (Ellen MacArthur Foundation, 2017) e podem gerar diversos impactos ecológicos, dos quais foram já evidenciados impactos por mecanismos biológicos, físicos e químicos, que podem atuar de forma individual ou em combinação (Henry et al., 2019). O maior impacto físico é gerado através da ingestão de microplásticos por organismos marinhos (de Souza Machado et al., 2018). Os impactos biológicos incluem o potencial das microfibras para transportar poluentes orgânicos

persistentes, o que possibilita a disseminação de bactérias que causam doenças para diferentes habitats (United Nations Environment Programme, 2020). Por último, os impactos químicos das microfibras incluem a lixiviação de produtos químicos tóxicos, como retardantes de chama ou corantes (de Souza Machado et al., 2018).

De acordo com a perspectiva de Sandin e Peters (2018), existe ainda a problemática das consideráveis emissões de dióxido de carbono (CO₂) (gás com efeito de estufa) derivadas da indústria, na qual os autores apontam a sua origem, ao facto de cerca de 60% das fibras têxteis serem em primeiro lugar derivadas de produtos petroquímicos, e pelos processos de produção e descarte final também contribuírem para originar consequentemente as emissões referidas.

Ao longo das cadeias de valor, são também gerados resíduos têxteis. Estes, de acordo com Leonas, 2017; Quartinello et al., 2018, podem ser compostos por três tipos:

- resíduos têxteis pré-consumo: resíduos têxteis que nunca chegam aos consumidores e são obtidos no processamento e fabricação das fibras. São exemplos destes resíduos as fibras de resíduos de fiação, fios de resíduos de tricô, resíduos de corte de tecido, entre outros;
- resíduos têxteis pós-consumo: resíduos têxteis que são descartados pelos consumidores, por terem sido danificados ou por terem saído de moda;
- resíduos têxteis pós-industriais: são gerados durante processos de fabricação de produtos, principalmente por produtores de fibras virgens, fábricas de polimerização, fabricantes de cabos de pneus, entre outros.

Estes resíduos gerados, são em grande parte depositados em aterros sanitários ou levados para inceneração (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Quartinello et al., 2017, 2018), o que provoca impactos como a poluição do solo (no caso dos aterros) e a produção de gases com efeito de estufa (no caso da inceneração) (Quartinello et al., 2018).

Na ótica de Koszewska (2018), os diferentes problemas ambientais podem ainda ter intensidades diferentes, dependendo da fase do ciclo de vida do produto têxtil ou de vestuário (tabela 5). Na mesma linha de pensamento Šajn (2019) referiu que nos processos de fabricação de fios, a sua tecelagem para produzir tecidos e ainda a aplicação de técnicas de acabamento, como o tingimento ou dar brilho e força aos tecidos são

processos que consomem elevadas quantidades de água e energia, e que também promovem a utilização de produtos químicos. O autor mencionou ainda que a própria produção de roupa usa quantidades significativas de energia, nomeadamente para os equipamentos de costura, colagem e soldagem, sendo que os cortes que sobram após o corte das modelagens das roupas são responsáveis por cerca de 20 % dos tecidos que a indústria desperdiça.

Tabela 5- Principais problemas ambientais relacionados com as fases do ciclo de vida do produto.

Problemas ambientais	Os estágios do ciclo de vida do produto com maiores impactos
Consumo de água e utilização de produtos químicos	Crescimento das fibras Atividades de tingimento Pré-tratamento húmido Acabamento e lavandaria
Consumo de energia	Produção de fibras sintéticas Processos de acabamento Fabricação de fios Lavagem e secagem de roupas na sua fase de uso
Resíduos	Fabricação de roupas/tecidos Descarte final dos produtos em fim de vida

Fonte: Koszwska (2018)

Para além dos impactos ambientais negativos já mencionados, existem também impactos negativos sociais que derivam da indústria têxtil (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Franco, 2017). São exemplos os ambientes de trabalho perigosos, associados a insegurança nos processos e às substâncias perigosas que são utilizadas nas fases de produção, as pressões de tempo, frequentemente impostas em diversas etapas da cadeia de valor (Ellen MacArthur Foundation, 2017) e o esforço competitivo do mercado (Manshoven et al., 2019). Todos estes, são fatores que levam a más condições de trabalho, muitas vezes assentes em longas jornadas e com baixa remuneração, no qual tem existido evidências, em certos casos, de trabalho infantil e escravidão moderna (Franco, 2017). A United Nations Environment Programme (2020) refere mesmo três práticas comuns na cadeia de valor têxtil, como as principais contribuintes para os riscos sociais mencionados, são estas:

- procura por flexibilidade: devido à alta volatilidade que existe no mercado é exigida uma agilidade do mesmo. Os produtores devem por isso ser capazes de ajustar a sua produção à procura do cliente, o que consequentemente resulta numa instabilidade de empregos;
- procura por prazos de entrega que são cada vez mais curtos: o mercado de vestuário caracteriza-se por oferecer produtos com cada vez mais menor duração, cujos designs podem ser vendidos em prazos de apenas semanas ou meses, o que resulta numa pressão aos produtores para que estes acompanhem as mudanças constantes na procura. Este fenómeno origina frequentemente muitas horas de trabalho para os trabalhadores;
- procura contínua por melhores condições comerciais e preços mais baixos, o que pressiona os produtores a localizar as suas operações onde os custos forem mais baixos e, portanto, onde certos requisitos como os padrões de trabalho e salário mínimo são mal cumpridos, insuficientes ou mesmo inexistentes.

Por último, também impactos económicos negativos podem ser gerados para empresas deste setor, uma vez que, os impactos negativos provenientes da indústria, estão cada vez mais a tornar-se transparentes e entendidos pelos seus respetivos clientes, o que consequentemente leva a riscos de reputação para as empresas, podendo afetar os seus lucros (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Para além destes, e segundo a United Nations Environment Programme (2020), também a considerável subestimação de roupas juntamente com as baixas taxas de reciclagem de têxteis pós-consumo, gera globalmente um custo anual para os consumidores de cerca de 460 \$ bilhões.

De acordo com Franco (2017), todos os impactos mencionados são consequência dos vários desafios que a indústria têxtil têm ao longo das suas cadeias de valor, por atuar sob um sistema linear. Nesse contexto, fica claro, que existe a necessidade de serem alteradas as cadeias de suprimento têxteis (Kazancoglu et al., 2020).

Nos últimos anos, para além dos clientes, também a própria indústria tem tomado cada vez mais consciência dos impactos sociais e ambientais negativos sob o sistema que a mesma tem atuado. As empresas têm vindo a lidar com alguns dos seus desafios identificados nas suas cadeias de valor, tanto a nível individual, quanto por meio de organizações e iniciativas. No entanto, a maioria destes esforços realizados, tem tido

como foco reduzir os impactos do sistema linear atual, como têm constituído exemplos a redução do impacto dos materiais e o uso de técnicas mais eficientes na produção (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Para a European Technology Platform (2016) existe a necessidade de se avançar para um modelo de EC. Ainda na ótica da mesma, e de acordo com o seu trabalho desenvolvido *Towards a 4th Industrial Revolution of Textiles and Clothing Industry*, a temática da EC é reconhecida como uma das áreas estratégicas com especial importância para o desenvolvimento da indústria têxtil e do vestuário. A United Nations Environment Programme (2020) referiu mesmo que só através da circularidade é possível transformar o modelo económico têxtil atual em direção a um futuro mais sustentável.

No trabalho *Closing the loop*, elaborado por Mathews (2015) também reconhecendo a importância da EC para o setor, foi apresentada a definição do que seria uma indústria têxtil circular:

Uma indústria têxtil circular é baseada num sistema onde produtos têxteis, tecidos e fibras são infinitos e circulam de forma eficaz através de circuitos conectados dentro e entre as indústrias, de forma transparente e económica, onde os produtores aplicam práticas comerciais que possibilitam o uso circular dos recursos têxteis e promovem a justiça social, e onde os consumidores têm uma relação saudável com os têxteis, com base em práticas de consumo sustentáveis. (p.54) (tradução livre)

Para Ellen MacArthur Foundation (2017) esta indústria, se alinhada com os princípios da EC, iria gerar benefícios a nível económico, ambiental e social. A nível económico, esta permitiria reduzir de forma significativa os custos associados ao uso de matérias-primas virgens para as empresas. Também a diminuição da utilização dos materiais iria permitir reduzir a exposição das empresas face às volatilidades dos preços das matérias-primas, aumentando desta forma a sua resiliência. Iria fornecer oportunidades adicionais de lucro para as empresas, a partir de novos serviços, como por exemplo, modelos de aluguer e assinatura, ambas alternativas ao modelo tradicional de venda de roupa, o que iria permitir às marcas gerar lucros sem aumentarem a sua produção.

No que diz respeito aos benefícios ambientais, seriam reduzidas de forma significativa as emissões de gases com efeito de estufa. Seria aumentada a produtividade

da terra e do solo, através da aplicação de métodos agrícola regenerativos para a produção de algodão e outros materiais renováveis que são usados na produção têxtil. O consumo de materiais virgens e o consumo de energia seriam também ambos diminuídos. Uma maior taxa de reciclagem e utilização de roupas iria também reduzir a quantidade necessária de água para novos produtos e materiais, o que por sua vez, diminuiria a pressão sobre a água em regiões que apresentam escassez da mesma. As substâncias consideradas perigosas e preocupantes seriam eliminadas de forma gradual, reduzindo aqueles que são os impactos negativos da poluição dos solos e das águas residuais, e também do acúmulo de substâncias perigosas no ambiente. Por último, a circulação dos produtos através da sua maior utilização e melhor reciclagem, significaria menores quantidades de têxteis que acabariam em aterros ou na inceneração (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Leal Filho et al., 2019; Quartinello et al., 2017).

Seriam ainda gerados benefícios para a sociedade, começando pelos impactos positivos na saúde, uma vez que, os trabalhadores não estariam expostos a substâncias perigosas, nem os próprios consumidores aquando da utilização das suas roupas. Estes teriam ainda acesso a roupas de alta qualidade e mais duradouras, o que seria benéfico e conveniente para grupos de consumidores, cujo ato de comprar e/ou fazer a manutenção é considerado um incómodo (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Ainda na ótica da Ellen MacArthur Foundation (2017), todos estes benefícios que resultariam de uma indústria têxtil alinhada com os princípios da EC, são dependentes de quatro diferentes ambições (figura 12):

- eliminar de forma gradual as substâncias preocupantes e reduzir drasticamente a libertação de microfibras;
- transformar a maneira como as roupas são projetadas, vendidas e usadas de forma a se separar da sua natureza cada vez mais descartável;
- o uso eficaz dos recursos e a mudança para materiais renováveis;
- melhoria radical da reciclagem, através da transformação do design, recolha e o reprocessamento das roupas.

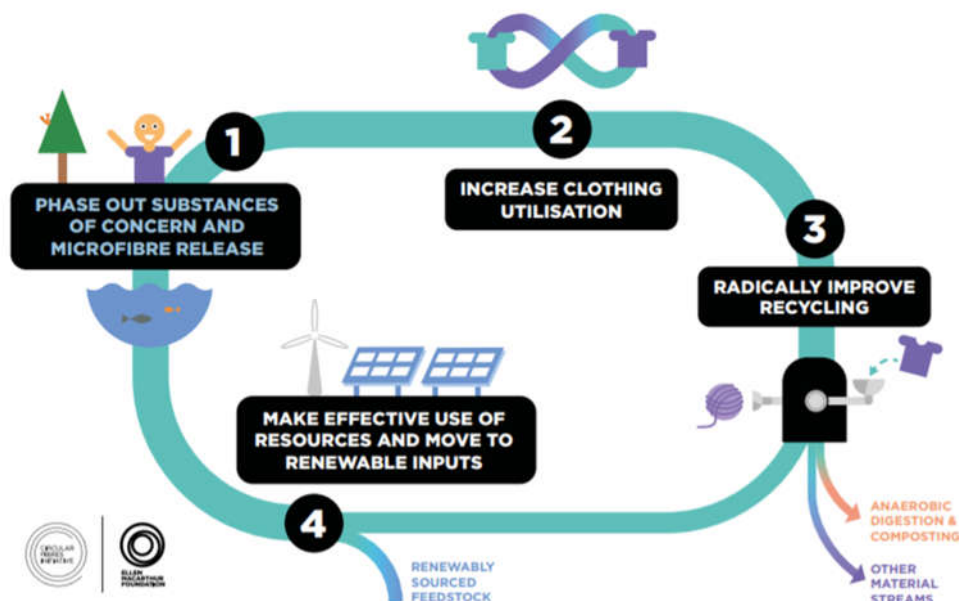


Figura 12- 4 diferentes ambições para uma nova economia têxtil

Fonte: EMF (2017)

Ainda de acordo com a mesma, para que seja concretizada a primeira ambição seria necessária uma maior transparência ao longo de toda a cadeia de valor, uma vez que uma base sólida de padrões comuns e evidências facilitaria a eliminação de substâncias preocupantes. Também a inovação para a criação de novos processos de produção, bem como novos materiais têxteis, seriam necessários para que fossem eliminados de forma total os impactos negativos relacionados com as substâncias preocupantes. Para que fosse reduzida de forma drástica a libertação de microfibras de plástico, teriam que ser elaborados novos matérias e processos de produção, ao lado de tecnologias que funcionassem em escala para capturar as roupas que ainda libertam as microfibras.

No que diz respeito à segunda ambição, são três as áreas de ação que acelerariam a transição para a mesma:

- Tornar a durabilidade mais atrativa: são muitos os clientes que valorizam as roupas duráveis e com alta qualidade, no entanto por vezes a falta de informação é impeditiva para a captura do valor total. Desta forma modelos de revenda aprimorados ofereceriam uma atraente oportunidade para as roupas que já fossem usadas e indesejáveis, mas que ainda fossem duráveis o suficiente para serem utilizadas novamente.
- Aumento do aluguer de roupas de curto prazo: para clientes que desejarem mudanças frequentes de roupas, os modelos com base em assinatura ofereceriam

uma alternativa benéfica à compra frequente de novas roupas. No que diz respeito a roupas onde as necessidades práticas mudam com o tempo, como são exemplos as roupas infantis ou as roupas de ocasiões únicas, os serviços de aluguer permitiriam manter a roupa em uso frequente, em vez de se alocarem nos armários das pessoas.

- Aumentar ainda mais a utilização de roupas através de políticas e compromissos das marcas: para serem geradas elevadas taxas de uso, são requeridos também compromissos no que concerne ao design de roupas mais duráveis.

Relativamente ao uso dos recursos e à mudança para materiais renováveis, é necessário referir que a entrada de matérias-primas provavelmente será sempre necessária, no entanto, onde essas entradas forem necessárias e não houver também materiais reciclados disponíveis, deverá ser cada vez mais promovida a utilização de recursos renováveis. Para além disso, a transição para processos de produção mais eficientes e eficazes, que gerem menos resíduos, reduzam o uso de água, especialmente em regiões com escassez, precisem de menos entradas de recursos, como produtos químicos e combustíveis fósseis, funcionem sobre energias renováveis, podem contribuir ainda mais para a redução da necessidade de entrada de recursos não renováveis.

Por último, e referente à ambição em melhorar radicalmente a reciclagem, através da transformação do design, recolha e reprocessamento das roupas, seria necessária uma combinação de medidas do lado da procura e da oferta em quatro respetivas áreas, para que esta fosse realizada:

- Estimular a procura de materiais reciclados: o aumento da procura por materiais reciclados através de compromissos concretos e claros com a utilização de mais materiais reciclados poderia acelerar de forma drástica a adoção da reciclagem das roupas. Também a melhor correspondência entre procura e oferta, por meio de canais de comunicação, políticas e uma maior transparência, poderia ajudar ainda mais no estímulo da procura.
- Implementação da recolha de roupas em grande escala: existe de forma clara a necessidade de ser ampliada drasticamente a recolha de roupas, em especial, em locais onde atualmente esta não existe. Diretrizes sobre recolha abrangente,

baseadas nas atuais melhores práticas com o acréscimo de pesquisas adicionais sobre sistemas de recolha ideias, poderiam ajudar a aumentar esta mesma recolha.

- Alinhamento dos processos de design e reciclagem de roupas: atualmente, quer a nível de design quer a nível da própria produção, não se tem em conta o que irá acontecer às roupas quando estas não puderem ser mais utilizadas. Como tal, a convergência para uma gama de novos materiais, que forneçam a funcionalidade desejada de poderem ser devidamente reciclados, e o desenvolvimento de processos de reciclagem eficientes, é uma etapa crucial para a intensificação da reciclagem.
- Inovação tecnológica para melhorar a qualidade da reciclagem: as tecnologias de reciclagem existentes precisam de melhorar de forma drástica a sua qualidade por forma a capturar o valor total dos materiais. Para tal, é necessária uma agenda de inovação compartilhada para concentrar esforços e investimentos em tecnologias de reciclagem. Para além destas, também as tecnologias de classificação aprimoradas podem apoiar uma maior qualidade da reciclagem, fornecendo matérias-primas bem definidas.

De acordo com a United Nations Environment Programme (2020), para que exista circularidade na cadeia de valor têxtil, esta deve se basear em três tipos de ciclos de retenção de valor:

- Processos de retenção de valor “utilizador para utilizador”, onde um determinado produto ou componente permanece próximo da sua função e do seu utilizador. Nestes processos, são os consumidores que podem ter uma forte influência, na medida que ao manterem os produtos em uso durante o maior tempo possível e ao não comprarem produtos insustentáveis podem contribuir para a circularidade dos produtos têxteis. Os ciclos de retenção de valor “utilizador para utilizador” traduzem-se assim em três processos circulares distintos: recusar, a escolha de um utilizador em comprar ou usar menos, reduzir, a escolha do utilizador em usar têxteis e serviços associados por mais tempo e comprar com menor frequência, e por último a reutilização, que se refere à reutilização de um produto têxtil que não constituía um resíduo.

- Processos de retenção de valor “utilizador para empresa”. Nestes processos, são os produtores que em colaboração com os consumidores, podem estender a vida útil dos seus produtos têxteis através da sua reparação, para que estes possam continuar a cumprir as suas funções para os utilizadores. O reparo consiste na correção de uma falha específica num produto, que de outra forma, seria considerado um resíduo. Desta forma é estendida a vida útil do produto, uma vez que este torna-se novamente funcional. O envio de produtos pelos utilizadores para os produtores pode ser de forma direta em oficinas de reparo, ou por intermediários comerciais.
- Processos de retenção de valor “empresa para empresa”, onde um produto ou componente perde aquela que é a sua função original. Nestes processos, os produtores em cooperação com outras partes interessadas da cadeia de valor, como designers, comerciantes, produtores de matéria-prima, recicladores entre outros, devem trabalhar em conjunto para que os produtos têxteis e os seus componentes não sejam perdidos para processos de descarte, mas sim utilizados como materiais em outros sistemas de produção. Estes ciclos de retenção de valor traduzem-se nos dois seguintes processos: reaproveitar, que consiste no aproveitamento e adaptação de produtos ou componentes descartados para outras funções, o que garante ao material um novo ciclo de vida distinto. Por fim reciclar, que diz respeito às operações que evitam o descarte de resíduos e possibilitam que os materiais entrem novamente no ciclo económico.

Na mesma linha de pensamento, e com foco nos ciclos de retenção de valor “empresa para empresa” Kazancoglu et al (2020) referiu que, para que a indústria têxtil esteja alinhada com os princípios da EC, a sua cadeia de abastecimento deve ser baseada no conceito *cradle-to-cradle*. Desta forma, os produtos devem ser projetados de forma que as fibras possam ser novamente utilizadas, substituindo a utilização de fibras virgens como matéria-prima. Posteriormente as empresas devem adicionar a recolha como uma etapa da sua cadeia de valor, para que os resíduos pós-industriais e pós-consumo possam ser recolhidos. Após a fase de recolha, os resíduos devem ser separados e classificados para que em seguida possam ser reciclados e usados novamente como materiais, criando-se assim um ciclo completo (figura 13).

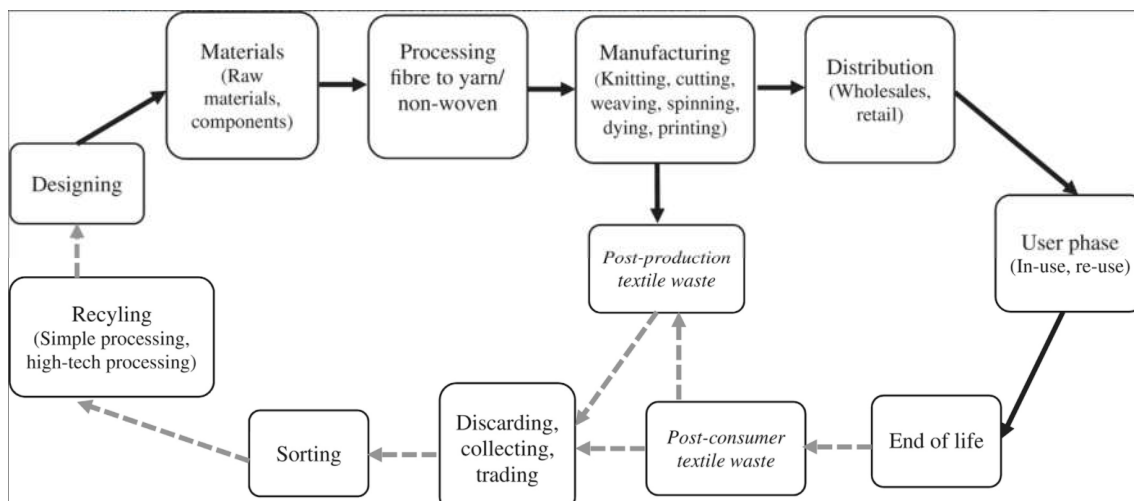


Figura 13- Cadeia de abastecimento alinhada com os princípios da EC

Fonte: Kazancoglu et al, 2020

Face às perspetivas mencionadas, torna-se perceptível que a etapa da reciclagem tem vindo a ser referida pela literatura como parte integrante da transição entre o modelo económico linear e o modelo económico circular. No entanto, de acordo com as premissas de circularidade baseadas em regeneração e restauração, a reciclagem não é a estrutura a ser perseguida. Como bem evidenciado no estudo realizado pela PWC (2017) a reciclagem não deve ser considerada como etapa prioritária, mas sim como uma etapa final, somente em último estágio após todos os demais fluxos anteriores terem sido atendidos e esgotados, uma vez que esta constitui a fase que menor quantidade de valor incorporado que um produto recupera, tendo sido apontado pelo referido estudo um valor inferior a 1% (figura 14).

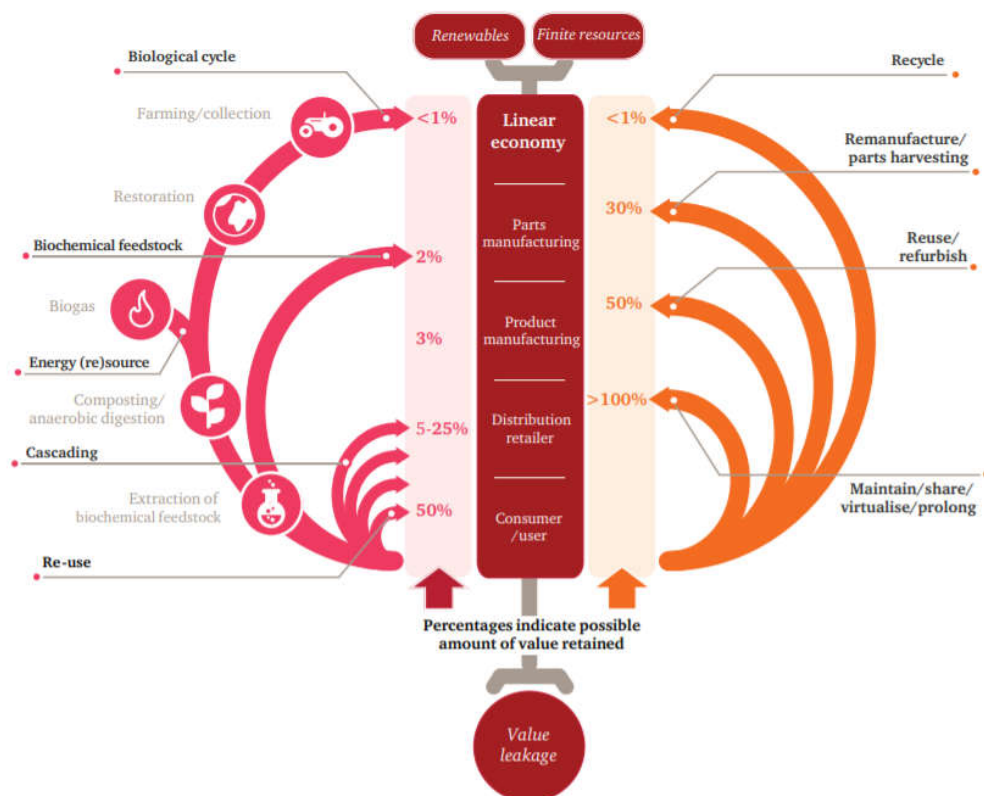


Figura 14- Percentagens relativas à retenção possível dos recursos

Fonte: PWC (2017)

Na mesma linha de pensamento, também no documento designado por *The European Green Deal*, desenvolvido pela Comissão Europeia (2019), foi indicado que a reciclagem deveria passar para terceiro plano, sendo por sua vez, dada prioridade à redução e à reutilização. Tal afirmação foi enquadrada pelo facto de apenas 12% dos materiais utilizados ao nível dos processos industriais produtivos na União Europeia serem efetivamente provenientes da reciclagem. Todo o restante dos materiais reciclados ainda tem como destino a incineração ou o aterro.

Ao nível dos materiais têxteis, também apenas uma pequena percentagem é conseguida para processos de reciclagem (Bukhari et al., 2018). No caso da Europa por exemplo, estima-se que cerca de 82% dos materiais usados para produzir roupas, acabem em incineração ou depositados em aterros, e ainda que apenas cerca de 18% dos materiais sejam reutilizados ou reciclados (Global Fashion Agenda, 2017) (figura 15).



Figura 15- Estimativa de materiais utilizados para produção de vestuário que são descartados, incinerados, reutilizados e reciclados

Fonte: Global Fashion Agenda, 2017

Quando se fala na reciclagem de têxteis, geralmente é referido o reprocessamento de resíduos têxteis pré e pós consumo (Sandin & Peters, 2018). No entanto, há também diversos autores que incluem a reciclagem de produtos e materiais não têxteis para produtos têxteis, como são exemplo as garrafas de polietileno tereftalato (PET), na reciclagem de têxteis (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Janßen; & Linke, 2017; Sandin & Peters, 2018). No geral, esses processos estão tentando buscar alternativas para aquilo que foi inicialmente projetado indevidamente pela Economia Linear. Os resíduos são erro de design. Não se deve investir tempo, dinheiro e mais recursos para prolongar erros. A reciclagem, nesse sentido, tenta ampliar a sobrevida de algo que tem o projeto errado. Ou seja, antes de investir em reciclagem, deve se investir fortemente em reprojeto produtos e processos pelos princípios da EC.

Ainda por esse fluxo, as rotas de reciclagem de têxteis são frequentemente classificadas como mecânicas, químicas, ou então em menor frequência, térmicas. Na maior parte das situações, esta classificação é uma simplificação da realidade, uma vez que as rotas de reciclagem de forma geral, consistem na verdade numa mistura de processos mecânicos, químicos e térmicos. A reciclagem química, por exemplo, na maior parte das vezes refere-se a uma rota de reciclagem com a dissolução de polímeros (no caso das fibras celulósicas naturais, como o algodão e a viscose) ou a sua despolimerização (no caso de fibras poliméricas sintéticas que são derivadas de produtos

petroquímicos, como o poliéster). Os polímeros são assim desmembrados a nível molecular, passando a monômeros. Estes são em seguida repolimerizados, o que faz com que os polímeros reapareçam em novas fibras. No entanto, antes das etapas de dissolução e despolimerização, o material é frequentemente pré-tratado de forma mecânica. Desta forma, e de acordo com Sandin e Peters (2018), através do exemplo mencionado, podemos referir que a sistematização das rotas de reciclagem em mecânica, química e térmica pode ser considerada não só ambígua como questionável.

Por esse motivo, neste trabalho, em vez de ser utilizada uma sistematização das rotas de reciclagem com base na natureza de um dos seus processos envolvidos, foi utilizada a sistematização das rotas de reciclagem com base no nível de desmontagem do material recuperado, apresentado pela EMF (2017) no trabalho *A New Textiles Economy: Redesigning Fashion's Future* (figura 16).

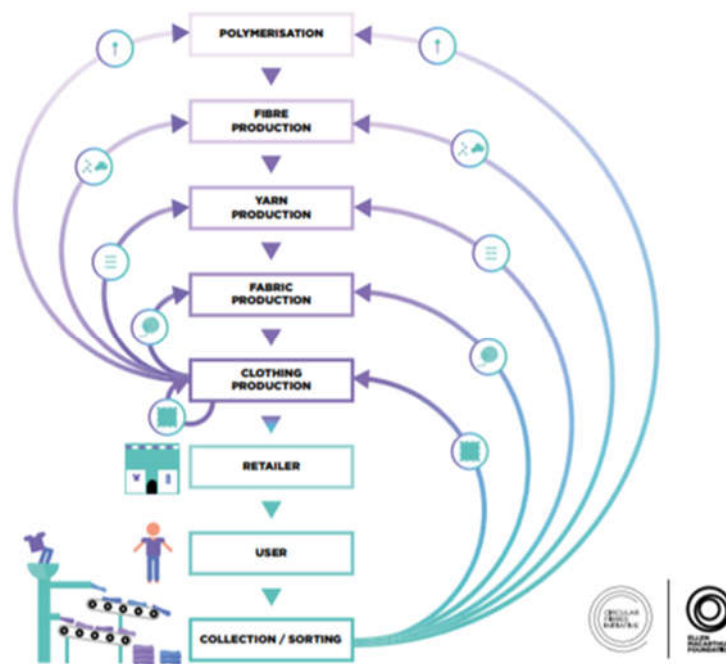


Figura 16- A captura do valor total dos materiais através da reciclagem nos diferentes níveis

Fonte: EMF (2017)

De acordo com a mesma, e conforme verificado na figura 16, quer a recolha e classificação, quer o processamento, são as duas etapas principais da reciclagem. Esta pode ocorrer e capturar o valor dos materiais em diferentes níveis. Os materiais que podem ser usados em produtos têxteis podem ser coletados durante toda a sua cadeia de produção (coleta de resíduos têxteis pré-consumo) e também através de métodos de coleta

pós-consumo (coleta de resíduos pós-consumo) (Leonas, 2017). No entanto, à medida que estes materiais avançam ao longo da cadeia de valor, vai diminuindo o seu valor inerente (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Leal Filho et al., 2019).

A segunda etapa, o processamento, corresponde aos processos de reciclagem propriamente ditos (Leonas, 2017). De acordo com a sistematização mencionada, existem os seguintes tipos de reciclagem:

Reciclagem de tecido - quando um tecido de um produto é recuperado e reutilizado em novos produtos, estamos perante uma reciclagem de tecido (Sandin & Peters, 2018). Esta reciclagem permite que pedaços de tecido completo sejam refeitos para a criação de partes de uma roupa nova. Este nível de reciclagem é por vezes conhecido como ‘remanufactura’. Pode utilizar sobras de fábricas e materiais residuais (resíduos pré-consumo), como ainda grandes partes de roupas pós-uso, que são desmontadas e reutilizadas em novas roupas, e no qual o tecido é mantido intacto. Não são exigidas tecnologias avançadas, no entanto este processo tem algumas limitações, como a exigência de muita mão de obra, a não produção em grande escala aquando de um fornecimento inconsistente de tecido ou mesmo quando a qualidade é bastante baixa (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Janßen & Linke, 2017).

Reciclagem de fios - refere-se aos desfiação dos fios que são utilizados para fazer roupas de malha. Para que se possa desfilar uma certa peça de roupa, esta tem de ser tricotada para que se possa posteriormente ser recuperado o fio em poucas peças. Portanto, esta reciclagem apenas é viável para tipos específicos de peças de vestuário, mais concretamente em peças separadas ou recolhidas separadamente (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Reciclagem da fibra - quando o tecido é desmontado, mas as fibras originais são preservadas, estamos perante a reciclagem das fibras (Sandin & Peters, 2018). Para esta reciclagem, as roupas são classificadas pelo seu material e cor, sendo posteriormente trituradas e processadas novamente em fibras. A trituração das fibras faz com que estas sejam encurtadas e desta forma percam qualidade, o que por sua vez torna necessário a utilização de fibras de qualidade superior (frequentemente algodão virgem ou poliéster reciclado de garrafas de polietileno tereftalato (PET) como um suplemento para criar novos fios (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Reciclagem de polímero - quando as fibras são dissociadas, mas os polímeros são preservados, estamos perante a reciclagem de polímero (Sandin & Peters, 2018). Esta reciclagem leva as fibras de volta ao nível do polímero através da destruição das fibras, no entanto, mantém a estrutura química do material intacta (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Reciclagem química de monômero - quando os polímeros são dissociados mas os monômeros são preservados, o processo designa-se por reciclagem química de monômero (Sandin & Peters, 2018). Esta reciclagem efetua a quebra dos polímeros em monómeros individuais ou outros materiais que possam servir e matéria-prima para produzir polímeros de qualidade virgem (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Apesar do reconhecimento da reciclagem como parte integrante da transição para a EC no setor têxtil (Baruque-Ramos et al., 2017; Sandvik & Stubbs, 2019), existem ainda diversas barreiras à reciclagem de têxteis (Leal Filho et al., 2019) que em muitas ocasiões levam a baixas taxas de reciclagem (Xiao et al., 2018). Uma das principais razões para que a quantidade de materiais recicláveis seja limitada, é a falta de tecnologias que consigam separar e classificar os resíduos têxteis na preparação para a reciclagem. Para além deste desafio, também as próprias tecnologias de reciclagem são ainda limitadas, pelo que são exigidos investimentos significativos em pesquisa para se conseguir superar as existentes limitações e serem introduzidas técnicas mais eficazes e eficientes (Leal Filho et al., 2019).

Sandin e Peters (2018) consideram também que, dadas as baixas taxas de reciclagem que ainda existem, há um elevado potencial para que a reciclagem seja aumentada, mais concretamente a reciclagem de polímeros e de monômeros, o que consequentemente evitaria que tantos resíduos têxteis fossem incinerados ou acabassem depositados em aterros. No entanto, os autores concebem também que a reciclagem tem vindo a ser dificultada pela falta de tecnologias para a separação e classificação dos resíduos têxteis.

Para Janßen & Linke (2017) a maior parte das tecnologias apenas têm vindo a apresentar soluções para a reciclagem de ciclo aberto (*open-loop recycling*). Esta reciclagem é referente a processos em que o material de um determinado produto é reciclado e usado num outro produto. Neste sistema de reciclagem o material não é

reciclado infinitamente e este material acaba eventualmente por se excluir do ciclo de utilização e acaba por ser desviado para aterros (Leonas, 2017). Na ótica de Leonas (2017), essa exclusão ocorre por duas razões comuns, a degradação da matéria-prima que conduz à redução da sua qualidade e a incorporação de matéria-prima num produto que não é reciclável. Por outro lado, quando o material de um produto é reciclado e usado num produto mais ou menos semelhante estamos perante a reciclagem de ciclo fechado (*closed-loop recycling*) (Sandin & Peters, 2018). Esta reciclagem consiste numa estratégia alternativa que é mais sustentável, uma vez que a reciclagem do material é infinita e sem degradação. De acordo com Janßen & Linke (2017) as soluções para a reciclagem de ciclo aberto conduzem de forma predominante a material reciclado de qualidade ou valor inferior ao produto original (*downcycling*), no entanto, o ideal será que estes materiais reciclados tenham mais qualidade ou valor do que o produto original (*upcycling*) (Sandin & Peters, 2018) para que seja alcançada a reciclagem em ciclo fechado (Leonas, 2017), o que por sua vez, contribui para criar um modelo totalmente circular (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Face aos pressupostos mencionados é possível identificar a tecnologia como uma barreira à classificação e reciclagem de têxteis, e como uma barreira inevitável que precisa de ser superada para permitir a otimização da reciclagem têxtil e consequentemente a transição para a economia circular no setor têxtil (Global Fashion Agenda, 2017; Mathews, 2015; Mistra Future Fashion, 2016).

Conscientes desta problemática, a indústria, as universidades, as instituições de pesquisa e as organizações não governamentais, têm intensificado os seus esforços através de programas e projetos de pesquisa para introduzir novas tecnologias capazes de fornecer soluções para os problemas identificados e resolver esta barreira tecnológica (Koszewska, 2018). Como resultado, têm vindo a ser desenvolvidas algumas tecnologias inovadoras com o propósito de atingir um estágio comercial ou a penetração no mercado em grande escala, que podem dar soluções de reciclagem têxtil de ciclo fechado (Janßen & Linke, 2017) e contribuir para práticas circulares no setor (Baruque-Ramos et al., 2017; Janßen & Linke, 2017).

Na secção seguinte, através de múltiplos estudos de caso, foram analisadas diferentes tecnologias inovadoras desenvolvidas por certas instituições, e apresentados os

contributos das mesmas para a melhoria da reciclagem como formas de buscar uma maior recirculação no setor têxtil.

4.3- Tecnologias de Reciclagem

4.3.1- Infinited Fiber Company

A Infinited Fiber Company é uma empresa Finlandesa de biotecnologia que foi fundada em 2016 para comercializar uma tecnologia de reciclagem inovadora capaz de transformar resíduos ricos em celulose (resíduos têxteis pré e pós-consumo), como resíduos têxteis ricos em algodão, palha de trigo, papelão usado ou arroz, em fibras têxteis de carbamato de celulose, de elevada qualidade e cuja sensação e aparência se assemelham a algodão. O processo usado pela Infinited Fiber Company é ainda livre de dissulfeto de carbono (CS₂) uma vez que a tecnologia em vez deste composto, utiliza ureia, um composto natural e seguro, o que representa por si só, uma alternativa segura e sustentável para por exemplo a produção convencional de fibras viscose, que utilizam como solvente de produção o CS₂, um solvente altamente tóxico (Ellen MacArthur Foundation, 2017). A empresa está sediada em Espoo, Finlândia.

De acordo com a empresa, a sua tecnologia cobre todas as etapas, desde o pré-tratamento da matéria-prima, até que as fibras têxteis sejam enviadas sob o requisito dos respetivos clientes. No entanto, o núcleo desta tecnologia consiste em três processos principais:

- 1- Separação da fibra.
- 2- Transformação de material em líquido.
- 3- Transformação de líquido em fibra.

As fibras acabadas são ainda biodegradáveis, uma vez que quaisquer partículas não celulósicas nas matérias-primas, como elastanos, poliésteres são eliminados durante o processo. De acordo com a empresa, as fibras podem ser utilizadas de forma individual para têxteis circulares totalmente à base de resíduos ou até mesmo misturadas com outras fibras de relevância no fabrico de fios, tendo sido estabelecida como meta do grupo, fazer com que 100% dos materiais sejam reciclados ou de origem sustentável até 2030.

Ainda segundo a empresa, esta tecnologia apresenta diversas vantagens, nomeadamente nas seguintes áreas:

- Transformação de resíduos em recursos
 - Têxteis de pré e pós consumo podem ser transformados em materiais totalmente novos (que se parecem com algodão, mas são mais económicos e sustentáveis);
 - Solução circular para o problema do setor têxtil.

- Baixo impacto ambiental
 - Até 20,000 litros a menos de água por kg do que o algodão;
 - Redução das emissões de CO₂;
 - Menos 160,000 hectares de colheita florestal que a viscose;
 - Menos água que a viscose;
 - Fornece às fábricas de viscose uma nova fibra e um processo mais seguro, uma vez que é eliminado o CS₂.

- Redução de custos económicos
 - Redução do uso de produtos químicos, corantes, energia e água devido à maior absorção da cor;
 - Reduz o custo total na cadeia de suprimentos da indústria têxtil.

- Alto desempenho da fibra
 - Propriedades antibacterianas;
 - Sensação natural semelhante ao algodão;
 - 30-40% maior absorção da cor;

- Disponibilidade garantida
 - A fibra é a mesma, seja proveniente da fabricação a partir de resíduos como têxteis, papel ou celulose à base de madeira.

Fruto do reconhecimento dessas mesmas vantagens, são já várias as empresas que estabeleceram uma colaboração com a Infinited Fiber Company, entre as quais a

H&M, Wrangler, Patagonia, Bestseller, Tommy Hilfiger e Calvin Klein. Estas tiveram como objetivo reforçar a sua aposta na sustentabilidade ambiental, desenvolvendo uma alternativa circular viável para o algodão virgem, e também melhorar a capacidade de resposta face à crescente procura do consumidor por roupas e têxteis sustentáveis.

Mais recentemente a Infinited Fiber Company assinou um acordo de cooperação com o grupo de tecnologia internacional ANDRITZ para ambas desenvolverem soluções de equipamento e processos de fábrica, com objetivo de serem aperfeiçoadas todas as etapas de preparação para a tecnologia ser ampliada para a produção em escala comercial. Sob o acordo recém-assinado, e que entrou em vigor em 13/11/2020, as empresas irão ao longo de 6 meses colaborar no desenvolvimento, na testagem e na validação das soluções de processo e equipamento. Sendo que ainda no presente ano de 2021 a Infinited Fiber Company espera fechar um ou mais acordos comerciais¹.

4.3.2- Worn Again Technologies

A Worn Again Technologies foi fundada em 2005 em Londres, Inglaterra, com o nome de Worn Again, e com a visão de ser parte integrante contribuinte para um planeta sem resíduos têxteis, onde todos os recursos são mantidos em constante circulação, e onde por isso, são gerados benefícios ambientais, sociais e económicos positivos. Atualmente é uma das empresas que se encontra na linha da frente, no que diz respeito às tarefas de resolver parte da crise mundial do plástico e o crescente problema dos resíduos têxteis que são enviados para aterros ou para inceneração, uma vez que o seu objetivo principal é a resolução do problema desafiador de converter tecidos mistos de poliéster e algodão, e plástico politereftalato de etileno (PET), no final da sua utilização, de volta em matérias-primas circulares.

Foi desenvolvida pela Worn Again Technologies uma tecnologia de reciclagem química avançada, que é capaz de separar, descontaminar e extrair poliéster e celulose (do algodão) de têxteis não reutilizáveis e de garrafas e embalagens de poliéster, para

¹ Informações recolhidas em: <https://infinitedfiber.com/>
<https://www.portugaltexil.com/marcas-investem-em-fibras-biologicas-regeneradas/>
<https://www.textilexchange.org/feature/infinited-fiber-company-2020/>

produzir resultados duplos de celulose e PET. São assim aproveitados resíduos pós-industriais e pós-consumo de algodão, poliéster e ainda misturas de polialgodão (algodão e poliéster), assim como resíduos pós-consumo de materiais plásticos, como garrafas PET e embalagens. Desta forma é permitida a circularidade das matérias-primas celulósicas e de PET, e substituída a utilização de matérias-primas virgens. Este processo permite assim que estes materiais voltem para a fabricação, substituindo uma cadeia de suprimentos linear para um sistema circular (figura 17).



Figura 17- Diagrama de processos incluindo a tecnologia de reciclagem desenvolvida pela Worn Again Technologies

Fonte: Worn Again Technologies

As primeiras etapas do processo da Worn Again Technologies são de alguma forma semelhantes às que são desenvolvidas para a reciclagem química apenas do algodão: a remoção de metal seguida de lavagem. Tudo o que é resultante após a lavagem é puro polialgodão saturado com solvente. Posteriormente este é aquecido com uma temperatura alta que faz com que o poliéster se dissolva, o que deixa o algodão como um sólido. O poliéster e o algodão são então separados por filtração. Em seguida, o solvente é separado do polímero, sendo depois o polímero purificado e restaurado para consequente envio para ser fiado novamente em fibras de poliéster. Por outro lado, as fibras de algodão sólidas são dissolvidas através de um líquido iônico, sendo por fim desenvolvida uma polpa celulósica que pode ser usada como matéria-prima para os processos de fiação de fibra celulósica existentes (figura 18).

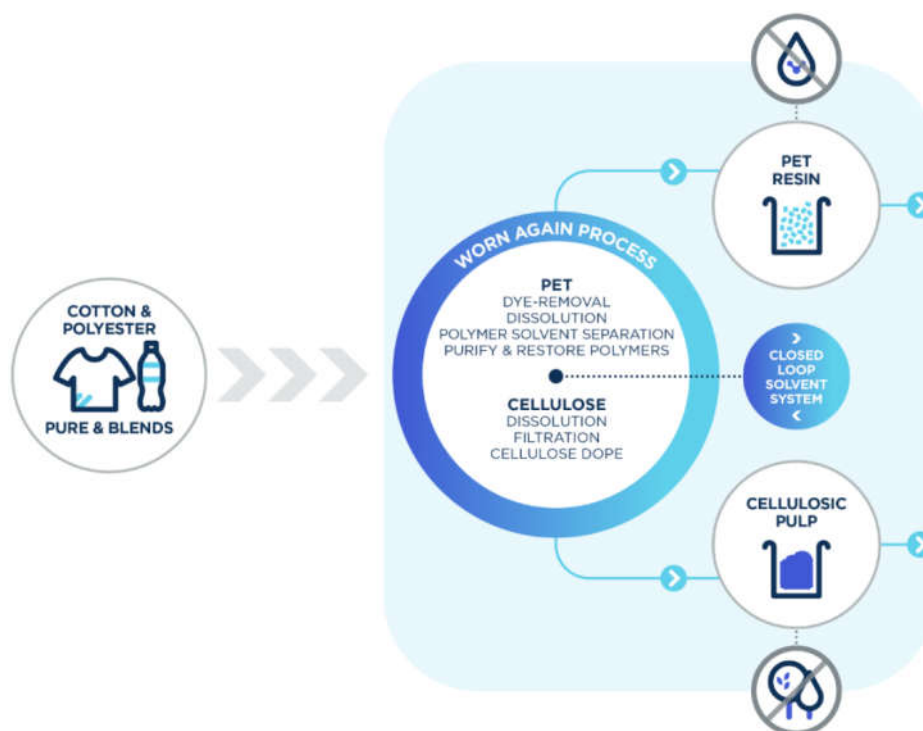


Figura 18- Diagrama do processo Worn Again

Fonte: Worn Again Technologies.

Apesar das vantagens demonstradas, de acordo com as informações recolhidas também existem as desvantagens de o consumo de energia ser elevado, assim como o próprio processo em si ainda ser caro. No entanto, o objetivo passa por competir com o material virgem em termos de preço. A empresa encontra-se atualmente a concluir a sua fase de pesquisa, sendo que assim que esta estiver concluída, oferecerão licenças para os recicladores comerciais, para dimensionar as suas operações nos próximos anos².

² Informações recolhidas em: <http://greenblueorg.s3.amazonaws.com/smm/wpcontent/uploads/2017/10/Worn-Again.pdf>

Tabela 6- Tabela síntese dos estudos de caso- Tecnologias de Reciclagem

	Infinited Fiber Company	Worn Again Technologies
Tecnologias de reciclagem	Tecnologia única de dissolução do algodão	Reciclagem inovadora de polímero químico
Tipo de fibra	Fibras naturais (tecidos de algodão)	Algodão e Poliéster
Desenvolvedor e outras instituições	Infinited Fiber Company	Worn Again
Vantagens	Mesma qualidade que as fibras de viscose Sem uso de produtos químicos prejudiciais Sem degradação de fibras por meio da reciclagem Substituição de matérias-primas virgens Reduzir o consumo de água Reduzir a quantidade de resíduos têxteis enviados para aterro/inceneração	Poliéster de qualidade equivalente ao poliéster virgem Ampla gama de entradas- Podem ser usados matérias puros e mistos Substituição de matérias-primas virgens Reduzir grandes quantidades de recursos não renováveis e de energia fóssil Reduzir a quantidade de resíduos têxteis enviados para aterro/inceneração

Fonte: Elaboração própria

Analizadas as tecnologias de reciclagem anteriormente referidas, é possível verificar efetivamente que ambas, se forem aplicadas em grande escala comercial, irão proporcionar diversos e consideráveis contributos para a melhoria da reciclagem têxtil.

4.4- Tecnologias de classificação

Como foi possível evidenciar, as tecnologias de reciclagem são um elo crítico para uma cadeia de abastecimento circular, uma vez que permitem a transição de resíduos de baixo valor para têxteis de alto valor. No entanto, previamente à sua utilização, é necessário que os materiais que são coletados, sejam detetados e classificados para que sejam garantidos fluxos de materiais bem definidos, sejam materiais únicos ou combinações de materiais. Quando a identificação dos materiais é incorreta, os processos

de reciclagem podem ser interrompidos e levar a fluxos de produção com qualidade inferior. A identificação de materiais é por isso, primordial para a classificação com precisão de roupas coletadas e para posterior utilização de tecnologias de reciclagem (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Janßen & Linke, 2017). De acordo com Ellen MacArthur Foundation (2017) & Le (2018) o desenvolvimento e introdução de tecnologias de classificação ótica tem potencial para melhorar a velocidade de classificação de roupas, sendo que esta é nos dias de hoje, realizada principalmente por tecnologia de identificação manual, que segundo a instituição WRAP (2014) apenas permite a separação de têxteis por parâmetros detetáveis pelo toque e visão de seres humanos, o que conseqüentemente traz limitações de classificação ao nível dos tecidos, da qualidade, cor, entre outras. Le (2018) & WRAP (2014) referiram ainda que tecnologias de classificação ótica automatizada desempenhariam um papel fundamental para a ampliação da reciclagem.

Dado o contexto da importância das tecnologias de classificação para a posterior utilização de tecnologias de reciclagem, foram analisados na secção seguinte, duas tecnologias promissoras de classificação ótica automatizada, e apresentados os seus contributos para a ampliação da reciclagem.

4.4.1- Fibersort

Como foi anteriormente referido, as diferentes tecnologias de reciclagem são projetadas para a reciclagem de diferentes composições de fibras, e, por esse motivo, existe a necessidade de classificação com precisão dos têxteis pelo tipo de fibra para que se possa posteriormente proceder aos processos de reciclagem. A Fibersort é precisamente uma tecnologia que classifica automaticamente grandes quantidades de têxteis, mais especificamente têxteis pós-consumo, consoante o tipo de fibra. Sem esta, a classificação das matérias-primas para a reciclagem é feita manualmente, processo que revela menos produtividade e precisão do que um processo de classificação automatizado.

A tecnologia Fibersort, que esteve em desenvolvimento ao longo da última década, fez parte de um projeto mais amplo, o Fibersort Interreg North-West Europe (2016-2020), financiado pela Interreg North-West Europe e que compreendeu um

consórcio com as empresas Valvan Baling Systems, Procatex, Circle Economy, ReShare, Smart Fibersorting e a Worn Again Technologies. Este permitiu que a tecnologia fosse otimizada e validada para a sua comercialização.

O projeto procurou enfrentar dois desafios fundamentais, a necessidade ambiental de se reduzir o impacto das matérias têxteis virgens, assim como o desenvolvimento de novos modelos de negócio e abrir os mercados para as quantidades crescentes de têxteis recicláveis no Noroeste da Europa.

De acordo com os dados recolhidos nos vários relatórios elaborados pelo projeto, todos os anos cerca de 4,7 milhões de toneladas de têxteis pós-consumo são depositados em aterros ou enviados para inceneração no Noroeste da Europa, o que corresponde a 70% dos têxteis pós-consumo totais. Dentro dos 30% que são recolhidos, 24% são adequados para serem classificados pela tecnologia Fibersort e reingressarem desta forma no fluxo de reciclagem têxtil (figura 19).

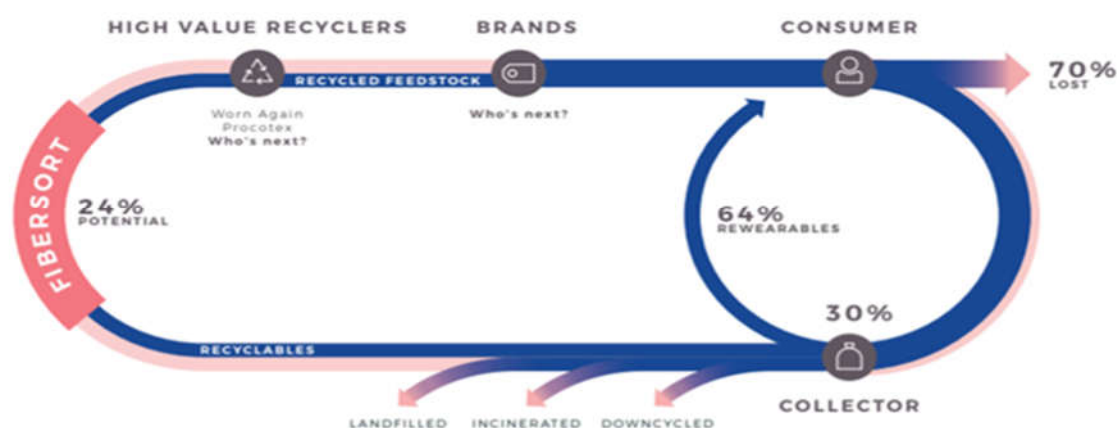


Figura 19- Percentagens dos fluxos anuais de têxteis pós-consumo no Noroeste da Europa

Fonte: Interreg North- West Europe

Esta tecnologia classifica automaticamente grandes volumes de têxteis pós-consumo mistos consoante o tipo de fibra. A mesma funciona à base de um scanner de infravermelhos próximos com algoritmos desenvolvidos pela Valvan Baling Systems. Estes algoritmos podem efetuar previsões sobre a concentração de fibras em cada tecido que é inserido no scanner, incluindo combinações de fibras. A tecnologia também pode classificar consoante a cor dos tecidos, e quer a quantidade quer o tipo de categorias de classificação presente podem ainda ser personalizadas conforme as necessidades do

mercado final de uma determinada instalação. A fibersort apresenta a capacidade de classificar até 1 peça por segundo, sendo que com 90% de eficiência, é possível a obtenção de um rendimento de 1080 kg/h. Uma vez classificados, os materiais tornam-se materiais de entrada consistentes e confiáveis para poderem ser reciclados³.

4.4.2- SIPTex

A SIPTex- Sewdsh Innivation platform for textile sorting (Plataforma de inovação sueca para classificação de têxteis) é um projeto financiado pela Vinnova e encontra-se inserido dentro do programa Challenge-driven innovation. Este projeto é liderado pelo IVL Swedish Environmental Institute e é implementado de forma conjunta com um consórcio constituído por institutos de pesquisa, empresas de moda sueca e autores de diferentes partes da cadeia de valor para os têxteis.

O projeto está atualmente a realizar testes operacionais para a triagem automatizada de têxteis em grande escala para a reciclagem, numa instalação piloto em Malmö na Suécia. Nesta, os têxteis são classificados através de tecnologias que usam espectroscopia de infravermelho próximo e visual (NIR/VIS), e são classificados de acordo com os seus materiais e cores. Em vez de se efetuar a separação para composições de fibras extas, os materiais são classificados pela maioria dos tipos de fibras de cada peça de roupa. Esta classificação começa quando os tecidos são iluminados e a luz é refletida de diferentes maneiras consoante o material. Posteriormente os sensores óticos detetam e calculam o tipo de fibra. Após identificado o tipo de roupa, os tecidos são separados e podem por fim prosseguir para processos de reciclagem têxtil.

São dados como materiais de entrada aptos para classificação, resíduos têxteis pré-consumo como resíduos de produção, resíduos têxteis pós-consumo pré-classificados

³ Informações recolhidas em: <https://www.nweurope.eu/projects/project-search/bringing-the-fibersort-technology-to-the-market/news/report-release-final-fibersort-case-studies-report/>

<https://www.nweurope.eu/projects/project-search/bringing-the-fibersort-technology-to-the-market/events/fibersort-final-symposium/>

<https://www.nweurope.eu/media/9655/2020305-fibersort-51-final-case-studies-report.pdf>

<https://www.nweurope.eu/media/9160/wp-t1-extra-fibersort-fact-sheet-accuracy-final-copy.pdf>

https://assets.website-files.com/5d26d80e8836af2d12ed1269/5e693084c6177d61e3a74003_26455816-0-Fibersort-interim-re.pdf

de um tipo de produto específico como t-shirts ou lençóis rasgados, e ainda resíduos têxteis de consumidores e de indústrias, como por exemplo roupas que não possam ser mais usadas. De acordo com os dados recolhidos, a instalação detém quatro máquinas que utilizam as tecnologias de espectroscopia de infravermelho próximo e visual (NIR/VIS) e que possuem atualmente a capacidade de classificar 24,000 toneladas de têxteis por ano (4,5 toneladas por hora).

O projeto foi dividido em três diferentes etapas, sendo que atualmente o mesmo se encontra na última (maio de 2019 até novembro de 2021). A abordagem do projeto passa pela criação de condições para uma operação comercial da instalação SIPTex após a conclusão das três etapas definidas pelo projeto⁴.

Tabela 7- Tabela síntese dos estudos de caso- Tecnologias de classificação

	Fibersort	SIPTex
Tecnologias de classificação	Tecnologia espectroscópica de infravermelho próximo NIR	Tecnologia espectroscópica de infravermelho próximo e visual (NIR/VIS)
Desenvolvedor e outras instituições	Interreg North-West Europe, Valvan Boling System, Procatex, Circle Economy, Reshare, Smart Fibersorting e a Worn Again Technologies	Financiado pela Vinnova e liderado pelo IVL Swedish Environmental Institute
Vantagens	Fornece entrada classificada e homogênea para processos de reciclagem Aumento da eficiência e precisão de classificação Aumento da quantidade de têxteis adequados para a reciclagem	Fornece entrada classificada e homogênea para processos de reciclagem Aumento da eficiência e precisão de classificação Aumento da quantidade de têxteis adequados para a reciclagem

Fonte: Elaboração própria

⁴ Informações disponíveis em: <https://www.sysav.se/en/siptex/>

<https://www.vinnova.se/p/svensk-innovationsplattform-for-textilsortering-siptex2/>

https://www.sysav.se/globalassets/filer-och-dokument/informationsmaterial-broschyrer-arsredovisningar-faktablad-rapporter-etc/broschyrer-och-faktablad/siptex_inbound_eng.pdf

<https://www.ivl.se/english/ivl/topmenu/press/news-and-press-releases/press-releases/2016-06-23-automated-sorting-will-increase-recycling-of-textiles.html>

Tal como as tecnologias de reciclagem analisadas, também ambas as tecnologias de classificação previamente mencionadas detêm um vasto potencial contributivo para os processos de reciclagem têxtil, se as mesmas forem aplicadas em larga escala.

4.5- Discussão dos resultados

A reciclagem têxtil tem sido apontada como favorável para uma transformação de uma economia linear para uma EC no setor têxtil (Baruque-Ramos et al., 2017; Ellen MacArthur Foundation, 2017; Leal Filho et al., 2019; Leonas, 2017; Sandvik & Stubbs, 2019). Tal se afirma devido ao potencial que esta etapa tem para capturar o valor dos materiais nas roupas que não possam ser mais usadas (Ellen MacArthur Foundation, 2017), reduzir a produção de têxteis a partir de materiais virgens (Fashion For Good, 2020; Leal Filho et al., 2019) o que por sua vez permite reduzir a utilização de energia, água e produtos químicos (Leal Filho et al., 2019), e por último ainda para reduzir os resíduos têxteis que acabam depositados em aterros (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Fashion For Good, 2020; Sandvik & Stubbs, 2019) ou que são levados para inceneração. Assim, para que a indústria têxtil se mova em direção a uma EC, uma das etapas e ambições fundamentais passa pela melhoria dos processos de reciclagem (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Leonas, 2017), uma vez que, até aos dias de hoje, as taxas de reciclagem são ainda bastante baixas e por isso pouco significativas (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Global Fashion Agenda, 2017; Xiao et al., 2018). Estas são consequência das barreiras que ainda existem (Leal Filho et al., 2019) e que impedem que os processos de reciclagem possam melhorar de forma radical (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Neste trabalho, foi abordada a barreira tecnológica, mais especificamente as limitações nas tecnologias de reciclagem e nas tecnologias de classificação, segundo as premissas de EC. No que concerne às tecnologias de reciclagem, é frequentemente referido que grande parte das mesmas apenas apresentam soluções para a reciclagem de ciclo aberto (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Janßen; & Linke, 2017; Mistra Future Fashion, 2016), na qual os resíduos acabam por ser frequentemente usados para aplicações em cadeias de valor linear ou em cadeias de valor inadequadas à recirculação das fibras têxteis (Mistra Future Fashion, 2016), pelo que nestes sistemas de reciclagem, o material não é reciclado infinitamente e acaba eventualmente por ser desviado para aterros ou enviado para inceneração (Leonas, 2017). Por outro lado, e no que diz respeito às tecnologias de classificação, estas usam atualmente a classificação

manual como método de classificação principal (Karell & Niinimäki, 2019; Sandvik & Stubbs, 2019; WRAP, 2014), o que tem limitado os processos de reciclagem, pois este método não fornece a eficiência e a precisão que são necessárias (Karell & Niinimäki, 2019). Face a estas limitações, instituições de pesquisa, a indústria, as universidades e as organizações não governamentais, têm vindo a intensificar os seus esforços para que novas tecnologias sejam capazes de resolver estas limitações e assim otimizar os processos de reciclagem (Janßen; & Linke, 2017).

Através dos estudos de caso foram verificadas tecnologias inovadoras que apresentam potenciais contributos para ultrapassar as limitações constatadas. No que diz respeito às tecnologias de reciclagem, quer a tecnologia desenvolvida pela Infinited Fiber Company quer a tecnologia desenvolvida pela Worn Again Technologies, representam soluções de reciclagem têxtil de ciclo fechado uma vez que permitem a circulação de materiais, mais concretamente de resíduos têxteis pré e pós-consumo ricos em celulose (Infinited Fiber Company) e de resíduos pós-industriais e pós-consumo de algodão e poliéster (Worn Again Technologies). Assim através da capacidade de se transformar os resíduos têxteis em fibras regeneradas de qualidade virgem, estas tecnologias apresentam fortes contributos para a substituição de matérias-primas virgens (Fashion For Good, 2020) como as fibras de algodão, o que permite reduzir o consumo de água (Leal Filho et al., 2019; Roos et al., 2016; United Nations Environment Programme, 2020), de poliéster reduzindo as grandes quantidades de recursos não renováveis e de energia fóssil que são necessárias para a sua produção, e ainda para resolver parte da crise mundial provocada pelo plástico (Ellen MacArthur Foundation, 2017). Para além deste alívio sobre a dependência em matérias-primas virgens, estas tecnologias ainda permitem que sejam reduzidas as quantidades de resíduos têxteis enviados para aterro/inceneração e os seus consequentes problemas (Fashion For Good, 2020). No entanto, para que sejam possíveis processos de reciclagem de ciclo fechado, os materiais adequados para cada processo de reciclagem exigem uma classificação cuidadosa dos resíduos têxteis pela sua composição de fibra, motivo pelo qual se afirma que, do ponto de vista da reciclagem, a fase de classificação também desempenha um papel fundamental para fechar o ciclo do material (Karell & Niinimäki, 2019). As tecnologias de classificação ótica mencionadas nos estudos de caso (Fibersort e SIPTex) permitem reconhecer as composições de uma determinada roupa de uma forma automatizada e melhorar a velocidade de classificação, o que por sua vez aumenta a eficiência e precisão de classificação e a quantidade de têxteis

adequados para a reciclagem (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Leal Filho et al., 2019), o que contribui de forma muito significativa para a ampliação da reciclagem (Ellen MacArthur Foundation, 2017) e soluciona as debilidades identificadas pela classificação manual (Karell & Niinimäki, 2019). Alguns autores afirmam ainda que só através de tecnologias de classificação automática, a reciclagem têxtil de circuito fechado constitui uma oportunidade real de negócios (Ellen MacArthur Foundation, 2017; Sandvik & Stubbs, 2019), uma vez que permitem que esta seja competitiva com a entrada de matéria-prima virgem em termos de custos (Ellen MacArthur Foundation, 2017).

Face aos vários contributos demonstrados quer pelas tecnologias de reciclagem, quer pelas tecnologias de classificação mencionadas nos diferentes estudos de caso, se pode afirmar que estas apresentam um vasto potencial para ultrapassar as limitações anteriormente referidas, e contribuir através da inovação dos processos de reciclagem, mais especificamente pela reciclagem em ciclo fechado potenciada pela classificação ótica automatizada, para a transição de uma economia linear para processos mais circulares no setor têxtil.

5. CONCLUSÃO

A maioria dos negócios, desde a revolução industrial, tem-se regido por um modelo Económico Linear, que é caracterizado por operações assentes na extração dos recursos naturais, a sua transformação em produtos, comercialização, e em seguida o seu descarte quando estes esgotam a sua vida útil e por isso não servem mais o seu propósito. Os padrões de produção e consumo lineares estão a se revelar insustentáveis devido a todas as alterações negativas que tem provocado nos ecossistemas e dado que não conseguem garantir uma disponibilidade de recursos a longo prazo, face ao aumento populacional e ao desenvolvimento económico que se tem verificado.

A Economia Circular substitui este conceito de fim de vida característico da Economia Linear pelo prolongamento da vida útil dos produtos e materiais em uso, elimina o desperdício assim como a poluição e ainda promove a regeneração dos sistemas naturais. Desta forma apresenta uma potencial solução de superação face ao atual modelo de produção e consumo, e por essa razão, tem vindo ao longo dos últimos anos, a receber cada vez mais atenção em todo o mundo, a ser reconhecida a importância da sua implementação e ainda o seu papel contributivo para o alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável.

Apesar de todo o reconhecimento, tem surgido diversas barreiras que têm impedido mais progressos em relação à sua implementação, entra as quais é identificada a barreira tecnológica. Face ao reconhecimento da tecnologia como barreira à implementação da Economia Circular, tornou-se relevante perceber como as barreiras tecnológicas têm sido trabalhadas pelo setor têxtil e quais contributos podem ser gerados através do seu desenvolvimento, até mesmo para que possam ser efetivamente ultrapassadas.

De modo a responder a esta mesma pergunta, foram selecionados casos do setor têxtil, uma vez que, para além da necessidade em avançar com a Economia Circular neste setor, a tecnologia é igualmente identificada como uma das barreiras à sua implementação, nomeadamente por ainda existirem limitações tecnológicas, que condicionam os processos de reciclagem têxtil. Através da análise de múltiplos estudos de caso referentes a empresas que desenvolveram tecnologias inovadoras para fornecer

soluções para as limitações identificadas, foram sintetizados os diferentes contributos que as tecnologias, concretamente as tecnologias de reciclagem e as tecnologias de classificação, fornecem no auxílio à implementação de práticas circulares. Estas contribuem na medida que detêm o potencial de solucionar as limitações tecnológicas existentes e assim melhorar a reciclagem têxtil. É de salientar que, apesar de ser apontada como contribuinte à Economia Circular pela literatura, a reciclagem prevista no modelo linear não deve ser a orientação estratégica uma vez que não confere com os princípios de circularidade (preservar e valorizar o capital natural; otimizar o uso dos recursos e reduzir as externalidades negativas). Os estudos de casos aqui destacados apresentaram preocupações que vão para além das soluções pontuais de final de processo linear, com intenção de reuso dos recursos e múltiplos reprocessos, sem haver necessidade de novas extrações de matérias-primas virgens; foram desenhados para operação de ciclos fechados que auxiliam na redução da dependência dos recursos e ainda, reduzem suas externalidades negativas.

A falta de dados foi uma das limitações encontrada aquando da análise das respetivas empresas, uma vez que nem sempre foram especificadas em detalhe algumas informações relevantes como o funcionamento das tecnologias envolvidas nos processos ou os dados estatísticos dos benefícios das mesmas. Uma outra limitação deste relatório foi o facto de se ter restringido ao papel das tecnologias no setor têxtil, sendo que ainda no mesmo foram especificados os contributos das tecnologias de reciclagem e classificação para a melhoria dos processos de reciclagem, no entanto, existem ainda outras tecnologias menos exploradas na literatura, mas que revelam potencial para fornecer contributos e ter um papel importante para a transição para um modelo económico circular. Desta forma, trabalhos futuros poderão explorar não só contributos de outras tecnologias dentro do próprio setor têxtil, como ainda explorar a importância da tecnologia para a implementação de práticas de circularidade que podem auxiliar num avanço por novas estruturas de produtos e processos que realmente trabalhem com as premissas intencionais de restauração e regeneração desde o design em diferentes setores.

Foram analisadas e referenciadas algumas das empresas que têm merecido mais destaque em relação ao desenvolvimento de tecnologias inovadoras de classificação e reciclagem, no entanto, seria interessante estudar mudanças substanciais para além de ações de fim de processo da economia linear como é o caso da reciclagem, em que o

modelo circular de regeneração e restauração por design esteja na essência das atividades, desde a concepção dos produtos e processos para que a economia circular esteja em pleno em todas as atividades dessa cadeia.

Apesar das limitações descritas, julga-se que este relatório tenha realçado a importância e a necessidade de se efetuar a transição para uma Economia Circular para além da reciclagem não só no setor têxtil, mas de uma forma generalizada, e ainda, realçado o papel fundamental contribuinte das tecnologias para essa transição.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adler, N., & Volta, N. (2016). Accounting for externalities and disposability: A directional economic environmental distance function. *European Journal of Operational Research*, 250(1), 314–327. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.10.064>
- Aidt, T. S. (1998). Political internalization of economic externalities and environmental policy. *Journal of Public Economics*, 69(1), 1–16. [https://doi.org/10.1016/S0047-2727\(98\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0047-2727(98)00006-1)
- Andersen, M. S. (2007). An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability Science*, 2(1), 133–140. <https://doi.org/10.1007/s11625-006-0013-6>
- Aragão, E. F., & Bezerra, A. S. (2002). *O Fiar e o Tecer*.
- Araujo Galvão, G. D., De Nadae, J., Clemente, D. H., Chinen, G., & De Carvalho, M. M. (2018). Circular Economy: Overview of Barriers. *Procedia CIRP*, 73, 79–85. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.011>
- Banaité, D. (2016). Towards Circular Economy : Analysis of Indicators in the context of sustainable development. *Social Transformations in Contemporary Society*, 4(4), 142–150.
- Baruque-Ramos, J., Amaral, M. C., Laktim, M. C., Santos, H. N., Araujo, F. B., & Zonatti, W. F. (2017). Social and economic importance of textile reuse and recycling in Brazil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 254(19). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/254/19/192003>
- Benyus, J. M. (2013). Biomimicry. *The Top 50 Sustainability Books*, 104–107. https://doi.org/10.9774/gleaf.978-1-907643-44-6_23
- Bhushan, B. (2009). Biomimetics: Lessons from Nature - an overview. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 367(1893), 1445–1486. <https://doi.org/10.1098/rsta.2009.0011>
- Bocken, N. M. P., de Pauw, I., Bakker, C., & van der Grinten, B. (2016). Product design and business model strategies for a circular economy. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 33(5), 308–320. <https://doi.org/10.1080/21681015.2016.1172124>

- Bonciu, F. (2014). The European economy: From a linear to a circular economy. *Romanian Journal of European Affairs*, 14(4), 78–91.
- Carmo, H., & Ferreira, M. M. (2008). *Metodologia da investigação - Guia para Auto-aprendizagem*.
- Clarke, C. A., Fischer-Kowalski, M., Graedel, T., Hajer, M., Hashimoto, S., Hatfield-dodds, S., Havlik, P., Hertwich, E., Ingram, J., Kruit, K., Milligan, B., Moriguchi, Y., Nasr, N., Newth, D., Obersteiner, M., Lardere, J. A. De, Aoki-suzuki, C., Christmann, P., Herrick, J., ... Kumar, V. (2016). Resource Efficiency : Potential and Economic Implications - Summary for Policy-Makers. *Unep*, 73.
- Claudio, L. (2007). Waste Couture. *Environ Health Perspect.* 2007 Sep; 115(9):(Sept 2007), A449–A454.
- Comissão Europeia. (2015). Fechar o ciclo – plano de ação da UE para a economia circular. *Official Journal of the European Union*, 1–24. http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:8a8ef5e8-99a0-11e5-b3b7-01aa75ed71a1.0007.02/DOC_1&format=PDF
- de Souza Machado, A. A., Kloas, W., Zarfl, C., Hempel, S., & Rillig, M. C. (2018). Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. *Global Change Biology*, 24(4), 1405–1416. <https://doi.org/10.1111/gcb.14020>
- Do Amaral, M. C., Zonatti, W. F., Da Silva, K. L., Junior, D. K., Neto, J. A., & Baruque-Ramos, J. (2018). Industrial textile recycling and reuse in Brazil: Case study and considerations concerning the circular economy. *Gestao e Producao*, 25(3), 431–443. <https://doi.org/10.1590/0104-530X3305>
- E. J. Mishan. (2017). *Reflections on Recent Developments in the Concept of External Effects Author (s) : E . J . Mishan Source : The Canadian Journal of Economics and Political Science / Revue canadienne d ' Economie et de Science politique , Vol . 31 , No . 1 (Feb . , 1965. 31(1), 3–34.*
- Economics, M. (2016). *The Circular Economy - A powerful force for climate mitigtaiion - Full Report*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). TOWARDS THE CIRCULAR ECONOMY. Economic and business rationale for an accelerated transition. In *Folia Oecologica* (Vol. 40, Issue 2).

- <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). *A new textiles economy: Redesigning fashion's future*.
- Ellen MacArthur Foundation. (2019a). Artificial Intelligence and the Circular Economy: Ai As a Tool To Accelerate. *Report*, 39.
<https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/artificial-intelligence-and-the-circular-economy>
- Ellen MacArthur Foundation. (2019b). Complete the picture: How the circular economy tackles climate change. In *Ellen MacArthur Foundation* (Issue September).
www.ellenmacarthurfoundation.org/publications
- EPEA. (2020). Sitio da Web da EPEA Internationale Umweltforschung GmbH.
<https://epea.com/en/about-us/cradle-to-cradle>
- Euratex. (2018). Annual Report 2018. *Journal of Surgical Orthopaedic Advances*, 26(04). <https://doi.org/10.3113/JSOA.2017.0239>
- Euratex. (2020). *Prospering in the Circular Economy* (Issue January).
- European Comission. (2016). *Flash Eurobarometer 441 Briefing note European SMEs and the Circular Economy Fieldwork April 2016 June 2016 Survey requested by the European Commission , Flash Eurobarometer 441 Briefing note European SMEs and the Circular Economy* (Issue April).
- European Commission. (2019). The European Green Deal. In *European Commission* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- European Commission. (2020). A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe. In *The Cinema of Alexander Sokurov*.
<https://doi.org/10.7312/columbia/9780231167352.003.0015>
- European Environment Agency. (2016). Circular economy in Europe - developing the knowledge base (European Environment Agency Report No 2/2016). In *Publication Office of the Euopean Union* (Issue 2).
https://ec.europa.eu/environment/ecoap/policies-and-practices-eco-innovation-uptake-and-circular-economy-transition_en

- European Technology Platform. (2016). Towards a 4th Industrial Revolution of Textiles and Clothing - A Strategic Innovation and Research Agenda for the European Textile and Clothing Industry. In *European Technology Platform* (Issue October).
- FASHION FOR GOOD. (2020). *Coming Full Circle : Innovating Towards Man-Made Cellulosic Fibres*.
- Fonseca, J. J. S. da. (2002). Metodologia da Pesquisa Científica. *UECE - Universidade Estadual Do Ceará*.
- Franco, M. A. (2017). Circular economy at the micro level: A dynamic view of incumbents' struggles and challenges in the textile industry. *Journal of Cleaner Production*, 168, 833–845. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.056>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016a). A review on circular economy : the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016b). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>
- Global Fashion Agenda. (2017). Pulse of the. *Global Fashion Agenda & The Boston Consulting Group*, 11. http://globalfashionagenda.com/wp-content/uploads/2017/05/Pulse-of-the-Fashion-Industry_2017.pdf
- Godoy, A. S. (2017). INTRODUÇÃO À PESQUISA QUALITATIVA E SUAS POSSIBILIDADES. *Physis*, 27(1), 9–12. <https://doi.org/10.1590/s0103-73312017000100018>
- Greenpeace internacional. (2012). *Toxic Threads : Putting Pollution on Parade : How textile manufacturers are hiding their toxic trail*. <https://www.greenpeace.org/international/publication/6925/toxic-threads-putting-pollution-on-parade/>
- Günther, H. (2006). Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa: esta é a questão? *Psicologia: Teoria e Pesquisa*, 22(2), 201–209. <https://doi.org/10.1590/s0102->

- Henry, B., Laitala, K., & Klepp, I. G. (2019). Microfibres from apparel and home textiles: Prospects for including microplastics in environmental sustainability assessment. *Science of the Total Environment*, 652, 483–494.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.166>
- Hopkins, J. (2012). Fashion design: the complete guide. In *Choice Reviews Online* (Vol. 49, Issue 10). <https://doi.org/10.5860/choice.49-5460>
- Jaeger, B., & Upadhyay, A. (2020). Understanding barriers to circular economy: cases from the manufacturing industry. *Journal of Enterprise Information Management*, 33(4), 729–745. <https://doi.org/10.1108/JEIM-02-2019-0047>
- Janßen, M. H. D. J. H. P. M. T., & Linke, N. S. G. D. C. (2017). Circular economy in the textile sector. In *Revista de Química e Indústria Textil* (Issue 223).
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041392490&partnerID=40&md5=4f9f7dd288f180141d841ae7b458a3ca>
- Kapur, A., & Graedel, T. E. (2016). Industrial Ecology. *Доклады Академии Наук*, 469(3), 319–323. <https://doi.org/10.7868/s0869565216210155>
- Karell, E., & Niinimäki, K. (2019). Addressing the Dialogue between Design. Sorting and Recycling in a Circular Economy. *Design Journal*, 22(sup1), 997–1013.
<https://doi.org/10.1080/14606925.2019.1595413>
- Kazancoglu, I., Kazancoglu, Y., Yarimoglu, E., & Kahraman, A. (2020). A conceptual framework for barriers of circular supply chains for sustainability in the textile industry. *Sustainable Development*, 28(5), 1477–1492.
<https://doi.org/10.1002/sd.2100>
- Kirchherr, J., Piscicelli, L., Bour, R., Kostense-Smit, E., Muller, J., Huibrechtse-Truijens, A., & Hekkert, M. (2018). Barriers to the Circular Economy: Evidence From the European Union (EU). *Ecological Economics*, 150(April), 264–272.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2018.04.028>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017a). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127(September), 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017b). *Resources , Conservation & Recycling*

- Conceptualizing the circular economy : An analysis of 114 definitions.* 127(April), 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Koszevska, M. (2018). Circular Economy - Challenges for the Textile and Clothing Industry. *Autex Research Journal, February*. <https://doi.org/10.1515/aut-2018-0023>
- Le, K. (2018). Textile recycling technologies colouring and finishing methods. In *The University of British Columbia*. [sustain.ubc.ca/sites/sustain.ubc.ca/files/SustainabilityScholars/2018_Sustainability_Scholars/Reports/2018-25TextileRecycling Technologies%2C Colouring and Finishing Methods_Le.pdf](https://sustain.ubc.ca/sites/sustain.ubc.ca/files/SustainabilityScholars/2018_Sustainability_Scholars/Reports/2018-25TextileRecycling%20Technologies%20Colouring%20and%20Finishing%20Methods_Le.pdf)
- Leal Filho, W., Ellams, D., Han, S., Tyler, D., Boiten, V. J., Paco, A., Moora, H., & Balogun, A. L. (2019). A review of the socio-economic advantages of textile recycling. *Journal of Cleaner Production, 218*, 10–20. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.210>
- Lehtoranta, S., Nissinen, A., Mattila, T., & Melanen, M. (2011). Industrial symbiosis and the policy instruments of sustainable consumption and production. *Journal of Cleaner Production, 19*(16), 1865–1875. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.04.002>
- Leonas, K. K. (2017). *Textile Science and Clothing Technology Textiles and Clothing Sustainability Implications in Textiles and Fashion*.
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production, 115*, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.042>
- Manshoven, S., Chistis, M., Vercalsteren, A., Arnold, M., Nicolau, M., Lafond, E., Fogh, L., & Coscieme, L. (2019). Textiles and the environment in a circular economy. *European Topic Centre Waste and Materials in a Green Economy, November*, 1–60.
- Mathews, B. (2015). Closing the Loop: Circle economy work. *Closing the Loop: Circle Economy Work*, 54–62. http://www.fundacionseres.org/SiteAssets/Lists/Informes/NewForm/Closing-the-loop.pdf%0Ahttp://www.mowbray.uk.com/basket.html?page=shop.product_details

&flypage=flypage.tpl&product_id=20&category_id=7

- Merriam. (1998). Case study Research in Education. In *Computer Systems Validation* (pp. 557–586). <https://doi.org/10.1201/9780203494240.ch23>
- Millennium Ecosystem Assessment Board. (2013). Summary for decision makers. In *Assessment of Climate Change in the Southwest United States: A Report Prepared for the National Climate Assessment*. https://doi.org/10.5822/978-1-61091-484-0_1
- Mistra Future Fashion. (2016). *MFF-report-2016-1-Critical-aspects.pdf*.
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Ness, D. (2008). Sustainable urban infrastructure in China: Towards a Factor 10 improvement in resource productivity through integrated infrastructure systems. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, 15(4), 288–301. <https://doi.org/10.3843/SusDev.15.4:2a>
- Organização das Nações Unidas. (2018). Guia sobre Desenvolvimento Sustentável: 17 objetivos para transformar o nosso mundo. *Centro de Informação Regional Das Nações Unidas Para a Europa Ocidental*, 1–38.
- PACE. (2019). *Circularity gap*. 56. <https://www.circularity-gap.world/>
- Pascual, U., Muradian, R., Brander, L., Gómez-Baggethun, E., Martín-López, B., Verma, M., Armsworth, P., Christie, M., Cornelissen, H., Eppink, F., Farley, J., Loomis, J., Pearson, L., Perrings, C., Polasky, S., McNeely, J. A., Norgaard, R., Siddiqui, R., David Simpson, R., ... Simpson, R. D. (2012). The economics of valuing ecosystem services and biodiversity. *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*, 183–256. <https://doi.org/10.4324/9781849775489>
- Pinto, A. S. S. J. M. (1999). METODOLOGIA DAS CIÊNCIAS SOCIAIS. *Metodologia Das Ciências Sociais*, 1989, 215–249.
- Piribauer, B., & Bartl, A. (2019). Textile recycling processes, state of the art and current developments: A mini review. *Waste Management and Research*, 37(2), 112–119. <https://doi.org/10.1177/0734242X18819277>

- Preston, F. (2012). A Global Redesign? Shaping the Circular Economy. *Energy, Environment and Resource Governance*, March, 1–20.
[http://www.chathamhouse.org/sites/files/chathamhouse/public/Research/Energy, Environment and Development/bp0312_preston.pdf](http://www.chathamhouse.org/sites/files/chathamhouse/public/Research/Energy,EnvironmentandDevelopment/bp0312_preston.pdf)
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., & Ormazabal, M. (2018). Towards a consensus on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 179, 605–615.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.224>
- PWC. (2017). *Spinning around: Taking control in a circular economy*. 12.
<https://www.pwc.com/gx/en/sustainability/assets/taking-control-in-a-circular-economy.pdf>
- Quartinello, F., Vajnhandl, S., Volmajer Valh, J., Farmer, T. J., Vončina, B., Lobnik, A., Herrero Acero, E., Pellis, A., & Guebitz, G. M. (2017). Synergistic chemo-enzymatic hydrolysis of poly(ethylene terephthalate) from textile waste. *Microbial Biotechnology*. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12734>
- R. H. Coase. (2016). THE PROBLEM OF SOCIAL COST. *Journal of Law and Economics*, 59(3), 1.
- República Portuguesa - Ambiente. (2017). Liderar a Transição - Plano de Ação para a Economia Circular em Portugal: 2017-2020. In *Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A / 2017*. <https://dre.pt/>
- Ritzén, S., & Sandström, G. Ö. (2017). Barriers to the Circular Economy - Integration of Perspectives and Domains. *Procedia CIRP*, 64, 7–12.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.005>
- Roos, S., Zamani, B., Sandin, G., Peters, G. M., & Svanström, M. (2016). A life cycle assessment (LCA)-based approach to guiding an industry sector towards sustainability: the case of the Swedish apparel sector. *Journal of Cleaner Production*, 133, 691–700. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.146>
- Rossi, M., Charon, S., Wing, G., & Ewell, J. (2006). Design for the next generation: Incorporating cradle-to-cradle design into Herman Miller products. *Journal of Industrial Ecology*, 10(4), 193–210. <https://doi.org/10.1162/jiec.2006.10.4.193>
- Šajn, N. (2019). Environmental impact of the textile and clothing industry. What consumers need to know. *European Parliamentary Research Service*, January.

- Sandholm, W. H. (2005). Negative externalities and evolutionary implementation. *Review of Economic Studies*, 72(3), 885–915. <https://doi.org/10.1111/j.1467-937X.2005.00355.x>
- Sandin, G., & Peters, G. M. (2018). Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. *Journal of Cleaner Production*, 184, 353–365. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.266>
- Sandvik, I. M., & Stubbs, W. (2019). Circular fashion supply chain through textile-to-textile recycling. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 23(3), 366–381. <https://doi.org/10.1108/JFMM-04-2018-0058>
- Sankar. (2002). ENVIRONMENTAL EXTERNALITIES. *Environmental Science and Policy*, 5(5), 385–395.
- Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77–95. <https://doi.org/10.1111/jiec.12732>
- Steven A.Y. Lin. (1976). Theory and Measurement of Economic Externalities. In *Theory and Measurement of Economic Externalities* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-450450-9.50006-3>
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013a). A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, 42, 215–227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013b). A review of the circular economy in China: Moving from rhetoric to implementation. *Journal of Cleaner Production*, 42(March), 215–227. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.11.020>
- Tibbs, H. B. C. (1992). Industrial Ecology – An Agenda for Environmental Management. *Pollution Prevention Review*, Spring, 179–187.
- United Nations Environment Programme. (2018). Building circularity into our economies through sustainable procurement. In *United Nations Environment Programme*. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/26599/circularity_procurement.pdf?isAllowed=y&sequence=1
- United Nations Environment Programme. (2020). *Sustainability and Circularity in the*

Textile Value Chain - Global Stocktaking.

- van Buren, N., Demmers, M., van der Heijden, R., & Witlox, F. (2016). Towards a circular economy: The role of Dutch logistics industries and governments. *Sustainability (Switzerland)*, 8(7), 1–17. <https://doi.org/10.3390/su8070647>
- Wilts, H., von Gries, N., & Bahn-Walkowiak, B. (2016). From waste management to resource efficiency-the need for policy mixes. *Sustainability (Switzerland)*, 8(7), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su8070622>
- World Commission on Environment and Development. (1988). The Brundtland Report: “Our Common Future.” *Medicine and War*, 4(1), 17–25. <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>
- WRAP. (2014). *Technologies for sorting end of life textiles A technical and economic evaluation of the options applicable to clothing* (Issue May).
- Xiao, S., Dong, H., Geng, Y., & Brander, M. (2018). An overview of China’s recyclable waste recycling and recommendations for integrated solutions. *Resources, Conservation and Recycling*, 134(December 2017), 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.032>
- Yin, R. K. (1994). (2 ed .). *Porto Alegre : Bookman* . 1–173.
- Zerrahn, A. (2017). Wind Power and Externalities. *Ecological Economics*, 141, 245–260. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.02.016>