



Lisbon School  
of Economics  
& Management  
Universidade de Lisboa

# **MESTRADO**

## **GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL**

### **TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

#### **DISSERTAÇÃO**

**AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E A SUA  
CONTRIBUIÇÃO PARA AS PRÁTICAS DE ECONOMIA  
CIRCULAR**

**RITA MAURILE SERRÃO DE OLIVEIRA TAVEIRA**

**OUTUBRO - 2022**



Lisbon School  
of Economics  
& Management  
Universidade de Lisboa

# **MESTRADO**

## **GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL**

### **TRABALHO FINAL DE MESTRADO**

#### **DISSERTAÇÃO**

**AS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 E A SUA  
CONTRIBUIÇÃO PARA AS PRÁTICAS DE ECONOMIA  
CIRCULAR**

**RITA MAURILE SERRÃO DE OLIVEIRA TAVEIRA**

**ORIENTAÇÃO:**

**PROFESSOR DOUTOR RICARDO FIGUEIREDO BELCHIOR**

**OUTUBRO - 2022**

## LISTA DE SIGLAS

ACC – *Amorim Cork Composites*

BDA – *Big Data Analytics*

CCL – *Clean Cement Line*

CPS – *Cyber-Physical System*

EMF – *Ellen MacArthur Foundation*

EoL – *End-of-life*

ERP – *Enterprise Resource Planning*

GJ – Gigajoules

IA – Inteligência Artificial

I&D – Investição e Desenvolvimento

IoT – *Internet of Things*

MES – *Manufacturing Execution System*

PRR – Plano de Recuperação e Resiliência

RFID – *Radio-Frequency Identification*

SAP – Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados

## RESUMO

O propósito da *Economia Circular*, consiste em substituir os ciclos de produção *input-output-waste* por ciclos fechados onde o consumo de recursos é reduzido e o prolongamento da vida útil do produto é tido em consideração. Para atingir este objetivo, novas abordagens assentes na *Indústria 4.0* estão a ser implementadas. Na atualidade, apesar de ser dos temas mais debatidos por académicos e decisores políticos, identifica-se um dilema interpretativo no modo como as tecnologias da *Indústria 4.0* contribuem para as práticas de *Economia Circular* nas empresas e quais os facilitadores, barreiras e benefícios experienciados pelas mesmas durante a sua implementação. Esta dissertação procura fazer face a esta lacuna com um estudo de caso múltiplo, baseado em entrevistas semi-estruturadas e análise documental, onde se apresentam e sintetizam as perspetivas de diferentes empresas/indústrias nacionais sobre estas temáticas. Globalmente, os participantes neste estudo confirmam a relevância das tecnologias da *Indústria 4.0* na adoção de práticas circulares nas suas empresas. Em específico, são recorrentemente referidas a IoT, IA e BDA como ferramentas que contribuem para otimizar os processos de produção, facilitar o dia-a-dia dos trabalhadores, poupar água e energia, reduzir os custos operacionais e aumentar a reciclagem dos materiais. Os resultados da investigação evidenciaram também que os fatores que facilitam a implementação destas tecnologias recaem sobre os programas e apoios do Governo, a existência de modelos de negócio inovadores, o compromisso dos líderes e as estratégias organizacionais comuns. Por sua vez, as principais barreiras resultam da necessidade de modificar estruturas e da impreparação dos recursos humanos para trabalhar com novas tecnologias, o que gera uma resistência à sua adesão.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tecnologias Digitais, Indústria 4.0, Facilitadores, Barreiras, Benefícios, Economia Circular.

## ABSTRACT

The purpose of the Circular Economy is to replace input-output-waste production cycles with closed cycles where resource consumption is reduced, and extended product life is taken into consideration. To achieve this goal, new approaches based on Industry 4.0 are being implemented. Currently, despite being one of the most debated topics by academics and policy makers, there is an interpretative dilemma in how Industry 4.0 technologies contribute to Circular Economy practices in companies and what are the facilitators, barriers and benefits experienced by them during their implementation. Overall, the participants in this study confirm the relevance of Industry 4.0 technologies in the adoption of circular practices in their companies. Specifically, IoT, AI and BDA are recurrently mentioned as tools that contribute to optimize production processes, facilitate the workers' daily life, save water and energy, reduce operational costs and increase materials recycling. The research results also showed that the factors that facilitate the implementation of these technologies are government support programs, the existence of innovative business models, the commitment of leaders, and common organizational strategies. In turn, the main barriers result from the need to change structures and the unpreparedness of human resources to work with new technologies, which generates resistance to their adoption.

**KEYWORDS:** Digital Technologies, Industry 4.0, Facilitators, Barriers, Benefits, Circular Economy.

## AGRADECIMENTOS

Acreditar que uma folha A4 é suficiente para expressar a minha gratidão é, de facto, uma ilusão. Ainda assim, estou certa de que o tempo, carinho e paciência dados por cada uma das pessoas aqui mencionadas, são merecedores deste desafio.

A Deus, que, pelo Seu infinito amor, me capacitou física e mentalmente para realizar este trabalho. *Soli Deo Gloria!*

Aos meus pais, que, com grande esforço, investiram na minha formação académica. Obrigada por todos os dias me mostrarem o que significa ser *amada*, por me apoiarem incondicionalmente e por nunca me deixarem desistir.

À minha irmã, que sempre acreditou que eu iria ser capaz de concluir esta jornada. Obrigada por teres um ouvido atento e um coração disponível.

Ao Professor Doutor Ricardo Figueiredo Belchior, que, de forma exemplar, fez jus ao nome de *orientador*. Obrigada pelas suas críticas construtivas, profissionalismo, conselhos, encorajamentos e, sobretudo, por não me deixar seguir o caminho mais fácil.

Aos meus amigos, que comigo riram, choraram e *queimaram* pestanas. Obrigada por me lembrarem que a vida é tão mais bonita quando vivida *lado a lado*.

A todos os entrevistados, que partilharam informações valiosíssimas sobre as suas empresas. Obrigada pela vossa simpatia e por me incluírem nas vossas agendas.

Aos meus professores, que me dotaram com saberes vitais para a minha vida profissional. Obrigada pela vossa dedicação.

## ÍNDICE

Lista de Siglas.....	i
Resumo .....	ii
<i>Abstract</i> .....	iii
Agradecimentos .....	iv
Índice... ..	v
Índice de Figuras .....	vi
Índice de Tabelas .....	vi
1. Introdução.....	1
2. Revisão da Literatura .....	3
2.1. Indústria 4.0 .....	3
2.2. Economia Circular .....	5
2.3. A contribuição da Indústria 4.0 na adoção de práticas circulares. ....	8
2.4. Questões de Investigação.....	13
3. Metodologia .....	14
4. Apresentação e Análise dos Casos .....	17
4.1. J.F. Almeida.....	17
4.2. Corticeira Amorim - Amorim <i>Cork Composites</i> .....	19
4.3. Secil .....	24
5. Discussão dos Resultados.....	32
6. Conclusões .....	35
Referências Bibliográficas.....	38
Anexos.....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - O modelo de <i>Economia Linear</i> versus o modelo de <i>Economia Circular</i> .....	6
---	---

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela I - Protocolo de estudo dos casos.....	16
Tabela II - Ganhos de eficiência Corticeira Amorim .....	23
Tabela III - Ganhos de eficiência Secil .....	27
Tabela IV - Outros indicadores .....	28
Tabela V - Sumário dos Resultados .....	29



## 1. INTRODUÇÃO

O atual modelo de produção e consumo está a testar os limites físicos do planeta e a ameaçar a estabilidade do nosso futuro. Sendo responsável pelo uso ineficiente das matérias-primas e pelos elevados níveis de desperdício, o setor secundário tem, nos últimos anos, procurado adotar novas estratégias para tornar as cadeias de valor mais eficientes e sustentáveis.

A *Indústria 4.0* e a *Economia Circular* representam dois paradigmas essenciais que têm recebido uma atenção epistemológica crescente (Eiroa et al., 2019; Rüßmann et al., 2015). A *Indústria 4.0* é uma nova etapa industrial que tem vindo a impactar as regras da concorrência, a estrutura da indústria e as exigências dos clientes (Bartodziej, 2017; Gilchrist, 2016). A maioria das definições considera as tecnologias como o principal motor para otimizar a infraestrutura existente, a fim de trazer soluções mais sustentáveis, reduzindo as emissões e a utilização de recursos (Pham et al., 2019). A *Economia Circular*, por sua vez, refere-se a uma nova forma de pensar como se pode crescer sem recorrer ao consumo desenfreado de recursos. Representa, assim, uma mudança sistémica que procura preservar os recursos para as futuras gerações (Pham et al., 2019).

Embora frequentemente utilizados na esfera académica são ainda poucos os trabalhos que investigam a ligação entre ambos. Nomeadamente, numa perspetiva de compreender qual é o papel que as tecnologias da *Indústria 4.0* têm na adoção de práticas circulares (Kerin & Pham, 2019; Rosa et al., 2020). Deste modo, e tendo em conta o *gap* existente no campo em estudo, formulou-se como questão de investigação principal: *Como é que as tecnologias da Indústria 4.0 contribuem para as práticas de Economia Circular?* e, como questões de investigação auxiliares: *Quais são os fatores que facilitam/dificultam a adoção destas tecnologias nas organizações? Como é que as empresas beneficiam da implementação das tecnologias da Indústria 4.0?* A finalidade desta investigação é, assim, explorar o potencial de aplicações destas tecnologias na promoção de uma indústria mais circular e identificar os principais componentes de implementação (barreiras e facilitadores) destas tecnologias para as empresas, bem como os benefícios sentidos pelas mesmas.

Tendo em consideração as questões de investigação enunciadas anteriormente, a falta de controlo sobre variáveis comportamentais e cognitivas e a atualidade da temática em estudo, a utilização de um estudo de caso múltiplo revelou-se a metodologia mais adequada (Yin, 2009). Com a finalidade de obter uma seleção de casos suficientemente díspar, foram analisadas três empresas de diferentes setores, dimensões e posicionamentos no mercado. Estando perante um estudo de natureza qualitativa, utilizaram-se como métodos de recolha de informação entrevistas semi-estruturadas e análise documental.

Para além de abordar um tópico relevante e atual, este trabalho permite, por um lado, compreender o contexto e a utilidade das tecnologias da *Indústria 4.0* na adoção de práticas de *Economia Circular* em três empresas portuguesas e, por outro, fornecer um entendimento dos fatores que favorecem/dificultam a efetivação destas tecnologias e dos benefícios que se retiram da sua implementação.

O presente documento está estruturado da seguinte forma: no capítulo 2, o tópico é conceptualizado, com uma explicação do que é a *Indústria 4.0* e a *Economia Circular* e o suporte teórico para as questões de investigação. No capítulo 3, o método de investigação é introduzido e os procedimentos para recolha, tratamento e análise dos dados são discutidos. No capítulo 4, são apresentados os resultados do estudo dos casos. No capítulo 5, são debatidos esses mesmos resultados à luz da literatura. Finalmente, no capítulo 6, apresentam-se as conclusões finais, as limitações do estudo e sugerem-se futuras linhas de pesquisa.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. INDÚSTRIA 4.0

As revoluções industriais atravessaram ao longo do tempo diversos marcos tecnológicos que proporcionaram alterações nos sistemas de produção, nos procedimentos e nas próprias formas de gerir (Klug et al., 2021). Tendo derivado da atual 4ª Revolução Industrial, também conhecida como *Revolução Tecnológica* ou *Indústria da Internet das Coisas*, o termo *Indústria 4.0* foi usado pela primeira vez na *Hanover Trade Fair*, em 2011, na Alemanha (Drath & Horch, 2014; Kagermann et al., 2011).

De acordo com os estudos de Anderl (2014) e Gabriel and Pessel (2016) a *Indústria 4.0* refere-se ao local onde processos, sistemas, pessoas e produtos comunicam e crescem entre si. Por sua vez, pode ser entendida como a transformação natural do sistema de produção industrial desencadeada pelo desenvolvimento de tecnologias, que permitem a fusão do mundo físico, digital e biológico (Pereira et al., 2020; Rojko, 2017). À data de hoje, um total de trinta tecnologias já foram associadas ao conceito de *Indústria 4.0* (Backhaus & Nadarajah, 2019). Em particular, as mais citadas são: *internet of things* (IoT), *blockchain*, computação em nuvem (*cloud*), *radio-frequency identification* (RFID), realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV), *big data analytics* (BDA), integração de sistemas ou *end-to-end integration*, simulações, *cyber-physical systems* (CPS), inteligência artificial (IA), cibersegurança, *robots* autónomos, fabricação aditiva ou impressão 3D (Rojko, 2017; Rüßmann et al., 2015).

Apesar do crescente debate que a implementação das tecnologias da *Indústria 4.0* tem vindo a ter na esfera académica, ainda não existe um claro consenso quanto ao seu processo de efetivação. Tradicionalmente, as organizações tendem a diferir em termos de tipos e quantidades de tecnologias a utilizar e o seu nível de aplicação (Dalenogare et al., 2018). Por este motivo, existe a necessidade de identificar tanto os facilitadores como as barreiras que as empresas enfrentam ao adotar as tecnologias deste novo paradigma industrial (León & Bermúdez, 2021).

A literatura científica adverte para o facto de haver um conjunto de fatores que vem tornar o processo de adoção da *Indústria 4.0* muito mais facilitado para as organizações, sendo eles: a existência de formação interna na área digital, a participação em *webinars* e

conferências sobre a temática, o grau das habilitações dos trabalhadores (Mogos et al., 2019), as políticas do Governo, a pré-existência de conhecimento tecnológico ou de otimização de práticas referentes à produção, o compromisso da gestão de topo e o alinhamento estratégico, a sustentabilidade económica, ambiental e social, a participação/emancipação de trabalhadores motivados e competentes (León & Bermúdez, 2021; Machado et al., 2021), a existência de uma comunicação clara e transparente, a crescente e contínua consciencialização sobre o fenómeno digital (Havle & Üçler, 2018), a partilha de conhecimento, a experimentação, a existência de modelos de negócio inovadores, a valorização de centros de investigação e desenvolvimento, a noção de ciclo de vida e de processos circulares, as capacidades dinâmicas, as redes de colaboração, a cultura centrada em dados e a integração de clientes e fornecedores (Machado et al., 2021).

Não obstante o esforço conjunto que tem sido feito por governos, organizações e estudiosos, implementar as tecnologias da atual Revolução Industrial é considerado um caminho complexo, progressivo e disruptivo (Kumar et al., 2020; Spöttl & Windelbandb, 2021). Isto porque, exige às empresas ultrapassar uma série de barreiras (León & Bermúdez, 2021), nomeadamente: a falta de mão-de-obra qualificada (Erol et al., 2016; Müller et al., 2018; Tisch et al., 2014), a escassez de recursos financeiros (Müller et al., 2018), a exigência de uma adaptação a cada cenário organizacional e de produção (Hermann et al., 2015; Müller & Voigt, 2017), as questões da segurança de informação, que geram alguma desconfiança (Müller et al., 2018; Rojko, 2017), os custos elevados de investimento em tecnologia (Erol et al., 2016; Mogos et al., 2019), os direitos de propriedade intelectual, a falta de conhecimento sobre conceitos como “Indústria 4.0” e/ou “digitalização” (Mogos et al., 2019), a carência de apoio das autoridades regulatórias, a resistência à mudança por parte dos colaboradores e da gestão de topo (León & Bermúdez, 2021; Machado et al., 2021), a necessidade de energia e de recursos alternativos, as desigualdades nas oportunidades, os aspetos culturais e a falta de investimento em investigação e desenvolvimento (Machado et al., 2021).

Assim, as organizações que desejem percorrer a trajetória para a *Indústria 4.0* devem proceder à análise destes facilitadores e barreiras, a fim de ficarem mais aptas para o

desenvolvimento de estratégias e mecanismos que facilitem a sua implementação (León & Bermúdez, 2021; Santos et al., 2018).

Tendo como objetivo final tornar as fábricas mais económicas, inteligentes e eficientes (Drath & Horch, 2014) e gerar valor para o cliente (Hozdić, 2015), a *Indústria 4.0* promete fornecer às organizações um leque de benefícios (Pereira et al., 2020). Comumente, são citados nas investigações os seguintes: a descentralização, a avaliação mais precisa da procura, a redução do efeito chicote (Hofmann & Rusch, 2017), a gestão mais integrada da cadeia de abastecimento (Witkowski, 2017), a flexibilidade, a velocidade, a produtividade, a qualidade dos processos de produção (Rüßmann et al., 2015), a redução do risco de erros, a tomada de melhores decisões (Sreedevi & Salahudeen, 2021), a limitação dos resíduos ou das emissões de CO<sub>2</sub> (Gabriel & Pessl, 2016), o uso mais eficiente dos recursos naturais e energéticos, o ambiente de trabalho mais flexível, seguro, saudável e *friendlier*, a produção em massa personalizada sem aumentar significativamente os preços, a resposta mais rápida ao cliente (Müller et al., 2018; Rojko, 2017), a diversificação, o aperfeiçoamento na gestão dos recursos humanos (Guimarães & Guimarães Júnior, 2021), a redução dos tempos de produção, dos prazos de entrega e dos custos com pessoal, materiais e de manutenção (Dalenogare et al., 2018; Jeschke, 2017), as novas ofertas de serviço a jusante (Heng, 2014), a vantagem competitiva face à concorrência, por via de ofertas mais inovadoras (Kiel et al., 2017), a melhoria da conceção do produto, a atração de clientes-alvo e a monitorização e seguimento dos produtos (Bressanelli et al., 2018a).

À semelhança do que foi feito para o termo *Indústria 4.0*, o subcapítulo apresentado em seguida procura definir o conceito de *Economia Circular* e identificar os seus princípios, barreiras e benefícios percebidos.

## 2.2. ECONOMIA CIRCULAR

O modelo económico que segue o ciclo *take-make-dispose* denomina-se de modelo de *Economia Linear* (Pearce & Turner, 1990). Isto é, indústrias que fabricam produtos e vendem-nos aos clientes finais, que, depois, os descartam quando consideram não serem mais necessários. Este tipo de modelo tem demonstrado ser ineficiente e insustentável no uso das matérias-primas (Nobre & Tavares, 2017; Sreedevi & Salahudeen, 2021), dado o

desperdício no final de vida do produto, no uso de energias e no desgaste dos serviços ecossistémicos (*Ellen MacArthur Foundation* [EMF], 2013).

Com a intenção de fazer face a estes desperdícios, os investigadores introduziram, na década de 70, o termo *Economia Circular*, também conhecido por *Economia Restaurativa* ou *Ciclo Fechado de Economia dos Materiais* (Wautelet, 2018; Yang & Feng, 2008), que surgiu inicialmente na literatura como um conceito associado aos 3R's (*R-principles*): reduzir, reutilizar e reciclar (Blomsma & Brennan, 2017; Feng, 2004; Lett, 2014; Preston, 2012; Su et al., 2013; Yuan et al., 2006). Todavia, com o tempo, a abordagem dos 6R's (recuperar, redesenhar e remanufaturar) provou ser mais relevante para a *Economia Circular* (Govindan & Hasanagic, 2018). O aparecimento deste conceito deriva de diferentes escolas de pensamento (Wautelet, 2018), como a Ecologia Industrial, a Economia Azul, o *Cradle-to-Cradle*, entre outras (Franco, 2017; Geissdoerfer et al., 2017; Masi et al., 2017). A Figura 1 (abaixo) procura servir de suporte visual à comparação entre os dois modelos económicos.

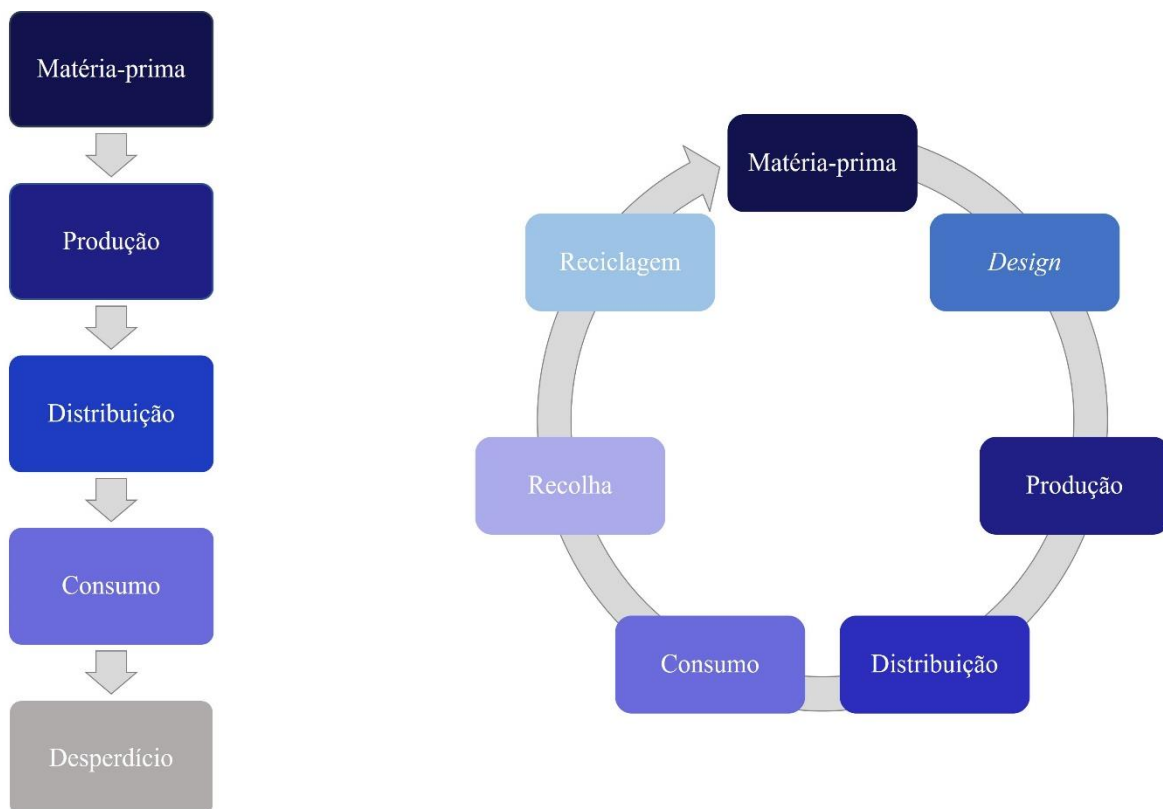


FIGURA 1 - O modelo de *Economia Linear* versus o modelo de *Economia Circular*.

Fonte: Elaboração própria.

Relativamente à definição de *Economia Circular*, não existe ainda unanimidade entre os autores. Em regra, é um paradigma centrado em maximizar e otimizar o valor daquilo que já se encontra em uso ao longo do ciclo de vida do produto (Azevedo, 2015; Esposito et al., 2017). Para este modelo, o conceito de *desperdício* não existe, uma vez que este deve ser visto como a matéria-prima de um outro processo de produção (Stahel, 2010), por via do “*design superior de materiais, produtos, sistemas e modelos de negócio*” (EMF, 2013: p. 7).

Subjacente a este conceito estão os seguintes princípios e práticas: i) eliminar desperdícios desde o início; ii) manter em execução os produtos, materiais e componentes, garantindo a sua utilidade; iii) regenerar e preservar os sistemas naturais; iv) construir resiliência mediante a diversidade; v) utilizar energia proveniente de fontes renováveis; vi) pensar de forma sistémica; vii) reduzir o consumo e o uso de matérias-primas; viii) recorrer a ferramentas como o eco-design; ix) optar por materiais reciclados e x) estabelecer parcerias com outras empresas (Dantas et al., 2018; EMF, 2013; Klug et al., 2021; Sreedevi & Salahudeen, 2021). De forma sintetizada, uma verdadeira *Economia Circular* deverá, pois, identificar um novo conceito de sistema, valor, economia, conceção e produção (Wu, 2005), proporcionando um desenvolvimento económico, ambiental e socialmente sustentável (Shen, 2007; van Buren, 2016; Wu, 2005), em benefício das gerações atuais e futuras (Kirchherr et al., 2017), levando a fazer mais com menos (Ghiselline et al., 2016).

A *Economia Circular* é uma ferramenta indispensável para transformar o convencional modelo de *Economia Linear*. No entanto, esta transformação produz várias barreiras que podem dificultar a implementação bem-sucedida desta filosofia (Hina et al., 2022). Com o propósito de abordar os principais componentes da implementação deste modelo, Govindan and Hasanagic (2018) desenvolveram um estudo que tendo por base a análise de 60 artigos, considerou a existência de 39 barreiras separadas em 8 *clusters*: governo, economia, tecnologia, conhecimento e competências, quadro da *Economia Circular*, cultura/sociedade e mercado. A título de exemplo, são enfatizadas como principais barreiras: os fracos incentivos económicos (Sauvé et al., 2015; Su et al., 2013), os custos mais elevados dos produtos reciclados do que dos produtos “virgens” (Lieder & Rashid, 2016), a dificuldade de rastreamento dos produtos reciclados (Genovese et al., 2015;

Ghisellini et al., 2016; Su et al., 2013), as estruturas organizacionais não preparadas (Liu & Bai, 2014), as políticas de reciclagem e de gestão de desperdícios ineficientes (de Man & Friege, 2016), a falta de sensibilização da sociedade (Lieder & Rashid, 2016; Su et al., 2013; Weelden et al., 2016) e a dificuldade em gerir a qualidade do produto através do seu ciclo de vida (Ghisellini et al., 2016; Singh & Ordoñez, 2016).

Concretizada a sua implementação, são esperados múltiplos benefícios operacionais e estratégicos para as organizações. Em especial: o aumento da produtividade, a otimização e eficiência na utilização dos recursos naturais e humanos, a redução no consumo de água e energia, a criação de emprego, o crescimento económico inteligente e sustentável, o desenvolvimento de novas relações entre empresas que possam ser simultaneamente consumidoras e fornecedoras de materiais pertencentes ao ciclo produtivo (conhecidas por *simbioses industriais*), a gestão de *stocks* finitos, a redução dos riscos dos sistemas e o seu funcionamento eficaz em todas as escalas, a diminuição de custos de produção, a redução de externalidades negativas (Cracolici et al., 2018; EMF, 2013, 2014; Leitão, 2015; Linder & Williander 2017; Teixeira, 2021), entre outros.

Ainda que existam vários exemplos de sucesso (e.g., João, 2018), as práticas da *Economia Circular* estão longe de ser generalizadas nas indústrias (Ghisellini et al., 2016). Inclusivamente, há quem defenda que a *Economia Circular* não é mais do que um “sonho teórico” (Naudé, 2011: p. 352), uma vez que dificilmente poderá ser implementada na íntegra (Daly, 1977). Por esse motivo, afigura-se crucial o papel que as tecnologias da *Indústria 4.0* desempenham na transição para este modelo, conforme será objeto de estudo no tópico subsequente.

### 2.3. A CONTRIBUIÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0 NA ADOÇÃO DE PRÁTICAS CIRCULARES

Os conceitos de *Indústria 4.0* e de *Economia Circular* surgiram de modo independente (Romero et al., 2021). No entanto, mais recentemente, a sua relação tem vindo a ser estudada por uma multiplicidade de autores (Jabbour et al., 2018) em diferentes perspetivas (e.g., Rajput & Singh, 2019; Rosa et al., 2020). Destes, porém, ainda são escassos os que diretamente investigam o efeito que as tecnologias da *Indústria 4.0* têm



na proliferação de práticas de *Economia Circular* em contextos industriais (Bressanelli et al., 2018a; Nobre & Tavares, 2017).

Segundo Stock and Seliger (2016), uma das principais referências da *Indústria 4.0* é a conceção de um valor industrial mais sustentável. De facto, a questão da eficiência holística dos recursos é descrita como uma das vantagens da *Indústria 4.0*, centrando-se, fundamentalmente, na realização de ciclos de vida fechados. Em consequência, permite a reutilização e refabricação (Stock & Seliger, 2016), bem como a reparação, reuso e reintegração dos produtos e processos (Rajput & Singh, 2019), características da *Economia Circular*.

De acordo com Fatorachian and Kazemi (2018), um dos propósitos da *Indústria 4.0* deve ser o de promover a digitalização e desenvolver um sistema inteligente (CPS: *Cyber Physical System*) que utilize recursos sustentáveis, a fim de alcançar um futuro mais verde. A digitalização permite o acesso transparente aos dados relativos ao consumo de recursos (e.g., localização, condição e disponibilidade dos bens) e possibilita a otimização dos ciclos de vida dos produtos, viabilizando assim a *Economia Circular* (Kagermann, 2013). O conhecimento da localização do produto em tempo real admite um maior acesso ao próprio produto e melhora as hipóteses de recolha, renovação, remanufaturação e reciclagem (Bressanelli et al., 2018a). O conhecimento da condição do produto proporciona uma manutenção preditiva<sup>1</sup> suportada no estado, diagnóstico e prognóstico dos componentes e produtos. Esta manutenção preditiva vem aumentar a fiabilidade e disponibilidade do produto, prolongar o seu tempo de vida útil e refabricar com o conhecimento histórico do bem. Já o conhecimento da disponibilidade do produto promove a partilha de plataformas digitais e uma melhor reciclagem (EMF, 2016).

Alguns investigadores (e.g., Bashtannyk et al., 2020; Nasiri et al., 2017; Rosa et al., 2020; Silvestre & Tírca, 2019) chegam mesmo a apontar que uma performance sustentável só pode ser obtida através de tecnologias que suportem o seu desenvolvimento, o que vem demonstrar o importante papel que estas desempenham na promoção da circularidade. Todavia, conforme referido anteriormente, a execução bem-sucedida deste modelo

---

<sup>1</sup> A manutenção preditiva é percebida como uma evolução da manutenção baseada em condições (intervenção imediatas perante um parâmetro irregular ou um valor inaceitável), por via do uso de tecnologias de prognóstico como mineração de dados e análise estatística (Williams et al., 2017).

económico requer mudanças sistémicas na produção e no consumo (Genovese et al., 2017; Svorobej et al., 2019), o que sugere a necessidade de investir em inovação, aceder aos dados e fomentar colaborações entre empresas (Toop et al., 2017).

De um modo geral, o conjunto de tecnologias da *Indústria 4.0* contribui para as práticas de *Economia Circular*, em virtude de: maximizar o uso de recursos disponíveis, aderindo a procedimentos de produção mais limpa, minimizar desperdícios e emissões de CO<sub>2</sub> (Jabbour et al., 2018; Gabriel & Pessl, 2016; Sarkis & Zhu, 2018), garantir maior segurança no armazenamento dos produtos, transmitir de forma rápida, precisa e transparente informações acerca do consumo dos mesmos (Antikainen al., 2018), melhorar as condições de trabalho, otimizar a logística, fazer o reuso e a reciclagem de materiais (Abdala, 2020) e suportar a flexibilidade e a eficiência da produção (Ibarra et al., 2018; Rüßmann et al., 2015).

A fim de clarificar o leitor a respeito da ligação existente entre os dois conceitos, os parágrafos que se seguem procuram descrever o papel contributivo que as tecnologias digitais desempenham no modelo circular da economia. Para o cumprimento deste propósito, dar-se-á especial ênfase às tecnologias que foram mencionadas nos casos de estudo, sendo elas: *robots*, IA, BDA, IoT e RFID.

Os *robots* são definidos pela incorporação de IA no *software*, capazes de aprender e desempenhar (de forma independente) tarefas que até então eram da competência dos humanos (Fragapane et al., 2020; Romero et al., 2021). Embora estejam maioritariamente associados à eficiência de mão-de-obra, os *robots* concorrem para as práticas de *Economia Circular*, na medida em que contribuem para a separação/triagem de determinados componentes (Mavropoulos, 2015), levando à sua reutilização e reciclagem, controlam parâmetros de tolerância e qualidade, o que reduz a quantidade de recursos consumidos e a necessidade de fazer o reprocessamento dos produtos com defeito (Klug et al., 2021), otimizam a gestão dos resíduos quando os materiais são

identificados previamente por sensores<sup>2</sup> (Sarc et al., 2019) e apoiam as operações de desmontagem e remanufaturação.

A IA é um tema interdisciplinar (Zhang & Lu, 2021) caracterizado pela utilização de computadores que simulam comportamentos humanos inteligentes, como a aprendizagem, a tomada de decisão e o julgamento (Xu et al., 2021). De acordo com a EMF (2019) esta tecnologia está alinhada com a *Economia Circular* em diferentes categorias: i) otimizar a infraestrutura para assegurar o fluxo de produtos e materiais circulares: a IA, por exemplo, através de reconhecimento visual obtém informação sobre o fluxo dos materiais após o seu consumo; ii) expandir modelos de negócio circulares inovadores: a IA consegue cruzar dados antigos com dados atuais dos utilizadores e dos produtos, ativando a circularidade destes bens, através da previsão da procura e preços, da manutenção preditiva e da gestão de inventário inteligente e iii) desenhar e desenvolver produtos, componentes e materiais circulares: a IA pode dar uma nova vida àquilo que era desperdício, isto porque o *design* pode potenciar ciclos de reutilização, reparação, remodelação e reciclagem. Dado que a IA faz a monitorização de todo o processo de fabrico e o controlo do ciclo de vida do produto (EMF, 2016; Ghoreishi & Happonen, 2019b), auxilia a gestão de topo a tomar decisões mais rápidas e eficientes sobre o próximo ciclo de utilização dos produtos (EMF, 2019).

A BDA é uma tecnologia que remete para o armazenamento, gestão, processamento e análise célere e eficiente de grandes e variados volumes de dados (de Mauro et al., 2016; LaValle et al., 2011; Witkowski, 2017), sendo, atualmente, reconhecida como uma das formas mais simples de digitalizar a *Economia Circular* (Demestichas & Daskalakis, 2020; Nobre & Tavares, 2017). Os *insights* que derivam dos grandes dados são percebidos como elementos que ajudam a reduzir a incerteza e a fazer previsões (Gupta et al., 2019). Consequentemente, facilitam a tomada de decisões (preferencialmente mais sustentáveis) sobre a integração da produção e/ou partilha de recursos, dentro da organização (Gupta et al., 2019; Mboli et al., 2020; Pagoropoulos et al., 2017), permitem compreender os detalhes de nível operacional e a elaboração de intervenções ao longo de todo o processo

---

<sup>2</sup> Os sensores são dispositivos que detetam e respondem a *inputs* do espaço físico (e.g., luz, humidade, pressão, calor, entre outros), emitindo um sinal que é convertido para um visor legível por humanos (Perales et al., 2018).

(Gupta et al., 2019), gerem, por um lado, os recursos disponíveis, melhorando os níveis de desperdício (Bin et al., 2015) e, por outro, a informação acerca do ciclo de vida dos produtos (Li et al., 2015), reduzem os tempos de produção, o que otimiza a sua qualidade, promovem soluções energéticas eficazes (Rüßmann et al., 2015) e consideram questões ligadas à reciclagem durante a conceção do produto (Lin, 2018).

A IoT diz respeito à interação e cooperação existente entre dispositivos eletrónicos, máquinas, objetos e pessoas, que oferecem a possibilidade de partilhar informação entre plataformas por via da utilização de telecomunicações sem fios, tais como sensores, telemóveis e RFID (Giusto et al., 2010; Gubbi et al., 2013; Nasiri et al., 2017). De acordo com Askoxylakis (2018) e Hatzivasilis et al. (2018), esta tecnologia é um verdadeiro *driver* na transição para o modelo económico circular. A literatura alude para o facto de a IoT poder informar, em tempo real, a gestão acerca do estado (condições) e do tempo de vida do produto, otimizando as práticas de refabricação e recuperação dos recursos e materiais, o que proporciona um melhor planeamento e controlo da produção (Acayaga et al., 2019; de Man, & Strandhagen, 2017; Ingemarsdotter et al., 2020). Para além disso, a IoT apoia a reutilização, pois, através da rastreabilidade que faz dos produtos e das peças, consegue estimar com precisão o seu tempo de vida restante. Uma vez que o tempo de vida afeta o valor residual do produto, é possível reduzir alguns dos riscos relacionados com as estratégias de reutilização (Ingemarsdotter et al., 2020). Pelo facto de transmitir informação sobre a localização dos bens e dos transportes, a IoT também leva a uma otimização das rotas, o que diminui o consumo de combustível e o risco de danos ou perda de ativos, (Nasiri et al., 2017; Saha & Auddy, 2017), apoia o *redesign* dos produtos para que estes tenham uma maior durabilidade (Bressanelli et al., 2018a), contribui, por um lado, para a produção de simbioses industriais e, por outro, para a comunicação com todos os *stakeholders* da cadeia de valor, avaliando as suas ações (Kerdlap et al., 2019; Pagoropoulos et al., 2017). No fundo, a aplicação de IoT desencadeia: novas estratégias de gestão do desperdício, uma melhoria do grau de circularidade dos processos, a constituição de ambientes industriais *smart* ou *loops* dinâmicos de *feedback*, reduções nos custos e nos desperdícios, poupanças energéticas e de tempo (Hatzivasilis et al., 2018; Nasiri et al., 2017; Nobre & Tavares, 2020b; Pagoropoulos et al., 2017; Reuter, 2016; Rocca et al., 2020; Rosa et al., 2020).

A RFID, que é uma componente da IoT (Rejeb et al., 2022), diz respeito a pequenos dispositivos que combinam capacidades de memória, processamento de dados e comunicação (Demestichas & Daskalakis, 2020), visando identificar de forma única um objeto, um animal ou uma pessoa (Perales et al., 2018). Este tipo de tecnologia, que está a ser utilizada como alternativa ao código de barras, apoia a recolha de informação sobre o tipo, a composição, a idade, a fiabilidade económica e o modo como tem sido utilizado o produto, a fim de tornar os processos de recuperação mais rentáveis (Mavropoulos, 2015; Löhle & Urban, 2011; Pagoropoulos et al., 2017; Wilts & Berg, 2017; Wilts et al., 2018), possibilita a categorização dos produtos em fim de vida e o controlo das condições ambientais em que o artigo é mantido, oferece um melhor tratamento dos recursos e melhora a tomada de decisões (Gligoric et al., 2019), aumenta a eficiência da reciclagem (Luttropp & Johansson, 2010), viabiliza o seguimento dos fluxos dos materiais, permitindo, deste modo, a recuperação do valor e o *close the loop* com a implementação dos 3R's (Bressanelli et al., 2018a), reduz a hipótese dos materiais se perderem e ajuda os gestores a fazerem um melhor manuseamento e gestão dos materiais e componentes em armazém, com a finalidade de atingirem maiores níveis de qualidade e uma redução de custos e tempo (Patil & Shelake, 2021).

#### 2.4. QUESTÕES DE INVESTIGAÇÃO

Conforme mencionado anteriormente, os conceitos de *Indústria 4.0* e *Economia Circular* têm vindo a ganhar relevância na esfera académica, nos últimos anos. Todavia, apesar do seu crescente interesse, poucos têm sido os estudos (e.g., Bressanelli, 2018b; Pham et al., 2019) que, de forma empírica, procuram compreender a relação das tecnologias da *Indústria 4.0* com as práticas da *Economia Circular* (Kerin & Pham, 2019; Rosa et al., 2020). Atualmente, de acordo com Ranta et al. (2021), a literatura é constituída, maioritariamente, por estudos conceptuais e de revisão (e.g., Awan et al., 2021a; Cagno et al., 2021; Pagoropoulos et al., 2017) e por estudos de caso, de caso único, insuficientes para compreender a realidade como um todo, dado as especificidades do setor secundário. No sentido de dar resposta a esta ausência de conhecimento, este trabalho tenciona dar resposta às seguintes questões de investigação: *Como é que as tecnologias da Indústria 4.0 contribuem para as práticas de Economia Circular? Quais são os fatores que facilitam/dificultam a adoção destas tecnologias nas organizações? Como é que as*

*empresas beneficiam da implementação das tecnologias da Indústria 4.0?* Assente no estudo dos casos de três empresas portuguesas, este trabalho propõe-se contribuir para a clarificação do papel que as tecnologias da *Indústria 4.0* desempenham na promoção da *Economia Circular* e dos facilitadores, barreiras e benefícios resultantes da sua efetivação.

O capítulo seguinte visa apresentar o método de investigação utilizado neste estudo, identificar as principais fontes de dados e caracterizar o modo como se recolheu, tratou e analisou a informação.

### 3. METODOLOGIA

Dado que o propósito desta investigação consiste no estudo exploratório das questões de investigação expostas no subcapítulo anterior, o presente trabalho académico baseia-se num estudo qualitativo. Este tipo de estudo, é caracterizado por ser um processo onde o investigador fornece uma descrição rica e fundamentada de um facto social que ocorre no seu contexto local (Miles & Huberman, 1984). O estudo qualitativo teve como método de investigação um estudo de caso (Yin, 2016), mais especificamente um estudo de caso múltiplo. Considerado um método robusto (Herriott & Firestone, 1983), favorece a recolha dos dados tendo em conta diferentes contextos e condições (Bromley, 1986; Eisenhardt 1989; Yin, 2015, 2018) e permite a construção de padrões intra- e intercasos. Tendo em conta a complexidade do fenómeno, a limitação de conhecimento sobre o tema (Halinen & Tornroos, 2005) e o facto da questão de investigação principal começar com “como” (Yin, 2009), a metodologia de estudo de caso revelou-se a mais adequada.

Com o intuito de obtenção de uma seleção de casos suficientemente heterogénea de empresas utilizadoras de tecnologias da *Indústria 4.0* e com práticas ligadas à *Economia Circular*, escolheu-se contactar grupos empresariais de diferentes indústrias, dimensões e posicionamentos no mercado. A identificação destas empresas foi feita através da pesquisa em revistas (e.g., COTEC Portugal) e estudos elaborados por consultoras. De doze empresas contactadas, cinco consentiram em realizar as entrevistas. No entanto, apenas três facilitaram informação considerada relevante para a inclusão neste trabalho. Nomeadamente, os resultados e conclusões deste estudo baseiam-se na análise das empresas: J.F. Almeida, Corticeira Amorim e Secil.

Por sua vez, como método de recolha de dados, optou-se pela realização de entrevistas semi-estruturadas (Saunders et al., 2019) e pela recolha e análise de documentos, dado serem os métodos que melhor se adequam à natureza do estudo (Yin, 2015). As entrevistas semi-estruturadas permitem uma recolha mais flexível dos dados e a reorientação das questões (Daymon & Holloway, 2002). Cada uma delas foi realizada entre maio e junho a responsáveis e/ou trabalhadores especialistas na área da transformação digital. No caso específico da *Amorim Cork Composites* (ACC) a entrevista contou também com um especialista na área da *Economia Circular*. A duração média por entrevista foi de, aproximadamente, 30 minutos. Um guião de entrevista foi elaborado com fundamentos na literatura, o qual pode ser encontrado no Anexo A. O estilo de condução das entrevistas ficou ao critério dos entrevistados, sendo que duas delas foram realizadas com recurso à plataforma *Microsoft Teams*, enquanto uma foi efetuada nas instalações da própria empresa. Para que a recolha da informação ficasse registada e fosse o mais fiel possível à realidade, todas as entrevistas foram gravadas com autorização dos entrevistados. Posteriormente, foram transcritas e os excertos a integrar no trabalho selecionados. Em alguns casos foi ainda necessário solicitar aos entrevistados um esclarecimento adicional pós-entrevista, via *email*.

Embora as entrevistas a peritos constituíssem a principal fonte de dados, foram também incluídos dados de fontes secundárias, sobretudo, *websites* das empresas, relatórios internos e notícias nos *media*. Com o objetivo de reforçar a fiabilidade dos seus resultados e conclusões, este estudo adotou uma triangulação dos dados (Dubé & Paré, 2003; Maxwell, 1996; Patton, 2002; Yin, 2009).

Por último, do ponto de vista do quadro temporal de investigação, trata-se de um estudo transversal (*cross-sectional*), focado num único momento de recolha de informação, uma vez que o propósito do estudo não incide sobre a análise evolutiva dos conceitos (Saunders et al., 2019).

A Tabela I, exibida na página seguinte, apresenta o protocolo adotado para o desenvolvimento do estudo dos casos com informação detalhada sobre cada uma das etapas realizadas.

TABELA I

## PROTOCOLO DE ESTUDO DOS CASOS

<b>Etapa</b>	<b>Tarefa</b>	<b>Descrição</b>
Seleção dos casos	Selecionar as empresas com base em critérios definidos	Empresas que utilizam pelo menos uma tecnologia da <i>Indústria 4.0</i> e que adotam práticas ligadas à <i>Economia Circular</i> .
	Contactar as empresas	O contacto inicial com as empresas foi feito através de <i>email</i> , telefone e/ou <i>LinkedIn</i> .
Recolha da informação	Selecionar o conjunto de fontes primárias de informação tendo em conta a natureza do estudo	As entrevistas semi-estruturadas foram o principal método de recolha dos dados. Em média, o tempo de duração das entrevistas foi de 30 minutos.
	Selecionar o conjunto de fontes secundárias de informação tendo em conta a natureza do estudo	Foram consultadas outras fontes de dados como <i>websites</i> das empresas, notícias nos <i>media</i> e relatórios internos, a fim de triangular a informação.
Condução das entrevistas	Elaborar um guião de entrevista	Um guião de entrevista com questões semi-estruturadas foi elaborado com suporte na literatura científica.
	Definir a data de realização das entrevistas, tendo em conta a disponibilidade dos entrevistados	As entrevistas realizaram-se entre maio e junho de 2022. Em alguns casos, para esclarecimentos adicionais, foi necessário contacto posterior, via <i>email</i> .
Construção dos casos	Transcrever as entrevistas	A transcrição de cada entrevista foi feita na íntegra logo após a sua realização.
	Analisar e interpretar a informação	A informação obtida foi cruzada com a literatura. Semelhanças e diferenças entre os casos foram identificadas.

Fonte: Adaptado de Yin (2009).

O próximo capítulo pretende fazer uma análise do estudo dos casos, sendo eles: J.F. Almeida, Corticeira Amorim e Secil, respetivamente.



## 4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS CASOS

### 4.1. J.F. ALMEIDA

A Têxteis J.F. Almeida é uma empresa familiar, criada em 1979, pelo atual presidente do conselho de administração, Joaquim Ferreira de Almeida (J.F. Almeida, 2022a). Tendo implementado um modelo de negócios verticalmente integrado, isto é, um modelo que agrega todos os processos produtivos desde a preparação das fibras à comercialização e distribuição dos produtos, considera-se uma empresa de referência num dos setores mais relevantes para a economia portuguesa, o setor dos têxteis (J.F. Almeida, 2022a). Segundo o *website* da empresa a sua principal atividade recai sobre o fabrico de felpo e outros artigos têxteis, como toalhas de mesa, toalhas de banho e roupões, contando com uma força de trabalho de 715 profissionais. Não obstante dê resposta ao mercado português, o seu principal foco está na exportação (80% da produção), referindo conseguir atender a qualquer pedido europeu no prazo de 24/48 horas. Os seus valores assentam na qualidade, ambição, organização, rapidez, credibilidade e versatilidade (J.F. Almeida, 2022a).

Apesar de inserida num setor onde existe ainda muita mão de obra intensiva, as questões da automatização são, há mais de uma década, uma realidade para a J.F. Almeida. Afirmando-se diferenciadora no domínio da tecnologia, a empresa tem, ao longo dos anos, procurado tornar o seu processo produtivo mais moderno e inovador. Citando o entrevistado, diretor da secção de tinturaria da J.F. Almeida, “toda a nossa empresa tem implementado as medidas da *Indústria 4.0* (...) quer ao nível da robótica, quer ao nível do *software* e comunicação entre as máquinas e os administradores” [2’44’].

Sendo os têxteis uma indústria que depende de grandes quantidades de recursos naturais para transformar a matéria-prima no produto final (J.F. Almeida, 2022a), o uso de tecnologias físicas e digitais, torna-se imprescindível. No relatório “Our Sustainable Way” a empresa expõe que, no ano de 2021, foi possível reduzir 12% do consumo de água, através dos *upgrades* feitos ao nível da otimização de processos e maquinaria (J.F. Almeida, 2022b). Através de um computador ligado a um sistema operativo, é possível controlar o pH das águas e segregar aquilo que a máquina está a descarregar. Neste sentido, em vez da água ir diretamente para o esgoto ela é reutilizada, voltando a ser reintroduzida no processo após passar por um tratamento químico. Para a J.F. Almeida,

esta interação entre máquinas e administradores proporciona uma monitorização constante dos consumos que podem ocorrer ao longo do processo. Isto porque, o computador emite um alerta no momento em que o consumo devido de água é ultrapassado. Conforme explicado ao Portal Portugal Têxteis (2022): “quando há um alerta, vamos analisar o processo. Antigamente o que é que acontecia? Tingíamos e nem sabíamos quanto é que se gastava.” Em relação ao uso de *robots*, que muito têm colaborado para tornar a mão-de-obra mais eficiente, o entrevistado explicou que, até ao momento, não lhes são reconhecidas competências que fomentem a adoção de práticas circulares.

No panorama dos fatores facilitadores à implementação destas tecnologias, a empresa mencionou, em primeiro lugar, os apoios financeiros dados pelo Governo. Em particular, referindo: “principalmente agora com o PRR” [5’39’]. Refira-se que o Plano de Recuperação e Resiliência (PRR) é um programa de aplicação nacional que pretende implementar um conjunto de reformas e investimentos destinados a recuperar a economia dos efeitos da pandemia COVID-19 (Recuperar Portugal, 2022). No caso específico da J.F. Almeida, um dos projetos em causa diz respeito à utilização otimizada da água em ambiente industrial. Este é liderado por 13 empresas ligadas ao setor e conta com um investimento de 25 milhões de euros. Integrar este projeto é para a empresa uma oportunidade de crescer economicamente e de contribuir para a adoção de práticas industriais mais amigas do ambiente, nomeadamente através da redução da utilização de água e da sua reutilização no processo produtivo. Sobre este assunto, a empresa relatou ao Portal Portugal Têxteis (2022) o seguinte: “naturalmente, um projeto do PRR com outras entidades é um projeto onde temos mais força e podemos crescer mais, tentar reaproveitar mais água. O nosso interesse é crescer nesta vertente, para tentarmos ser mais sustentáveis a nível ambiental e a nível financeiro.” Em segundo lugar, foi também feita alusão à capacidade de inovar como algo que sempre terá feito parte das capacidades *core* da empresa. Sendo detentora de um departamento de investigação e desenvolvimento (I&D) responsável pela elaboração de estratégias e produtos inovadores foi, em 2021, distinguida com o *Estatuto Inovadora COTEC*, um selo que visa premiar o desempenho inovador das empresas portuguesas (COTEC Portugal, 2022).

Já no que se refere às barreiras incorridas com a implementação destas tecnologias, foi salientada a necessidade de se ter uma estrutura capaz de suportar este tipo de tecnologias, como se pode comprovar na transcrição subsequente: “a *Indústria 4.0* (...) é tudo muito bonito, mas tens que ter uma empresa quase montada do zero para implementar esse tipo de situações (...) principalmente ao nível da robótica” [6’43’’].

Quanto aos benefícios provenientes da utilização destas tecnologias, o responsável pela secção de tinturaria relatou que, do ponto de vista social, aquilo que se tem verificado é que os trabalhadores estão cada vez mais a desempenhar funções de maior valor acrescentado, enquanto as máquinas estão a realizar aquele tipo de tarefas mais repetitivas e/ou perigosas. A nível ambiental também se tem gerado valor com a *Indústria 4.0*, particularmente no domínio do consumo dos recursos. Numa entrevista ao Jornal de Negócios o presidente da J.F. Almeida afirmou isto mesmo: “a aposta na inovação traz mais qualidade, melhor serviço e melhor preço porque as máquinas de alta tecnologia (...) consomem metade da água e metade dos produtos auxiliares” (Jornal de Negócios, 2018). Em virtude dos investimentos que têm sido efetuados, não só no campo da inovação, mas também da otimização de processos, a empresa tem conseguido minorar o consumo de água. Isto com base no que foi divulgado ao Portal Portugal Têxteis (2022), designadamente: “em média, gastamos 160 metros cúbicos de água por hora, portanto, estamos a falar de cerca de 30 m<sup>3</sup> por hora que deixamos de usar.” Anualmente, tem sido feito um reaproveitamento de 271.814 m<sup>3</sup> de água, o que corresponde a abastecer cerca de 6.200 pessoas, conforme apurado da apresentação disponibilizada pelo nosso entrevistado. Por fim, a nível económico-financeiro, a J.F. Almeida que apresentou, em 2021, um volume de negócios de 52 milhões de euros, reconhece que a *Indústria 4.0* tem viabilizado “grandes retornos” [8’53’’]. Juntamente com a maquinaria utilizada, somente em água, a empresa tem conseguido poupar entre 15 e 20 mil euros, mensalmente.

#### 4.2. CORTICEIRA AMORIM - AMORIM CORK COMPOSITES

O Grupo Amorim, criado em 1870, é, atualmente, o maior *player* mundial no setor da cortiça. Com presença em mais de 28 países, e detendo uma carteira de 29 mil clientes, assume-se na vanguarda da indústria, da tecnologia e da sustentabilidade (Corticeira Amorim, 2022). É constituído por seis unidades de negócio, sendo elas: Amorim Florestal

(matérias-primas), Amorim *Cork* (rolhas), Amorim *Cork Flooring* (revestimentos), Amorim *Cork Insulation* (isolamentos) e Amorim *Cork Composites* (aglomerados compósitos). Esta última, fundada em 1963, é responsável pela pesquisa, desenvolvimento e produção de compósitos de cortiça, tendo implementados os princípios de redução, reutilização e reciclagem (Corticeira Amorim, 2022). À data de hoje, o grupo conta com mais de 4.640 colaboradores e realiza mais de 93% das suas vendas fora de Portugal. Os seus valores recaem sobre o orgulho, a ambição, a iniciativa, a sobriedade e a atitude (Corticeira Amorim, 2022).

Cientes de que o investimento em inovação é uma condição *sine qua non* para a sua sustentabilidade no mercado, o grupo tem apostado fortemente na implementação de tecnologias da *Indústria 4.0*, com a finalidade de garantir a segurança dos seus colaboradores e de controlar o processo de produção, tal como mencionado por um dos entrevistados, *senior project engineer* (doravante designado por entrevistado 1): “a empresa transformadora pressupõe que existam máquinas bastante perigosas (...) como lâminas, prensas e/ou carrinhos de transporte, que não são compatíveis com a deslocação de pessoas. Portanto, a pessoa tem de estar sempre protegida e o processo tem de ser salvaguardado” [13’55’]. Atualmente, são diversas as tecnologias que, especificamente, a ACC está a utilizar, nomeadamente: tecnologias de automação de processos simples, tecnologias de controlo de transportes de cargas, RFID, IoT, aplicações na *cloud* e IA (redes neuronais – em fase de implementação). Para além disso, é comum a praticamente toda a empresa a existência de uma infraestrutura física e digital e a utilização de sensores e atuadores, conforme referido pelo entrevistado 1: “toda a nossa área fabril está coberta de AP’s (*Access Point’s*) e de uma infraestrutura de rede *Wi-Fi* que permite interligar diferentes sistemas onde conseguimos criar arquiteturas interessantes. Temos, assim, uma infraestrutura física e de *Wi-Fi* que cobre 95% da empresa (...) e tecnologias associadas a automação que envolvem sensorização com I/O-Link<sup>3</sup>” [15’15’].

O conceito de *Economia Circular*, que está presente desde a formação da ACC, tal como mencionado pelo entrevistado, *raw materials technician* (doravante designado por

---

<sup>3</sup> O I/O Link é um protocolo de comunicação aberto que integra dispositivos (sensores e atuadores), que permitem monitorizar o *status* de um sensor, bem como situações anormais de operação (ATEC, 2020).

entrevistado 2): “a ACC foi criada com o objetivo de criar valor com materiais que eram descartados na indústria das rolhas (...) a gênese da ACC é mesmo essa: a *Economia Circular*” [4’50’’], tem vindo a ser reforçado com o apoio das tecnologias da *Indústria 4.0*. Concretamente, no campo da monitorização dos processos. Citando o entrevistado 1:

“Antigamente, por exemplo, chegava aqui um camião com cortiça e nós pesávamos esse camião, mas o peso envolvia não só cortiça, como também pedras, madeira, metais e vidro. Logo, não havia a discriminação do peso útil. Ao dia de hoje, nós conseguimos pesar o camião na entrada, separar tudo o que é material útil e material não útil, sendo todo o processo digitalizado, numa ótica em que temos acesso ao fluxo de produção e sabemos por onde está a cortiça a passar, quais são as quantidades que estão a ser categorizadas como produto A, B ou C. É aqui que entra um bocadinho a *Indústria 4.0*” [2’18’’].

Do ponto de vista da aplicabilidade da IoT, é através de sensores que identificam vibrações que se torna possível verificar a variação da temperatura nas estufas e detetar a ocorrência de algum erro/problema mecânico. Nas palavras do entrevistado anteriormente referido:

“Ao dia de hoje, as temperaturas das estufas são medidas por termómetros, mas para chegar lá um fio eu tenho de conseguir comunicar com esse sensor. A IoT é, basicamente, um sensor que eu deixo como um dispositivo e ele comunica via redes *wireless* com um determinado equipamento que está central à fábrica. Neste sentido, eu não preciso de criar infraestrutura de rede. Eu consigo ter acesso a esses dados de minha casa, ou seja, eu não tenho de estar dentro da empresa para ver os dados da estufa” [16’07’’].

Já a tecnologia RFID, de acordo com a mesma fonte, mais do que permitir localizar os blocos de cortiça, ajuda também os gestores a melhor gerirem o inventário. Por último, a IA, na forma de aprendizagem por redes neuronais, irá permitir identificar a presença de um padrão não conforme, através de processamento de imagem. Como resultado, esse produto será rejeitado e reintroduzido no processo de fabrico, tal como foi descrito pelo entrevistado 1:

“Na eventualidade de surgir um padrão anómalo nós vamos lançar alarmística e registar isso como uma anomalia. Automaticamente, esse produto vai ser identificado como rejeitado. Nessas situações, em primeiro lugar, temos de identificar quais são os segmentos do rolo em causa e dizer que naquela secção aquele produto está rejeitado. O que vamos fazer é promover um corte nesse rolo, e dado que isto é uma *Economia Circular*, vamos pegar nesse rejeitado e incluir a montante no processo. Esse material é triturado e inserido novamente. Vamos garantir, assim, que estamos a controlar 100% a nossa qualidade” [20’15’’].

No quadro dos fatores facilitadores à adoção destas tecnologias, a ACC destaca o alinhamento estratégico que existiu em todas as unidades de negócio. A título de exemplo, o entrevistado 2 referiu que a implementação do *software* MES (*Manufacturing Execution System*) veio permitir um maior controlo de todo processo. O MES é usado para fazer a gestão, sincronização e monitorização dos processos físicos que transformam as matérias-primas em produtos. Além disso, consegue, em tempo real, fornecer *feedback* sobre o desempenho do processo (SAP, 2022). Conforme explicado pelo entrevistado 1: “as vantagens de ser transversal é que conseguimos, garantidamente, consultar, em tempo real, as produções das diversas fábricas” [24’05’]. Ao ter uma visibilidade sobre todo o processo, por exemplo, através do acesso a relatórios automáticos, a gestão de topo consegue saber, com precisão, se alguma das unidades orgânicas está abaixo ou acima do valor esperado, o que facilita bastante a tomada de decisão. Ainda que este sistema de gestão tenha tido a sua relevância, foi efetivamente o *software* SAP ERP (*Enterprise Resource Planning*) que alavancou a concretização da *Indústria 4.0* na Corticeira Amorim, conforme dito pela fonte anterior:

“A implementação SAP, foi, digamos, o argumento que a direção utilizou para iniciar o processo de modernização e implementação da *Indústria 4.0*. Começámos a casa pelo telhado, por assim dizer. Mas ao termos esse *pressing* da direção tivemos de criar uma estrutura e desenvolver os diversos níveis da pirâmide para conseguirmos alimentar o teto da casa. Essa foi uma estratégia única aqui da empresa” [24’50’].

Como principal barreira, o entrevistado 1 apontou o caso de alguns trabalhadores com mais experiência que, naturalmente, não estão preparados para receber determinados sistemas informáticos, provocando “uma resistência óbvia” [26’56’]. Não obstante, para colmatar esta situação, duas técnicas foram adotadas: em primeiro lugar, a forte comunicação organizacional “que resolve 99% dos problemas” [27’05’] e, em segundo lugar, a transferência dos mais jovens (designados internamente por *super users*) para a gestão da comunicação e interligação entre os quiosques MES (que estão espalhados por toda a fábrica) e os operadores.

Finalmente, no âmbito dos benefícios percebidos, verifica-se na perspetiva social uma alocação dos colaboradores para funções menos perigosas e que exijam menores esforços. De acordo com os entrevistados, a segurança daqueles que trabalham na Corticeira Amorim foi, e continua a ser, um dos principais motivos pelos quais se tem instituído a

*Indústria 4.0.* O Relatório de Sustentabilidade de 2021 vem reforçar esta mesma informação ao apresentar uma redução global de 11% (face ao ano anterior) na frequência de acidentes. Tal terá sido possível, entre outros, através dos investimentos feitos em tecnologia, das alterações nos equipamentos e nas condições de trabalho, bem como das ações de sensibilização e formação (Corticeira Amorim, 2021b). Do ponto de vista ambiental e, através da utilização de energias renováveis, a empresa registou em 2021 uma poupança energética de 73 mil gigajoules (GJ), reciclou 801 toneladas de cortiça (9% de crescimento em relação ao ano anterior), valorizou 93% dos resíduos industriais e minimizou o impacto nas categorias de transporte e distribuição a montante e a jusante (*vide* Tabela II), dos quais resultaram projetos que promoveram a otimização das rotas.

TABELA II  
GANHOS DE EFICIÊNCIA CORTICEIRA AMORIM

	2018	2019	2020	2021
Reciclagem de cortiça (t)	478	485	736	801
Poupança de energia (GJ)	-	60.439	56.182	72.625
Resíduos industriais (t)	10.432	11.233	11.257	15.151
Valorização dos resíduos industriais (%)	90	88	90	93
Transporte distribuição a montante (GJ)	32.916	25.329	30.642	22.558
Transporte distribuição a jusante (GJ)	71.917	52.846	45.011	39.834

*Fonte:* Adaptado de Corticeira Amorim - Relatório de Sustentabilidade (2019, 2020 e 2021b).

Para que tal sucedesse, foi então necessário apostar na adoção de tecnologias mais limpas, que respeitassem o meio ambiente, a eficiência energética e a neutralidade carbónica (Corticeira Amorim, 2021b). Na esfera económico-financeira, em 2021, o grupo atingiu um volume de negócios superior a 837 milhões de euros. A ACC alcançou um resultado de 116 milhões dessas vendas (23% de crescimento face ao exercício anterior), uma vez

mais por causa das tecnologias inovadoras que têm sido adotadas nesta unidade orgânica e que têm levado ao desenvolvimento de produtos mais circulares e diferenciados, contribuindo para a redução da poluição e para a reutilização dos materiais. As vendas destes produtos totalizaram, em 2021, 40 milhões de euros (Corticeira Amorim, 2021a, b).

### 4.3. SECIL

A Secil, empresa instituída em 1930, resultante da fusão da Secil com a Companhia Geral de Cal e Cimento e da participação das firmas dinamarquesas F. L. Smidth & Co. e Hojgaard & Schultz A/S, assenta a sua atividade na produção e comercialização de cimento, betão pronto, argamassas, agregados, prefabricados de betão e cal hidráulica (Secil, 2022). Embora tenha surgido em Portugal, no qual apresenta uma sólida posição, este grupo empresarial tem consolidado a sua presença em outros países, sendo eles: Angola, Tunísia, Holanda, Brasil, Cabo Verde e Líbano. Na atualidade, emprega mais de 2.346 trabalhadores unidos por um conjunto de valores comuns: pessoas, integridade, responsabilidade, colaboração e desempenho (Secil, 2022).

Apesar de ainda não estarem na linha da frente do ponto de vista tecnológico, a Secil tem atualmente em marcha um projeto (CCL: *Clean Cement Line*) de 86 milhões de euros de remodelação profunda na sua principal linha da fábrica, que ficará, de acordo com o entrevistado, *head of optimisation and digital*, “entre as mais modernas da Europa” [08’36’]. Segundo a revista interna da empresa (*Valorizar*), é através “de um inovador processo de integração de tecnologias maduras e recentes nunca antes combinadas entre si” que a fábrica da Secil se tornará a mais sustentável da Europa (Secil, 2021: p. 8). Integrando uma das indústrias mais responsáveis pelo consumo intensivo de recursos e pela emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, o entrevistado refere que a Secil tem como objetivos fundamentais tornar nula a pegada carbónica e abandonar o consumo de combustíveis fósseis primários. Com tal fim em vista, foi desenvolvido um departamento de digitalização a quem compete a pesquisa de soluções tecnológicas, adaptadas a cada área do negócio. Presentemente, o grupo empresarial tem implementadas as seguintes



tecnologias da *Indústria 4.0*: IA (*soft sensors*)<sup>4</sup> e BDA. Futuramente, estimam que também faça parte deste círculo a IoT.

Em relação à importância das tecnologias e o seu impacto na *Economia Circular*, o entrevistado referiu que antes, para fazer a medição da temperatura, era necessária uma sonda de temperatura. Contudo, nos dias de hoje, é possível fazer essa medição através de IA, na forma de *soft sensors*. Face à via anterior, os *soft sensors* permitem prever, atempadamente, o comportamento da variável *temperatura*. Outro dos seus atributos é conseguir estimar, com maior precisão, o poder calorífico dos combustíveis alternativos, consoante explicou o entrevistado:

“Eu quero aumentar a percentagem de incorporação dos meus combustíveis alternativos e há uma informação essencial que é, eu preciso de saber qual é o poder calorífico (energia) que esses combustíveis que eu não conheço, têm. Se eu tiver uma leitura de humidade, ou uma leitura de infravermelhos que meça quanto plástico ou biomassa está incorporado e isso se transforme em poder calorífico, então, no forno, saberei que terá tanta energia. Os *soft sensors* são, assim, premissas que precisamos de criar para alcançarmos estes números muito elevados de substituição que pretendemos” [12’03’’].

Por sua vez, a BDA, “que é o ponto de partida para tudo o resto” [13’13’’] vem proporcionar a medição constante de certas variáveis (e.g., consumos, quantidade necessária de combustível a substituir), através do acesso a grandes quantidades de informação. Embora, na atualidade, a Secil recorra à manutenção preditiva, a empresa estima fazer a implementação de IoT, uma vez que lhe é reconhecida a valência de emitir alertas quando perante um problema no equipamento, como exemplificado pelo entrevistado:

“Há uma determinada zona do equipamento que tem um aumento de temperatura. Esse aumento de temperatura lança-me um alerta a mim (gestor) que pode iniciar um problema de manutenção. O que nós queremos é que o problema de manutenção não aconteça. Quando essa temperatura começar a subir, ele comunique diretamente com o *software* de manutenção e lance uma ordem de inspeção (...) sem a minha intervenção direta” [14’53’’].

No que respeita aos fatores que facilitaram a efetivação das tecnologias da *Indústria 4.0*, o entrevistado realçou em particular dois: em primeiro lugar, a manutenção da

---

<sup>4</sup> Os *soft sensors* são utilizados para prever a resposta de determinadas variáveis que são difíceis de medir (Liu et al., 2016).

competitividade/ sustentabilidade da empresa e, em segundo lugar, os fundos provenientes do Portugal 2020. Como o entrevistado referiu: “um dos motivos tem a ver com a sustentabilidade (...) a evolução tecnológica vai acontecer, os mecanismos de inteligência artificial, de IoT e *big data* são uma realidade hoje (...) e, portanto, as empresas vão precisar de estar muito mais adaptadas à mudança para sobreviverem” [18’34’’]. Por outro lado, o Portugal 2020 veio garantir o financiamento do projeto CCL. A título indicativo, o Portugal 2020 é um acordo entre Portugal e Comissão Europeia que incorpora os cinco fundos estruturais e de investimento, e que visa desenvolver políticas de âmbito económico, territorial e social (Portugal 2020, 2022).

Como principais barreiras, o entrevistado listou: i) a própria tecnologia de recolha de dados no terreno que necessitou de ser atualizada; ii) os investimentos elevados inerentes a não se deter uma infraestrutura tecnológica preparada e iii) a falta de contratação de especialistas nestas matérias, que foi atenuada com a elaboração de programas de formação para o pessoal dos quadros da empresa, conforme descrito na entrevista: “não houve muita contratação para fazer esta implementação. Acabou por ser um conjunto de recursos humanos que foi valorizado do ponto de vista de conhecimento, tendo formação” [21’27’’].

Por último, em relação aos benefícios oriundos da implementação destas tecnologias tem-se que, socialmente, veio facilitar muito a vida dos trabalhadores e a qualidade do seu trabalho, pelo facto de estes terem agora mais acesso a informação relevante. Citando o entrevistado: “a não existência desta estratégia obrigaria a muito mais trabalho de tratamento de dados (...) e isto acaba por facilitar. Uma das maiores vantagens do digital é mesmo o próprio acesso ao conhecimento, global e transversal a toda a gente” [22’28’’]. Questionado acerca de como é que, na prática, o digital veio simplificar o seu trabalho, o entrevistado relatou que há uns anos não era possível ter todos os indicadores monitorizados. Na verdade, ir ao campo recolher as variáveis e, posteriormente, trabalhar os dados em bruto no *excel*, revelava-se, nas palavras do próprio, “um pesadelo” [24’07’’]. Em contrapartida, hoje, é possível apresentar esses mesmos dados à gestão de topo de uma forma muito mais rápida e atrativa visualmente, tal como pode ser comprovado pela transcrição subsequente:

“Recuando 5 anos atrás eu não conseguia, em momento algum, ter acesso a estes KPI’s preparados, certinhos, monitorizados. Hoje, conseguimos ter estes dados apresentados à nossa gestão de topo, que é a direção de fábrica (...) se vier uma pergunta do género: «Qual é a previsão de X? E só na última semana?» é uma questão de mudar dois ou três parâmetros no *software* e aquilo recalcula automaticamente. No fundo, é a rapidez de gestão. O ritmo de gestão aumentou muito” [24’05’’].

Os operadores de processo, responsáveis por conduzir e assegurar o processo de fabrico, através de um comando centralizado, e todos os outros trabalhadores envolvidos nas tarefas de fabricação e manutenção são também dos principais beneficiários da implementação destas tecnologias, nomeadamente da IA. Tal pode ser confirmado com o seguinte registo da entrevista: “nós temos operadores de comando, mas estamos a trabalhar para ter um conjunto de algoritmos de IA que permitam ligar a um botão de piloto automático que optimize a condução dos equipamentos” [10’32’’].

Ambientalmente, a Secil tem tentado emitir menos CO<sub>2</sub> e minorar a exploração dos recursos naturais, tal como anunciado pelo entrevistado: “a missão é ter 100% de taxa de substituição de combustíveis alternativos, uma maximização das matérias-primas secundárias e uma minimização da incorporação de clínquer (que é o fator custo do nosso produto intermédio) nos nossos cimentos, tendo uma menor pegada ambiental e ecológica” [26’24’’]. Atendendo a estas afirmações, e com vista a corroborá-las, consultou-se o Relatório do Conselho de Administração que permitiu validar esta informação, estando a mesma organizada na Tabela III, exposta abaixo.

TABELA III

## GANHOS DE EFICIÊNCIA SECIL

	2018	2019	2020
Emissões absolutas globais (brutas) de CO <sub>2</sub> (milhões t)	3,99	3,82	3,63
Taxa de utilização de combustíveis alternativos (%)	19,5	23,6	26,0
Matérias-primas alternativas (clínquer e cimento) (%)	2,14	3,70	11,7

Fonte: Adaptado de Secil - Relatório do Conselho de Administração (2020).

Economicamente, ainda que não seja possível saber com precisão qual o valor gerado pela *Indústria 4.0*, foi transmitido em entrevista que estas novas estratégias ambientais, recorrendo ao uso de tecnologias inovadoras, têm certamente impacto a nível económico. À vista disso, examinou-se novamente o Relatório do Conselho de Administração (2020) que elucidou para o facto do volume de negócios estar a aumentar e a produção de clínquer e os custos energéticos a diminuir, conforme revela a Tabela IV, em seguida.

TABELA IV  
OUTROS INDICADORES

	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>	<b>2021</b>
Volume de negócios (milhões €)	262,3	295,8	306,1	323,5
Produção de clínquer (1000 t)	1.821	1.815	1.778	1.787
Produção de cimento (1000 t)	1.700	1.945	1.974	2.072
Energia e fluídos (€)	43.240.605	47.153.371	38.952.706	39.026.799

*Fonte:* Adaptado de Secil - Relatório do Conselho de Administração (2020).

A Tabela V (*vide infra*) pretende reunir sumariamente os resultados que foram alcançados com esta investigação.

TABELA V

## SUMÁRIO DOS RESULTADOS

<b>Casos de estudo (setor de atividade)</b>	<b>Quais é que são as tecnologias da <i>Indústria 4.0</i> utilizadas pela empresa?</b>	<b>Como é que as tecnologias da <i>Indústria 4.0</i> contribuem para as práticas de <i>Economia Circular</i>?</b>	<b>Quais é que foram os fatores que facilitaram a adoção dessas tecnologias na empresa?</b>	<b>Quais é que foram os fatores que dificultaram a adoção dessas tecnologias na empresa?</b>	<b>Como é que a empresa beneficia (social, ambiental e economicamente) da implementação das tecnologias da <i>Indústria 4.0</i>?</b>
J.F. Almeida (têxteis)	<i>Internet of things</i>  <i>Robots</i>	Através de um computador conectado a um sistema operativo é possível examinar o pH das águas. Em vez da totalidade da água ir para o esgoto, uma parte é reutilizada e, mais tarde, reintroduzida no processo.  Não estão a auxiliar.	O Plano de Recuperação e Resiliência (PRR).  A capacidade de inovar da empresa.	de ter uma estrutura quase criada de raiz, dotada de infraestruturas (máquinas/equipamentos) que não estavam completamente preparadas para receber estas tecnologias.	Os trabalhadores são alocados a tarefas de maior valor acrescentando.  Verificam-se poupanças em água e em produtos auxiliares (e.g., reaproveitamento de cerca de 270 mil m <sup>2</sup> de água, anualmente).  Verificam-se reduções nos custos com água e energia (e.g., até 20 mil euros em água, mensalmente).

*(continua na página seguinte)*

<b>Casos de estudo (setor de atividade)</b>	<b>Quais é que são as tecnologias da <i>Indústria 4.0</i> utilizadas pela empresa?</b>	<b>Como é que as tecnologias da <i>Indústria 4.0</i> contribuem para as práticas de <i>Economia Circular</i>?</b>	<b>Quais é que foram os fatores que facilitaram a adoção dessas tecnologias na empresa?</b>	<b>Quais é que foram os fatores que dificultaram a adoção dessas tecnologias na empresa?</b>	<b>Como é que a empresa beneficia (social, ambiental e economicamente) da implementação das tecnologias da <i>Indústria 4.0</i>?</b>
Corticeira Amorim (cortiça)	<p><i>Internet of things</i></p> <p><i>Radio-frequency identification</i></p> <p>Inteligência artificial (e.g., redes neuronais – ainda em fase de implementação)</p>	<p>Por via de um sensor que comunica via rede <i>wireless</i> com um equipamento que se encontra na fábrica, é possível fazer o controlo da temperatura das estufas a partir de casa, bem como prever uma avaria nas máquinas.</p> <p>Através de um dispositivo colocado no produto, é possível conhecer a sua localização e gerir da melhor forma o inventário que se encontra em armazém.</p> <p>Por via do processamento de imagem, é possível detetar um produto (rolo de cortiça) que não está conforme, dando-se início a um processo de corte, trituração e recolocação desse mesmo rolo a montante no processo, promovendo a sua reutilização.</p>	O alinhamento estratégico (e.g., implementação do <i>software</i> MES).	A resistência à mudança por parte dos trabalhadores com mais anos de experiência na organização.	<p>Os trabalhadores realizam tarefas com maior segurança.</p> <p>Verifica-se a valorização de 93% dos resíduos industriais e a poupança de grandes quantidades de energia (72.625 GJ).</p> <p>Verifica-se um aumento de 23% das vendas da ACC face ao ano anterior.</p>

(continua na página seguinte)

<b>Casos de estudo (setor de atividade)</b>	<b>Quais é que são as tecnologias da Indústria 4.0 utilizadas pela empresa?</b>	<b>Como é que as tecnologias da Indústria 4.0 contribuem para as práticas de Economia Circular?</b>	<b>Quais é que foram os fatores que facilitaram a adoção dessas tecnologias na empresa?</b>	<b>Quais é que foram os fatores que dificultaram a adoção dessas tecnologias na empresa?</b>	<b>Como é que a empresa beneficia (social, ambiental e economicamente) da implementação das tecnologias da Indústria 4.0?</b>
Secil (cimento, argamassas, cal hidráulica, betão)	Inteligência artificial (e.g., <i>soft sensors</i> )  <i>Big data analytics</i>  <i>Internet of things</i> (ainda em fase de implementação)	Por via de sensores é possível prever o comportamento da variável “temperatura” e estimar o poder calorífico dos combustíveis alternativos, tornando as poupanças energéticas uma realidade.  Através do acesso a dados relativos aos consumos, é possível fazer uma melhor gestão dos recursos.  Por via de sensores que comunicam com o <i>software</i> , é possível emitir alertas perante um aumento de temperatura, sem intervenção direta do gestor.	A competitividade/sustentabilidade organizacional.  Os fundos do Portugal 2020.	As tecnologias e os elevados custos de investimento nas mesmas.  A falta de mão-de-obra especializada na área digital.	Os trabalhadores têm um maior acesso aos dados com que trabalham.  Verificam-se diminuições nas emissões de CO <sub>2</sub> , na exploração de recursos naturais e no uso de combustíveis fósseis.  Verifica-se uma redução dos custos com energia e fluídos (e.g., de 47 milhões em 2019, passou para 38 milhões em 2020).

Fonte: Elaboração própria.

O capítulo 5, adiante apresentado, procura confrontar os resultados alcançados nesta investigação com os demais estudos encontrados na literatura científica, e que constam no capítulo 2.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Para compreender como é que as tecnologias da *Indústria 4.0* estão a auxiliar a adoção de práticas circulares nas indústrias, é importante, primeiro que tudo, identificar quais são as tecnologias que estão a ser utilizadas pelas empresas em estudo, sendo elas: IoT, RFID, IA, BDA e *robots*. Tecnologias como RA ou fabricação aditiva não foram mencionadas pelas empresas, provavelmente, por não ser usual aplicá-las ao tipo de indústrias analisadas nesta investigação. Por exemplo, a fabricação aditiva que é um tipo específico de CPS que cria objetos tridimensionais (3D) através do uso de matérias-primas convencionais, é, por norma, utilizada nos setores automóvel, saúde e plásticos. Todas as tecnologias indicadas pelos entrevistados fazem parte do grupo de tecnologias associadas à *Indústria 4.0* (Rojko, 2017; Rüßmann et al., 2015). A IoT, possibilita fazer uma melhor gestão dos consumos que existem ao longo de toda a cadeia produtiva, verificar a variação da temperatura das estufas que cozem o material, bem como detetar previamente a ocorrência de algum problema mecânico nos equipamentos, através de sensores que identificam variações anómalas. Das respostas dadas pelos entrevistados é possível destacar duas coisas: i) o uso de IoT é comum a todas as empresas, sendo considerada como um verdadeiro *driver* para o modelo económico circular, à semelhança do que sugerem os estudos de Askoxylakis (2018) e Hatzivasilis et al. (2018); ii) a IoT desempenha diferentes papéis na promoção da *Economia Circular*, conforme previsto na literatura. Pelo facto de transmitir informação de modo célere, preciso e transparente acerca da disponibilidade/perda dos recursos e das condições do produto e do equipamento (Antikainen et al., 2018; Kagermann et al., 2013), prevê-se que será possível reduzir o desperdício, conforme sugerido por Nasiri et al. (2017) e melhorar a reciclagem (EMF, 2016). Outro dos seus contributos reside no facto de emitir um sinal de alarme quando as temperaturas sobem acima do normal, podendo identificar potenciais avarias (i.e., deixar de funcionar) antes destas acontecerem. Isto possibilita a salvaguarda do processo produtivo, uma vez que se pressupõe que os operadores irão atuar de forma mais rápida. A RFID, coopera para o conhecimento da localização dos blocos de cortiça, o que diminui a hipótese destes se perderem e aumenta a hipótese de recolha, renovação, remanufaturação e reciclagem (Bressanelli et al., 2018a). Além disso, ajuda também os gestores a controlarem e a manusearem melhor o inventário nos armazéns (Ibarra et al., 2018; Rüßmann et al., 2015), reduzindo custos e aumentando a qualidade do processo



logístico, o que está em linha com os resultados alcançados por Abdala (2020) e Patil and Shelake (2021). A IA, viabiliza a previsão da variável “temperatura”, estima o poder calorífico dos combustíveis alternativos e emite alertas perante padrões considerados anómalos, para que depois possam ser colocados a montante. Monitorizando a temperatura, é possível ser mais eficiente na utilização da energia, reduzindo os gastos com este recurso. Adicionalmente, ao cooperar para a reintrodução de produtos transformados no processo produtivo, maximiza-se o valor destes produtos, sendo este o foco da *Economia Circular*, segundo Esposito et al. (2017). A BDA, permite aceder a uma grande quantidade e diversidade de informação, o que leva, eventualmente, a gestão de topo a intervir de forma mais ágil e a tomar decisões mais conscientes e informadas (Gupta et al., 2019). Uma descoberta a realçar, sobre o papel que as tecnologias têm na promoção da *Economia Circular*, é que a utilização de *robots*, no caso da J.F. Almeida, não está a conseguir fomentar a circularidade. Esta descoberta poderá evidenciar a necessidade de existirem mais estudos que explorem o potencial uso de *robots* na *Economia Circular*. No entanto, ao contribuir para a eficiência da mão-de-obra, depreende-se que as tarefas serão executadas com maior precisão e a probabilidade de existirem falhas e consequentes desperdícios será menor (Klug et al., 2021). De modo geral, esta investigação permitiu comprovar que a utilização das tecnologias da *Indústria 4.0* está a contribuir para alcançar práticas ligadas à *Economia Circular* nas empresas, o que apresenta ser conexo com resultados do estudo de Rosa et al. (2020).

Os fatores que facilitam a adoção da *Indústria 4.0* mencionados pelos entrevistados das três indústrias debruçam-se sobre os apoios do programa PRR, a capacidade de inovar subjacente à natureza da própria empresa, o alinhamento estratégico comum a todas as unidades de negócio, a sustentabilidade organizacional e o financiamento proveniente do Portugal 2020. Todos os fatores supracitados parecem apoiar aquilo que foi encontrado na revisão da literatura em relação aos fatores facilitadores da *Indústria 4.0*: o compromisso da gestão de topo e o alinhamento estratégico, as políticas do Governo, a sustentabilidade económica, ambiental, a existência de modelos de negócio inovadores e a cultura centrada em dados (León & Bermúdez, 2021; Machado et al., 2021). Dado que todos os fatores facilitadores estão interligados (Machado et al., 2021), é possível inferir, por exemplo, que a cultura orientada para os dados e os modelos de negócio inovadores são provenientes do compromisso e alinhamento estratégico da gestão de topo.

Do ponto de vista das barreiras enfrentadas pelas empresas à implementação destas tecnologias, os entrevistados referiram: a necessidade de se ter uma estrutura quase criada de raiz para suportar a efetivação da *Indústria 4.0*, a resistência à mudança, por parte dos trabalhadores com mais experiência, a própria tecnologia que necessitou de várias atualizações, os avultados custos de execução e a carência de recursos humanos capacitados para trabalharem com estas tecnologias. Perante as respostas fornecidas, é possível identificar duas semelhanças. A primeira, prende-se com o facto de duas das três empresas apontarem como barreira a insuficiência das infraestruturas (físicas e tecnológicas) e a consequente necessidade de atualizações. Este resultado vem validar a ideia de Hermann et al. (2015) e Müller and Voigt (2017) que aludem para o facto de a *Indústria 4.0* ter de ser desenhada para diferentes cenários organizacionais e de produção exigindo, por isso, adaptações. A segunda, está relacionada com o facto de duas das três empresas registarem como barreira a impreparação dos recursos humanos. Na Secil, não havia praticamente trabalhadores qualificados na área do digital, sendo esta uma condição fundamental para a implementação da *Indústria 4.0* (León & Bermúdez, 2021; Machado et al., 2021). Isto porque, trabalhar com máquinas e sistemas inteligentes exige conhecimento técnico especializado (Ras et al., 2017). Na ACC verificava-se uma certa resistência por parte de alguns funcionários à mudança (Erol et al., 2016; Müller et al., 2018; Tisch et al., 2014), provavelmente também pela falta de domínio na área tecnológica. Uma descoberta a ressaltar é que apenas um dos casos analisados citou como barreira os custos elevados de investimento em tecnologia (Erol et al., 2016; Mogos et al., 2019). A existência desta poderá, porventura, justificar a intervenção do Portugal 2020 no projeto CCL uma vez que uma das prioridades de atuação deste programa recai sobre um maior investimento em investigação, desenvolvimento e inovação (Portugal 2020, 2022). Importa ter em mente que, no longo-prazo, o investimento será compensado pela melhoria do desempenho da produção. A resposta a esta questão de investigação permitiu concluir que todas as empresas, sem prejuízo das exceções, enfrentam barreiras na adoção das tecnologias da *Indústria 4.0*, evidenciando a complexidade deste paradigma (Kumar, 2020).

No que se refere aos benefícios percebidos, todas as empresas asseveram, de forma unânime, que a *Indústria 4.0* tem conseguido alocar os recursos humanos a tarefas mais apelativas, que obriguem a menos esforços e que sejam menos perigosas. Estes factos

aparentam comprovar as preposições de Abdala (2020) e Rojko (2017) de que esta, através das tecnologias, melhora as condições de trabalho tornando-o mais flexível, seguro e *friendlier*. Neste contexto, é expectável que os colaboradores aumentem a sua produtividade e rendimento, desencadeando efeitos nos quadros económicos da organização. Ambientalmente, foram salientados como principais benefícios a reutilização das águas, a poupança de energia, o acréscimo de reciclagem dos materiais, a valorização dos resíduos industriais, a redução das emissões de CO<sub>2</sub> e uma maximização do uso de matérias-primas secundárias em detrimento do uso de combustíveis fósseis. Cada um destes benefícios atesta o que foi encontrado na revisão da literatura, nomeadamente que a *Indústria 4.0* viabiliza a poupança de energia e uma eficaz utilização dos resíduos (Nasiri et al., 2017), propicia um melhor aproveitamento dos recursos naturais e restringe o desperdício e as emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (Gabriel & Pessl, 2016; Müller et al., 2018; Rojko, 2017). Ainda que não tenha sido possível obter dados concretos sobre o valor económico-financeiro gerado por cada uma destas tecnologias em cada um dos casos, o facto é que todos os grupos empresariais assinalam poupanças nos custos operacionais, atestando a ideia de que a *Indústria 4.0* promove a redução de custos de mão-de-obra e de materiais e os tempos de produção (Dalenogare et al., 2018; Jeschke, 2017) e contribui para o aumento do volume de negócios. Em suma, apesar das especificidades de cada uma das indústrias, foi apontado por todas que o uso destas tecnologias traz benefícios nas três dimensões: social, ambiental e económica.

O próximo, e último capítulo, apresenta as conclusões deste trabalho, seguido das contribuições, limitações e sugestões para futuras investigações.

## 6. CONCLUSÕES

Não obstante a crescente importância que as questões da digitalização e do uso mais eficiente dos recursos ocupam na atual agenda das empresas, o facto é que as investigações que procuram compreender como é que as tecnologias da *Indústria 4.0* fomentam práticas circulares, são limitadas. Perante a lacuna existente, o presente trabalho comprometeu-se em dar resposta às seguintes questões de investigação: *Como é que as tecnologias da Indústria 4.0 contribuem para as práticas de Economia Circular? Quais são os fatores que facilitam/dificultam a adoção destas tecnologias nas*

*organizações? Como é que as empresas beneficiam da implementação das tecnologias da Indústria 4.0?* Para o cumprimento deste propósito, três casos de estudo foram analisados.

Em relação à primeira questão de investigação, os resultados obtidos permitiram concluir que todas as empresas utilizam mais do que uma tecnologia da *Indústria 4.0* e que a sua utilização está a conduzir a práticas ligadas à *Economia Circular* dentro das indústrias. A IoT, foi a tecnologia mais citada entre os entrevistados, evidenciando o seu importante papel na promoção da *Economia Circular* (Rosa et al., 2020). O conhecimento que esta tem sobre o produto e sobre o equipamento (disponibilidade, condição, tempo de vida) faz com que a gestão dos recursos seja feita de modo mais eficiente. Além disso, verifica a variação da temperatura existente nas estufas e antecipa o surgimento de avarias nos equipamentos. Estas características cooperam para a redução do desperdício e para um aumento da reciclagem. A RFID, permite localizar os produtos e auxilia os responsáveis dos armazéns a gerirem melhor os inventários. Deste modo, a perda dos produtos é evitada e a oportunidade de recolher, renovar e reciclar é mais suscetível de ocorrer. A IA, faz uma estimativa do poder calorífico dos combustíveis alternativos e promove a reutilização de produtos com defeito, o que contribui para a redução do uso de energia e para o prolongamento do tempo de vida útil dos produtos. A BDA, possibilita a monitorização de inúmeras variáveis, criando a possibilidade de uma intervenção mais rápida e informada da gestão de topo e uma gestão mais eficiente dos recursos. Segundo apurado na entrevista à J.F. Almeida, a utilização de *robots* não tem colaborado diretamente para a adoção de práticas circulares. No entanto, tem permitido tornar a mão-de-obra mais eficiente.

Quanto à segunda questão de investigação, constatou-se que os fatores que facilitaram a execução da *Indústria 4.0* foram: o compromisso da gestão de topo e o alinhamento estratégico, as políticas e apoios do Governo, a sustentabilidade económica, social e ambiental e a existência de modelos de negócio inovadores.

Sendo a *Indústria 4.0* um paradigma complexo, o aparecimento de barreiras à implementação das tecnologias da *Indústria 4.0* nas organizações era presumível. As referidas pelos entrevistados incidiram sobre: a necessidade de adaptar a infraestrutura física e tecnológica, os elevados custos de efetivação, a resistência à mudança e a falta de

recursos internos capacitados para trabalhar com novas tecnologias. Os resultados do estudo levaram à descoberta de que a insuficiência de elementos estruturais (*softwares*, máquinas) e a impreparação dos trabalhadores na área do digital foram as principais barreiras a serem enfrentadas pelas empresas analisadas.

No tocante à terceira questão de investigação, retirou-se que a ideia de as tecnologias da *Indústria 4.0* trazerem benefícios sociais, ambientais e económicos, foi universal a todas empresas. A nível social, têm permitido aos trabalhadores desempenharem atividades de maior valor acrescentado, menos repetitivas e com mais segurança. A nível ambiental, garantem poupanças de energia e de água, a reciclagem de materiais e a redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Economicamente, em conjunto com outras estratégias e ferramentas de otimização, permitem reduzir os custos operacionais e os tempos de produção e aumentar o volume de negócios.

Este estudo exploratório forneceu dois contributos significativos: o primeiro, versa sobre a importância que esta investigação teve no entendimento do papel que as tecnologias da *Indústria 4.0* desempenham no alcance de práticas associadas à *Economia Circular*; o segundo, recai sobre o valor acrescentado que este trabalho teve na perceção dos fatores que favorecem/dificultam a adoção da *Indústria 4.0* e dos benefícios que advém da sua implementação.

Considerado robusto, este método de investigação apresentou um conjunto de limitações: i) a investigação circunscreveu-se somente à indústria portuguesa. Para melhor perceber as implicações desta delimitação nacional, sugere-se a elaboração de outros estudos que comparem Portugal com outros países; ii) as tecnologias exploradas pelas empresas selecionadas não englobaram todas as tecnologias da *Indústria 4.0*, o que impediu a verificação dos seus potenciais de aplicação na *Economia Circular*. Como futura linha de investigação propõe-se, assim, uma análise da importância das restantes tecnologias (*blockchain*, *cloud*, realidade aumentada, realidade virtual, *end-to-end integration*) na mudança para o modelo circular da economia e iii) as empresas contactadas foram pouco recetivas ao pedido de realização de entrevistas. Neste sentido, recomenda-se que se procurem estudar outros setores e indústrias, para melhor entender toda a diversidade de contribuições que as tecnologias da *Indústria 4.0* podem fornecer para a *Economia Circular*.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdala, E. (2020, novembro 29-30). *Alinhamento entre Economia Circular e Indústria 4.0 para sustentabilidade na cadeia de suprimentos: proposições para futuras pesquisas* [Conference Session]. XXII Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, São Paulo. <https://engemausp.submissao.com.br/22/arquivos/420.pdf> [Acesso em 01/12/2021].
- Anderl, R. (2014, outubro 9). *Industrie 4.0 – advanced engineering of smart products and smart production* [Conference Session]. 19th International Seminar on High Technology, Piracicaba. [https://www.researchgate.net/publication/270390939\\_Industrie\\_40\\_Advanced\\_Engineering\\_of\\_Smart\\_Products\\_and\\_Smart\\_Production](https://www.researchgate.net/publication/270390939_Industrie_40_Advanced_Engineering_of_Smart_Products_and_Smart_Production)
- Antikainen, M., Uusitalo, T., & Kivikytö-Reponen, P. (2018, maio 29-31). *Digitalisation as an Enabler of Circular Economy* [Conference Session]. CIRP Conference on Industrial Product-Service Systems, Finland. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.027>
- Askoxylakis, I. (2018, maio 20-24). *A framework for pairing circular economy and the internet of things* [Conference Session]. 2018 IEEE International Conference on Communications (ICC), Kansas City. <https://doi.org/10.1109/ICC.2018.8422488>
- ATEC. (2020). *O que é o I/O Link?* <https://www.atec.pt/artigos-tecnicos/o-que-e-o-i-o-link.html> [Acesso em 05/10/2022].
- Awan, U., Sroufe, R., & Shahbaz, M. (2021a). Industry 4.0 and the circular economy: A literature review and recommendations for future research. *Business Strategy and the Environment*, 30(4), 2038–2060. <https://doi.org/10.1002/bse.2731>
- Awan, U., Shamim, S., Zhan, Z., Zia, N., Shariq, S., & Khan, M. (2021b). Big data analytics capability and decision-making: The role of data-driven insight on circular economy performance. *Technological Forecasting & Social Change*, 168, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120766>
- Azevedo, J. (2015, agosto 13-14). *Economia Circular aplicada no Brasil. Uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa* [Conference Session]. XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão, Rio de Janeiro. [https://www.academia.edu/35145546/a\\_economia\\_circular\\_aplicada\\_no\\_brasil\\_um\\_a\\_an%C3%81lise\\_a\\_partir\\_dos\\_instrumentos\\_legais\\_existentes\\_para\\_a\\_log%C3%8dstica\\_reversa](https://www.academia.edu/35145546/a_economia_circular_aplicada_no_brasil_um_a_an%C3%81lise_a_partir_dos_instrumentos_legais_existentes_para_a_log%C3%8dstica_reversa) [Acesso em 03/12/2021].
- Backhaus, S., Nadarajah., D. (2019, abril 16-17). *Investigating the relationship between industry 4.0 and productivity: A conceptual framework for Malaysian manufacturing firms* [Conference Session]. The Fifth Information Systems International Conference 2019, Salengor. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.173>
- Bartodziej, C. (2017). *The Concept Industry 4.0*. Springer Gabler Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-16502-4>

- Bashannyk, V., Buryk, Z., Kokhan, M., Vlasenko, T., & Skryl, V. (2020). Financial, Economic and Sustainable Development of states within the conditions of Industry 4.0. *International Journal of Management (IJM)*, 11(4), 406-413. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3601557](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3601557) [Acesso em 21/02/2022].
- Bin, S., Yeo, Z., Low, J., & Jiewei, D., Kurle, D., Cerdas, F., & Herrmann, C. (2015, abril 7-9). *A Big Data Analytics Approach to Develop Industrial Symbioses in Large Cities* [Conference Session]. The 22nd CIRP conference on Life Cycle Engineering, Sydney. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.066>
- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603–614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., & Saccani, N. (2018a). Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3), 1-21. <https://doi.org/10.3390/su10030639>
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., & Saccani, N. (2018b, maio 29-31). *The role of digital technologies to overcome Circular Economy challenges in PSS Business Models: An exploratory case study* [Conference Session]. 10th CIRP Conference on Industrial Product-Service System, Switzerland. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.03.322>
- Corticeira Amorim. (2019). *Relatório de Sustentabilidade 2019*. [https://www.amorim.com/xms/files/v1/Sustentabilidade/Relatorios/2019\\_Amorim\\_RC\\_PT\\_Sustentabilidade\\_Website.pdf](https://www.amorim.com/xms/files/v1/Sustentabilidade/Relatorios/2019_Amorim_RC_PT_Sustentabilidade_Website.pdf) [Acesso em 02/07/2022].
- Corticeira Amorim. (2020). *Relatório de Sustentabilidade 2020*. [https://www.amorim.com/xms/files/Sustentabilidade/Relatorio\\_de\\_Sustentabilidade\\_-\\_PT.pdf](https://www.amorim.com/xms/files/Sustentabilidade/Relatorio_de_Sustentabilidade_-_PT.pdf) [Acesso em 02/07/2022].
- Corticeira Amorim. (2021a). *Relatório & Contas 2021*. [file:///C:/Users/Utilizador/AppData/Local/Temp/Rar\\$DIA10060.23240/000544-2021-12-31.xhtml](file:///C:/Users/Utilizador/AppData/Local/Temp/Rar$DIA10060.23240/000544-2021-12-31.xhtml) [Acesso em 02/07/2022].
- Corticeira Amorim. (2021b). *Relatório de Sustentabilidade 2021*. [https://www.amorim.com/xms/files/Sustentabilidade/Relatorio\\_de\\_Sustentabilidade\\_-\\_Parte\\_do\\_RAC\\_2021-/2\\_PT\\_-\\_Relatorio\\_de\\_Sustentabilidade.pdf](https://www.amorim.com/xms/files/Sustentabilidade/Relatorio_de_Sustentabilidade_-_Parte_do_RAC_2021-/2_PT_-_Relatorio_de_Sustentabilidade.pdf) [Acesso em 02/07/2022].
- Corticeira Amorim (2022). <https://www.amorim.com/pt/corticeira-amorim/missao-visao-valores/> [Acesso em 15/05/2022].
- COTEC Portugal. (2021). <https://inovadora.cotec.pt/> [Acesso em 30/05/2022].
- Cracolici, M., Cuffaro, M., & Lacagnina, V. (2018). Assessment of Sustainable Well-being in the Italian Regions: An Activity Analysis Model. *Ecological Economics*, 143, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.07.010>

- Daly, H. (1977). The Steady-state Economy: what, why and how? In D. Pirages (Ed.) *The Sustainable Society: Implications for Limited Growth* (pp. 107-114). Praeger Publishers. <http://www.amalthys.com/greenpath/019steadystate.htm> [Acesso em 08/02/2022].
- Daymon, C., Holloway, I. (2022). *Qualitative Research Methods in Public Relations and Marketing Communications* (1st ed.). London: Routledge.
- de Man, J., & Strandhagen, J. (2017, 3-5 maio). *An Industry 4.0 Research Agenda for Sustainable Business Model* [Conference Session]. The 50th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Taiwan. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.03.315>
- de Mauro, A., Greco, M., & Grimaldi, M. (2016). A formal definition of Big Data based on its essential features. *Library Review*, 65(3), 122–135. <https://doi.org/10.1108/lr-06-2015-0061>
- Demestichas, K., & Daskalakis, E. (2020). Information and communication technology solutions for the circular economy. *Sustainability (Switzerland)*, 12(18), 1–19. <https://doi.org/10.3390/su12187272>
- Dalenogare, L., Benitez, G., Ayala, N., & Frank, A. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383–394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019>
- Drath, R., & Horch, A. (2014). Industrie 4.0: Hit or Hype? *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 8(2), 56-58. <https://doi.org/10.1109/MIE.2014.2312079>
- Eiroa, B., Fernández, E., Martínez, G., & Oñate, D. (2019). Operational principles of circular economy for sustainable development: Linking theory and practice. *Journal of Cleaner Production* 214, 952–961. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.271>
- Eisenhardt, K. (1989). Building Theories from Case Study Research. *The Academy of Management Review*, 14(4), 532–550. <https://www.jstor.org/stable/258557> [Acesso em 09/10/2022].
- Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the Circular Economy*. <https://emf.thirdlight.com/link/x8ay372a3r11-k6775n/@/preview/1?o> [Acesso em 16/02/2022].
- Ellen MacArthur Foundation. (2014). *Towards the Circular Economy*. <https://emf.thirdlight.com/link/t4gb0fs4knot-n8nz6f/@/preview/1?o> [Acesso em 16/02/2022].
- Ellen MacArthur Foundation. (2016). *Intelligent Assets: Unlocking the Circular Economy Potential*. <https://emf.thirdlight.com/link/yt5h36ty218q-polkg/@/preview/1?o> [Acesso em 19/02/2022].
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Artificial Inteligent and the Circular Economy*. <https://emf.thirdlight.com/link/dl06eujcbet-wx40o7/@/preview/1?o> [Acesso em 19/02/2022].



- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihn, W. (2016, junho 29-30). *Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production* [Conference Session]. 6th CIRP Conference on Learning Factories, Norway. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162>
- Esposito, M., Tse, T., & Soufani, K. (2017). Is the Circular Economy a New Fast-Expanding Market? *Thunderbird International Business Review*, 59(1), 9–14. <https://doi.org/10.1002/tie.21764>
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning and Control*, 29(8), 633–644. <https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1424960>
- Feng Z (2004). *An introduction to the circular economy*. Beijing: People's Press,
- Fisher, O., Watson, N., Porcu, L., Bacon, D., Rigley, M., & Gomes, R. (2018). Cloud manufacturing as a sustainable process manufacturing route. *Journal of Manufacturing Systems*, 47, 53–68. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.03.005>
- Ford, P., & Fisher, J. (2019). Designing consumer electronic products for the circular economy using recycled Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS): A case study. *Journal of Cleaner Production*, 236, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.321>
- Fragapane, G., Ivanov, D., Peron, M., Sgarbossa, F., & Strandhagen, J. (2020). Increasing flexibility and productivity in Industry 4.0 production networks with autonomous mobile robots and smart intralogistics. *Annals of Operations Research*, 308(1–2), 125–143. <https://doi.org/10.1007/s10479-020-03526-7>
- Franco, M. (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>
- Gabriel, M., & Pessl, E. (2016). Industry 4.0 and Sustainability Impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. *International Journal of Engineering*, 14(2), 131-136. <http://annals.fih.upt.ro/pdf-full/2016/annals-2016-2-21.pdf> [Acesso em 01/12/2021].
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N., & Hultink, E. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Genovese, A., Acquaye, A., Figueroa, A., & Koh, S. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. *Omega (United Kingdom)*, 66, 344–357. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). 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>

Ghoreishi, M., & Happonen, A. (2019a, dezembro 18-20). *New Promises AI Brings into Circular Economy Accelerated Product Design: A Review on Supporting Literature* [Conference Session]. 7th International Conference on Environment Pollution and Prevention (ICEPP), Melbourne. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015806002>

Ghoreishi, M., & Happonen, A. (2019b, novembro 27). *Key enablers for deploying artificial intelligence for circular economy embracing sustainable product design: Three case studies* [Conference Session]. 13th International Engineering Research Conference, Indiana. <https://doi.org/10.1063/5.0001339>

Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0: The Industrial Internet of Things*. California: Apress.

Giusto, D., Iera, A., Morabito, G., & Atzori, L. (2010). *The internet of things: 20th Tyrrhenian workshop on digital communications*. London: Springer.  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1674-7>

Gligoric, N., Krco, S., Hakola, L., Vehmas, K., De, S., Moessner, K., Jansson, K., Polenz, I., & van Kranenburg, R. (2019). Smarttags: IoT product passport for circular economy based on printed sensors and unique item-level identifiers. *Sensors (Switzerland)*, 19(3), 1-26. <https://doi.org/10.3390/s19030586>

Govindan, K., & Hasanagic, M. (2018). A systematic review on drivers, barriers, and practices towards circular economy: a supply chain perspective. *International Journal of Production Research*, 56(1–2), 278–311.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1402141>

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1645–1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>

Guimarães, E., & Guimarães Júnior, D. (2021). Características das Tecnologias Digitais da Indústria 4.0 que têm apoiado a Economia Circular. *Research, Society and Development*, 10(16), 1–13. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.22912>

Gupta, S., Chen, H., Hazen, B., Kaur, S., & Gonzalez, E. (2019). Circular economy and big data analytics: A stakeholder perspective. *Technological Forecasting & Social Change*, 144, 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.06.030>

Halinen, A., & Törnroos, J. (2005). Using case methods in the study of contemporary business networks. *Journal of Business Research*, 58(9), 1285–1297.  
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2004.02.001>

Hatzivasilis, G., Fysarakis, K., Soultatos, O., Askoxylakis, I., Papaefstathiou, I., & Demetriou, G. (2018). The Industrial Internet of Things as an enabler for a Circular Economy Hy-LP: A novel IIoT protocol, evaluated on a wind park's SDN/NFV-enabled 5G industrial network. *Computer Communications*, 119, 127–137.  
<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2018.02.007>

- Havle, C., & Üçler, C. (2018, 19-21). *Enablers for Industry 4.0* [Conference Session]. 2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies, Ancara. <https://doi.org/10.1109/ismsit.2018.8567293>
- Heng, S. (2014). Industry 4.0: Upgrading of Germany's industrial capabilities on the horizon. *Deutsche Bank Research Management*, 1-16. [https://www.dbresearch.com/prod/rps\\_en-prod/prod0000000000451959/industry\\_4\\_0:\\_upgrading\\_of\\_germany%c3%a2%e2%82%ac%e2%84%a2s\\_industrial\\_ca.pdf?undefined&reaload=vu/zxazryjpsvkcgbv8byo3c7heievafwohzzvhiafqybvdagggkbaazeqfvpmu](https://www.dbresearch.com/prod/rps_en-prod/prod0000000000451959/industry_4_0:_upgrading_of_germany%c3%a2%e2%82%ac%e2%84%a2s_industrial_ca.pdf?undefined&reaload=vu/zxazryjpsvkcgbv8byo3c7heievafwohzzvhiafqybvdagggkbaazeqfvpmu) [Acesso em 28/12/2021].
- Herriott, R., & Firestone, W. (1983). Multisite Qualitative Policy Research: Optimizing Description and Generalizability. *Educational Researcher*, 12(2), 14–19. <https://doi.org/10.3102/0013189X012002014>
- Hina, M., Chauhan, C., Kaur, P., Kraus, S., & Dhir, A. (2022). Drivers and barriers of circular economy business models: Where we are now, and where we are heading. *Journal of Cleaner Production*, 333, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130049>
- Hofmann, E., & Rüsç, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Hozdić, E. (2015). Smart Factory for Industry 4.0: A Review. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 7(1), 28-35. [https://www.ijmmt.ro/vol7no12015/Hozdic\\_Elvis.pdf](https://www.ijmmt.ro/vol7no12015/Hozdic_Elvis.pdf) [Acesso em 20/12/2021].
- Ibarra, D., López, J., & Ganzarain, J. (2017, outubro 5-6). *Business model innovation through Industry 4.0* [Conference Session]. 11th International Conference Interdisciplinarity in Engineering, Romania. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.002>
- Ingemarsdotter, E., Jamsin, E., & Balkenende, R. (2020). Opportunities and challenges in IoT-enabled circular business model implementation – A case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 162, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105047>
- Jabbour, A., Jabbour, C., Filho, M., & Roubaud, D. (2018). Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations. *Annals of Operations Research*, 270(1–2), 273–286. <https://doi.org/10.1007/s10479-018-2772-8>
- Jeschke, S., Brecher, C., Meisen, T., Özdemir, D., Eschert, T. (2017). Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems. In S. Jeschke., C. Brecher., H. Song., D. Rawat (Eds.), *Industrial Internet of Things. Springer Series in Wireless Technology* (pp. 3-19). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-42559-7\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-42559-7_1)

- J.F. Almeida. (2022a). <https://www.jfa.pt/pt/> [Acesso em 01/05/2022].
- J.F. Almeida. (2022b). *Our Sustainable Way*. <https://www.jfa.pt/pt/noticias/our-sustainable-way/> [Acesso em 22/05/2022].
- João, D. (2018). *Economia Circular: caso IKEA* [Master's thesis, Universidade de Lisboa]. Repositório da Universidade de Lisboa. <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/17455> [Acesso em 15/02/2022].
- Jornal de Guimarães (2022). *Em 2021, volume de negócios da JF Almeida cresceu até aos 52 milhões*. <https://jornaldeguimaraes.pt/noticias/em-2021-volume-de-negocios-da-jf-almeida-cresceu-ate-aos-52-milhoes/> [Acesso em 25/05/2022].
- Jornal de Negócios. (2018). *Aposta tecnológica da Têxteis J.F. Almeida*. <https://www.jornaldenegocios.pt/negocios-iniciativas/plataforma-empresarial/detalhe/aposta-tecnologica-da-texteis-jf-almeida> [Acesso em 25/05/2022].
- Kagermann, H., Lukas W., & Wahlster W. (2011). Industrie 4.0: Mit dem Internet der Dinge auf dem Weg zur 4. industriellen Revolution. *VDI nachrichten*, 13.
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbing, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Final report of the Industrie 4.0. *National Academy for Science and Engineering*, 1-82. <https://en.acatech.de/publication/recommendations-for-implementing-the-strategic-initiative-industrie-4-0-final-report-of-the-industrie-4-0-working-group/> [Acesso em 28/12/2021].
- Kerdlap, P., Low, J. S. C., & Ramakrishna, S. (2019). Zero waste manufacturing: A framework and review of technology, research, and implementation barriers for enabling a circular economy transition in Singapore. *Resources, Conservation and Recycling*, 151, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104438>
- Kerin, M., & Pham, D. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 237, 1-40. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117805>
- Kiel, D., Arnold, C., & Voigt, K. (2017). The influence of the Industrial Internet of Things on business models of established manufacturing companies – A business level perspective. *Technovation*, 68, 4–19. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2017.09.003>
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Klug, D., Rodrigues B., Soares A., & Martins, A. (2021). Existem relações benéficas entre as tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0 e os princípios da Economia Circular? *Revista Prociências*, 4(1), 1-17.

<https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/prociencias/article/view/21369>  
[Acesso em 06/12/2021].

- Kumar, S., Suhaib, M., & Asjad, M. (2020). Industry 4.0: Complex, disruptive, but inevitable. *Management and Production Engineering Review*, 11(1), 43–51. <https://doi.org/10.24425/mper.2020.132942>
- LaValle, S., Lesser, E., Shockley, R., Hopkins, M., & Kruschwitz, N. (2011). Big Data, Analytics and the Path From Insights to Value. *MIT Sloan Management Review*, 52(2), 1–13. <https://tarjomefa.com/wp-content/uploads/2017/08/7446-English-TarjomeFa.pdf> [Acesso em 14/02/2022].
- Leitão, A. (2015). Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI. *Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting*, 1(2), 149-171. [https://ciencia.ucp.pt/ws/files/39919898/114\\_613\\_2\\_pb.pdf](https://ciencia.ucp.pt/ws/files/39919898/114_613_2_pb.pdf) [Acesso em 01/12/2021].
- León, O., & Bermúdez, M. (2021). Barriers and driving forces for the implementation of Industry 4.0 in organizations: a state of the art. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11(3), 451-466. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n3.2021.13343>
- Lett, L. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Rivista Argentina de Microbiologia* 46(1), 1-2. <https://www.redalyc.org/pdf/2130/213030865001.pdf> [Acesso em 04/03/2022].
- Li, J., Tao, F., Cheng, Y., & Zhao, L. (2015). Big Data in product lifecycle management. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 81(1–4), 667–684. <https://doi.org/10.1007/s00170-015-7151-x>
- Li, F., Nucciarelli, A., Roden, S., & Graham, G. (2016). How smart cities transform operations models: A new research agenda for operations management in the digital economy. *Production Planning and Control*, 27(6), 514–528. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1147096>
- 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>
- Lin, K. (2018). User experience-based product design for smart production to empower industry 4.0 in the glass recycling circular economy. *Computers and Industrial Engineering*, 125, 729–738. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.06.023>
- Linder, M., & Williander, M. (2017). Circular Business Model Innovation: Inherent Uncertainties. *Business Strategy and the Environment*, 26(2), 182–196. <https://doi.org/10.1002/bse.1906>
- Liu, Y., & Bai, Y. (2014). An exploration of firms’ awareness and behavior of developing circular economy: An empirical research in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 87, 145-152. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.04.002>

- Liu, J., Jang, S., & Wong, D. (2016). Developing a Soft Sensor with Online Variable Selection for Industrial Multi-mode Processes. In Z. Kravanja & M. Bogataj (Eds.), *Computer Aided Chemical Engineering* (pp. 398-403). Science Direct. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63428-3.50071-0>
- Löhle, S., & A. Urban. (2011), Der Beitrag der RFID - Technologie für eine innovative Kreislaufwirtschaft. *Brandschutz Arbeitssicherheit Jahrbuch Seiten*, 136–141.
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Luttrupp, C., & Johansson, J. (2010). Improved recycling with life cycle information tagged to the product. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 346–354. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.10.023>
- Machado, E., Scavarda, L., Caiado, R., & Thomé, A. (2021). Barriers and Enablers for the Integration of Industry 4.0 and Sustainability in Supply Chains of MSMEs. *Sustainability (Switzerland)*, 13(21), 1–31. <https://doi.org/10.3390/su132111664>
- Masi, D., Day, S., & Godsell, J. (2017). Supply chain configurations in the circular economy: A systematic literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 9(9), 1-22. <https://doi.org/10.3390/su9091602>
- Mavropoulos, A. (2015). Wasted Health: the tragic case of dumpsites. *International Solid Waste Association*, 1-40. <https://www.iswa.org/blog/wasted-health-the-tragic-case-of-dumpsites/?v=35357b9c8fe4> [Acesso em 28/12/2021].
- Maxwell, J. (2013). *Qualitative Research Design: An Interactive Approach*. (3rd ed.). USA: Sage Publications.
- Mboli, J., Thakker, D., & Mishra, L. (2022). An Internet of Things-enabled decision support system for circular economy business model. *Software – Practice and Experience*, 52(3), 772-787. <https://doi.org/10.1002/spe.2825>
- Miles, M., & Huberman, A. (1984). Drawing Valid Meaning from Qualitative Data: Toward a Shared Craft. *American Educational Researcher Association*, 13(5), 20–30. <https://doi.org/10.2307/1174243>
- Mogos, M., Eleftheriadis, R., & Myklebust, O. (2019, junho 12-14). *Enablers and inhibitors of industry 4.0: Results from a survey of industrial companies in Norway* [Conference Session]. 52nd CIRP Conference on Manufacturing Systems, Slovenia. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.166>
- Müller, J., & Voigt, K. (2017, maio 14-18). *Industry 4.0-Integration strategies for SMEs* [Conference Session]. International Association for Management of Technology (IAMOT), Vienna. <https://www.researchgate.net/publication/317070483> [Acesso em 21/02/2022].

- Müller, J., & Arnold, C. (2017). Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, 21(8), 1-22. <https://doi.org/10.1142/S1363919617400151>
- Müller, J., Kiel, D., & Voigt, K. (2018). What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 10(1), 1-24. <https://doi.org/10.3390/su10010247>
- Nasiri, M., Tura, N., & Ojanen, V. (2017, julho 9-13). *Developing disruptive innovations for sustainability: A review on Impact of Internet of Things (IOT)* [Conference Session]. International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET), Portland. <https://doi.org/10.23919/picmet.2017.8125369>
- Naudé, M. (2011). Sustainable Development in companies: theoretical dream or implementable reality? *Corporate Ownership & Control*, 8(4), 1-13. <http://www.virtusinterpress.org/img/pdf/10-22495cocv8i4c3art4.pdf> [Acesso em 01/03/2022].
- Nobre, G., & Tavares, E. (2017). Scientific literature analysis on big data and internet of things applications on circular economy: a bibliometric study. *Scientometrics*, 111(1), 463–492. <https://doi.org/10.1007/s11192-017-2281-6>
- Nobre, G., & Tavares, E. (2020a). Assessing the role of big data and the internet of things on the transition to circular economy: Part I An extension of the ReSOLVE framework proposal through a literature review. *Johnson Matthey Technology Review*, 64(1), 19–31. <https://doi.org/10.1595/205651319x15643932870488>
- Nobre, G., & Tavares, E. (2020b). Assessing the role of big data and the internet of things on the transition to circular economy: Part II An extension of the ReSOLVE framework proposal through a literature review. *Johnson Matthey Technology Review*, 64(1), 32–41. <https://doi.org/10.1595/205651319x15650189172931>
- Pagoropoulos, A., Pigosso, D., & McAloone, T. (2017, junho 19-21). *The Emergent Role of Digital Technologies in the Circular Economy: A Review* [Conference Session]. The 9th CIRP IPSS Conference - Circular Perspectives on Product/Service-Systems, Denmark. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.047>
- Pham, T., Kuo, T., Tseng, M., Tan, R., Tan, K., Ika, D., & Lin, C. (2019). Industry 4.0 to accelerate the circular economy: A case study of electric scooter sharing. *Sustainability (Switzerland)*, 11(23), 1-16. <https://doi.org/10.3390/su11236661>
- Patil, P., & Shelake. (2021). Application of RFID Technology to Improve Material Management on Construction Sites. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 8(2), 1000-1003. <https://www.irjet.net/archives/v8/i2/irjet-v8i2173.pdf> [Acesso em 13/06/2022].
- Patton, M. (2002). *Qualitative Research & Evaluation Methods*. (3rd ed.) London: Sage Publications.

- Pearce, D., & Turner, R. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. (1st ed.) Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Perales, D., Valero, F., & García, A. (2018). Industry 4.0: A Classification Scheme. In E. Viles, M. Ormazábal, & A. Lleó (Eds.), *Closing the Gap Between Practice and Research in Industrial Engineering* (pp. 343–350). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-58409-6\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-319-58409-6_38)
- Pereira, G., Motta, M. (2020). *Indústria 4.0 e Economia Circular: uma transformação digital e sustentável na engenharia, com aplicação no setor de alimentos e bebida* [Bachelor's thesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/12459/1/GSPereira.pdf> [Acesso em 11/02/2022].
- Portugal 2020. (2022). <https://portugal2020.pt/> [Acesso em 01/06/2022].
- Portugal Têxtis. (2022). <https://www.portugaltexil.com/a-nossa-meta-e-conseguir-reaproveitar-entre-60-e-70-da-agua/> [Acesso em 24/05/2022].
- Preston, F. (2012). A Global Redesign? Shaping the Circular Economy. [www.mckinseyquarterly.com/The\\_second\\_economy\\_2853](http://www.mckinseyquarterly.com/The_second_economy_2853) [Acesso em 21/02/2022].
- Rajput, S., & Singh, S. (2019a). Industry 4.0 – challenges to implement circular economy. *Benchmarking*, 28(5), 1717–1739. <https://doi.org/10.1108/BIJ-12-2018-0430>
- Rajput, S., & Singh, S. (2019b). Connecting circular economy and industry 4.0. *International Journal of Information Management*, 49, 98–113. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.03.002>
- Ranta, V., Stenroos, L., & Väisänen, J. (2021). Digital technologies catalyzing business model innovation for circular economy—Multiple case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105155>
- Ras, E., Wild, F., Stahl, C., & Baudet, A. (2017, 21-23 junho). *Bridging the Skills Gap of Workers in Industry 4.0 by Human Performance Augmentation Tools – Challenges and Roadmap* [Conference Session]. 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, Greece. <https://doi.org/10.1145/3056540.3076192>
- Recuperar Portugal. (2022). <https://recuperarportugal.gov.pt/> [Acesso em 06/09/2022].
- Rejeb, A., Suhaiza, Z., Rejeb, K., Seuring, S., & Treiblmaier, H. (2022). The Internet of Things and the circular economy: A systematic literature review and research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 350, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131439>
- Reuter, M. (2016). Digitalizing the Circular Economy: Circular Economy Engineering Defined by the Metallurgical Internet of Things. *Metallurgical and Materials*



*Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 47(6), 3194–3220. <https://doi.org/10.1007/s11663-016-0735-5>

Revista Spot. (2021). *João Almeida, CEO da têxteis JF Almeida: a têxtil que se tornou símbolo de sustentabilidade ambiental*. <https://revistaspot.pt/index.php/2021/07/14/entrevista-joao-almeida-ceo-da-texteis-jf-almeida-textil-tornou-simbolo-sustentabilidade-ambiental/> [Acesso em 22/05/2022].

Rocca, R., Rosa, P., Sassanelli, C., Fumagalli, L., & Terzi, S. (2020). Integrating virtual reality and digital twin in circular economy practices: A laboratory application case. *Sustainability (Switzerland)*, 12(6), 1-27. <https://doi.org/10.3390/su12062286>

Rojko, A. (2017). Industry 4.0 concept: Background and overview. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 11(5), 77–90. <https://doi.org/10.3991/ijim.v11i5.7072>

Romero, C., Castro, D., Ortiz, J., Khalaf, O., & Vargas, M. (2021). Synergy between circular economy and industry 4.0: A literature review. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8), 1-18. <https://doi.org/10.3390/su13084331>

Rosa, P., Sassanelli, C., Urbinati, A., Chiaroni, D., & Terzi, S. (2020). Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1662–1687. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1680896>

Rüßmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. *Boston Consulting Group*, 9(1), 54-89. [https://www.bcg.com/publications/2015/engineered\\_products\\_project\\_business\\_industry\\_4\\_future\\_productivity\\_growth\\_manufacturing\\_industries](https://www.bcg.com/publications/2015/engineered_products_project_business_industry_4_future_productivity_growth_manufacturing_industries) [Acesso em 16/12/2021].

Saha, H., Auddy, S., Pal, S., Kumar, S., Pandey, S., Singh, R., Singh, A., Banerjee, S., Ghosh, D., & Saha, S. (2017, 16-18 agosto). *Waste management using Internet of Things (IoT)* [Conference Session]. 2017 8th Industrial Automation and Electromechanical Engineering Conference, Bangkok. <https://doi.org/10.1109/IEMECON.2017.8079623>

Santos, B., Alberto, A., Lima, T., & Santos, F. (2018). Indústria 4.0: Desafios e Oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, 4(1), 111-124. <http://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento> [Acesso em 07/03/2022].

SAP. (2022). *What is MES (manufacturing execution system)?* <https://www.sap.com/insights/what-is-mes-manufacturing-execution-system.html> [Acesso em 13/07/2022].

- Sarc, R., Curtis, A., Kandlbauer, L., Khodier, K., Lorber, K., & Pomberger, R. (2019). Digitalisation and intelligent robotics in value chain of circular economy oriented waste management – A review. *Waste Management*, 95, 476–492. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.06.035>
- Sarkis, J., & Zhu, Q. (2017). Environmental Sustainability and Production: Taking the Road Less Traveled. *International Journal of Production Research*, 1-31. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1365182>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2019). *Research Methods for Business Students* (8th ed.). New York: Pearson
- Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2015). Environmental sciences, sustainable development, and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, 17, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2015.09.002>
- Secil. (2020). *Relatório do Conselho de Administração*. <https://www.secil-group.com/pt/centro-de-documentacao> [Acesso em 18/06/2022].
- Secil. (2021). *Valorizar*. <https://www.secil-group.com/pt/centro-de-documentacao> [Acesso em 18/06/2022].
- Secil. (2022). <https://www.secil-group.com/pt/a-secil/quem-somos/a-cultura> [Acesso em 30/05/2022].
- Shen, M. (2007). *Recourse and environment economics*. Beijing: China Environmental Science Press.
- Silvestre, B., & Țîrcă, D. (2019). Innovations for sustainable development: Moving toward a sustainable future. *Journal of Cleaner Production*, 208, 325–332. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.244>
- Singh, J., & Ordoñez, I. (2015). Resource recovery from post-consumer waste: importante lessons for the upcoming circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 134, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.12.020>
- Spöttl, G., & Windelband, L. (2020). The 4th industrial revolution – its impact on vocational skills. *Jornal of Education and Work*, 34(1), 29-52. <https://doi.org/10.1080/13639080.2020.1858230>
- Sreedevi, S., & Salahudeen, R. (2021). Sustainability Route for Industry 4.0: The Future of Global Circular Economic Transition. In T. Zhang (Ed.), *Circular Economy – Recent Advances, New Perspectives and Applications*. (pp. 1-19). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.94884>
- Stahel, W. (2010). *The Performance Economy*. (2nd ed.). New York: Palgrave Macmillan.

- Stahel, W. (2016). Circular Economy. *Nature*, 531, 435-438. <https://www.nature.com/articles/531435a.pdf> [Acesso em 15/12/2021].
- Stock, T., & Seliger, G. (2016, setembro 16-18). *Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0* [Conference Session]. 13th Global Conference on Sustainable Manufacturing - Decoupling Growth from Resource Use, Vietnam. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013). 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>
- Svorobej, S., Endo, P., Bendeche, M., Filelis-Papadopoulos, C., Giannoutakis, K., Gravvanis, G., Tzovaras, D., Byrne, J., & Lynn, T. (2019). Simulating fog and edge computing scenarios: An overview and research challenges. *Future Internet*, 11(3), 1-15. <https://doi.org/10.3390/fi11030055>
- Tisch, M., Metternich, J., & Adolph, S. (2014, 25-28). *Challenges and approaches to competency development for future production* [Conference Session]. 13th International Conference, Bulgaria. [www.scientific-publications.net](http://www.scientific-publications.net) [Acesso em 21/02/2022].
- Toop, T., Ward, S., Oldfield, T., Hull, M., Kirby, M., & Theodorou, M. (2017, abril 19-20). *AgroCycle - Developing a circular economy in agriculture* [Conference Session]. 1st International Conference on Sustainable Energy and Resource Use in Food Chains (ICSEF), Berkshire. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.269>
- 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* 8(7), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su8070647>
- Wautelet, T. (2018). The Concept of Circular Economy: it's Origins and it's Evolution. <https://doi.org/10.13140/rg.2.2.17021.87523>
- Weelden, E., Mugge, R., & Bakker, C. (2015). Paving the way towards circular consumption: Exploring consumer acceptance of refurbished mobile phones in the Dutch market. *Journal of Cleaner Production*, 113(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.065>
- Williams, Z., Scully, P., & Lueth, K. (2017). *Predictive Maintenance*. [www.iot-analytics.com](http://www.iot-analytics.com) [Acesso em 09/10/2022].
- Wilts, H., & Berg, H. (2017). The Digital Circular Economy: Can the Digital Transformation Pave the Way for Resource-Efficient Materials Cycles? *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 7(5), 1–4. <https://doi.org/10.19080/ijesnr.2017.07.555725>.
- Wilts, H., Lah, O., & Galinski, L. (2018). The evolution of industry 4.0 and its impact on the knowledge base for the circular economy. In A. Venkatachalam & F. Kimura (Eds.), *Industry 4.0: Empowering ASEAN for Circular Economy* (pp. 106-126).

Jakarta.

[https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7207/file/7207\\_Wilts.pdf](https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7207/file/7207_Wilts.pdf)  
[Acesso em 06/12/2021].

Witkowski, K. (2017). Internet of Things, Big Data, Industry 4.0 - Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. *Procedia Engineering*, 182, 763–769. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.197>

Wu, J. (2005). *New circular economy*. Beijing: Tsinghua University Press.

Xu, L., Lu, Y., & Li, L. (2021). Embedding Blockchain Technology Into IoT for Security: A Survey. *Internet of Things Journal*, 8(13), 1-22. <https://doi.org/10.1109/jiot.2021.3060508>

Yin, R. (2009). *Case study research: Design and methods*. (4th ed.). Los Angeles: Sage.

Yin, R. (2015). *Qualitative research from start to finish*. (2nd ed.). New York: The Guilford Press.

Yin, R. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods*. (6th ed.). Thousand Oaks, CA: Sage.

Yang, S., & Feng, N. (2008). A case study of industrial symbiosis: Nanning Sugar Co., Ltd. in China. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(5), 813–820. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.11.008>

Yuan, Z., Bi, J., & Moriguichi, Y. (2006). The circular economy: A new development strategy in China. In *Journal of Industrial Ecology*, 10(1–2), 4-8. <https://doi.org/10.1162/108819806775545321>

Zhang, C., & Lu, Y. (2021). Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects. *Journal of Industrial Information Integration*, 23. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100224>

## ANEXOS

### ANEXO A – GUIÃO DE ENTREVISTA

O presente trabalho, desenvolvido no âmbito da dissertação de mestrado em Gestão e Estratégia Industrial, visa compreender, de forma prática, como é que as tecnologias da *Indústria 4.0* estão a contribuir para as práticas de *Economia Circular* nas indústrias em Portugal. Para além disso, procura identificar os facilitadores, as barreiras e os benefícios percebidos pelas empresas da utilização destas tecnologias. A duração da entrevista é de, sensivelmente, 30 minutos. Caso seja permitido, será efetuada a gravação da mesma, a fim de que a recolha dos dados seja o mais fiel à realidade.

1. Que tipo de tecnologias da *Indústria 4.0* é que a empresa atualmente utiliza (e.g., *big data analytics*, *robots*, *internet of things*, inteligência artificial, simulações, entre outras)?
2. Quais dessas tecnologias é que são compatíveis com o paradigma de *Economia Circular*? Porquê? Como?
3. Quais é que foram os fatores que facilitaram/permitiram a implementação dessas tecnologias na organização?
4. Quais é que foram as barreiras incorridas pela implementação destas tecnologias na organização?
5. Qual o valor (social/ambiental/económico-financeiro) já criado por estas tecnologias? Que evidências?