



Lisbon School
of Economics
& Management
Universidade de Lisboa

MESTRADO

GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

DISSERTAÇÃO

DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADA À GESTÃO DA
MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA VIDREIRA – O CASO DE
ESTUDO DA BA GLASS PORTUGAL, S.A.

HUGO MESTRE RODRIGUES

OUTUBRO DE 2022



Lisbon School
of Economics
& Management
Universidade de Lisboa

MESTRADO

GESTÃO E ESTRATÉGIA INDUSTRIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

DISSERTAÇÃO

DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADA À GESTÃO DA
MANUTENÇÃO NA INDÚSTRIA VIDREIRA – O CASO DE
ESTUDO DA BA GLASS PORTUGAL, S.A.

HUGO MESTRE RODRIGUES

ORIENTAÇÃO:

PROFESSOR DOUTOR RICARDO FIGUEIREDO BELCHIOR

OUTUBRO DE 2022

Resumo

As revoluções industriais geram mudanças extremamente impactantes nas economias. A introdução de novas tecnologias na sociedade, impulsiona a modificação dos modelos de negócio e permite o surgimento de novos paradigmas geradores de valor. A quarta revolução industrial, ou Indústria 4.0 (I4.0), garante diversos benefícios através de sistemas progressivamente mais inteligentes de interação homem-máquina. Com principal foco no setor industrial, a I4.0 gera, no entanto, desafios relevantes durante a implementação nos processos de fabrico, bem como nas estratégias de manutenção. Relativamente à implementação da I4.0 na gestão da manutenção, a literatura existente não permite compreender claramente estes desafios e como é que eles são ultrapassados na prática.

O presente trabalho procura clarificar quais são os desafios associados à implementação da I4.0 na manutenção e como estes são ultrapassados. Para tal, foi efetuado um estudo de caso na BA GLASS PORTUGAL, S.A., uma empresa do setor da indústria vidreira atualmente num processo de implementação de tecnologias da I4.0. Mais concretamente, analisaram-se os resultados de diversas entrevistas realizadas a colaboradores envolvidos com a integração destas tecnologias na gestão da manutenção.

Os resultados evidenciam, em larga medida, que os desafios percecionados relacionam-se com lacunas de comunicação, a resistência à mudança, lacunas de formação e falta de mão de obra qualificada, a falta de standardização, assim como o foco nos resultados de curto prazo, a falta de liderança e a falta de clareza na estratégia de implementação. Evidenciam ainda uma diversidade de soluções sobre como ultrapassar estes desafios que podem ser relevantes para melhorar a gestão de futuras implementações da I4.0 nas atividades de manutenção.

Este estudo contribuí para a literatura demonstrando evidências empíricas de um caso de estudo que realça os desafios concretos da implementação da I4.0 na manutenção e possíveis formas de os ultrapassar, assim como implicações para a gestão, dado que, facilita a definição de uma estratégia de implementação ao identificar e analisar de forma aprofundada os desafios da I4.0 na manutenção.

Palavras Chave: Indústria 4.0; Gestão da Manutenção; Desafios de Implementação; Internet of Things.

Abstract

Industrial revolutions generate extremely impactful changes in economies. The introduction of new technologies in society drives the modification of business models and allows the emergence of new value-creating paradigms. The fourth industrial revolution, or Industry 4.0 (I4.0), guarantees several benefits through progressively more intelligent human-machine interaction systems. Focusing on the industrial sector, I4.0 generates, however, relevant challenges during implementation in manufacturing processes as well as in maintenance strategies. Regarding the implementation of I4.0 in maintenance management, the existing literature does not allow a clear understanding of these challenges and how they are overcome in practice.

The present work seeks to clarify which are the challenges associated with the implementation of I4.0 in maintenance and how they are overcome. For this purpose, a case study was carried out at BA GLASS PORTUGAL, S.A., a company in the glass industry sector currently in the process of implementing I4.0 technologies. More specifically, the results of several interviews with employees involved in the integration of these technologies in maintenance management were analyzed.

The results show, to a large extent, that the perceived challenges are related to communication gaps, resistance to change, training gaps and lack of skilled labor, lack of standardization, as well as the focus on short-term results, lack of leadership and lack of clarity in the implementation strategy. They also highlight a diversity of solutions on how to overcome these challenges that may be relevant to improve the management of future implementations of I4.0 in maintenance activities.

This study contributes to the literature by demonstrating empirical evidence of a case study that highlights the concrete challenges of I4.0 implementation in maintenance and possible ways to overcome them, as well as implications for management, since it facilitates the definition of an implementation strategy by identifying and analyzing in depth the challenges of I4.0 in maintenance.

Keywords: Industry 4.0; Maintenance Management; Implementation Challenges; Internet of Things.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de dar um agradecimento especial ao Professor Doutor Ricardo Figueiredo Belchior pela disponibilidade e orientação excepcionais ao longo deste trabalho. A sua ajuda foi fundamental.

Agradeço, também, à minha família, companheira e amigos, por todo o carinho, motivação e gargalhadas que me deram, nos bons e maus momentos. Foi um apoio essencial e, sem vocês, certamente, não teria conseguido.

Gostaria também de agradecer à BA GLASS PORTUGAL S.A, pelo interesse e disponibilidade para me ajudarem. Contribuíram fortemente para o conteúdo desta dissertação, sem a qual, não haveria resultados.

Agradeço, ainda, a colaboração e compreensão do Eng. José Lopes Brás Ferreira durante estes últimos dois anos em que vivi a vida de um trabalhador estudante.

Por fim, um grande obrigado a mim mesmo por ter ultrapassado mais uma etapa árdua na vida.

Índice

Resumo	I
Abstract	II
Agradecimentos	III
Índice	IV
Lista de Tabelas.....	V
Glossário de Termos e Abreviaturas.....	V
1 Introdução	1
2 Revisão de Literatura	3
2.1 A Manutenção Industrial	3
2.2 Indústria 4.0	5
2.3 Implementação da Indústria 4.0.....	8
3 Metodologia.....	10
3.1 Método de Investigação	11
3.2 Recolha de Dados e Caracterização da Amostra	12
4 Análise e Discussão dos Resultados.....	13
4.1 O grupo BA Glass	13
4.2 Análise de Resultados	15
4.3 Implicações dos Resultados	34
5 Conclusões.....	35
6 Referências Bibliográficas	38
7 Anexos	45
Anexo A – Guião da Entrevista	45
Anexo B – Características dos Entrevistados.....	47
Anexo C – Resultados da Avaliação da Maturidade Digital	48
Anexo D – Resumo das Perceções Intra Hierárquicas	49

Lista de Tabelas

Tabela I. Caracterização da amostra	13
Tabela II. Desafios identificados agrupados em dimensões	16

Glossário de Termos e Abreviaturas

I4.0 – Indústria 4.0

IoT – Internet of Things

BDA – Big Data Analytics

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

CPS – Cyber Physical Systems

IloT – Industrial Internet of Things

TI's – Tecnologias de informação

KPI – Key Performance Indicators

1 Introdução

A indústria das embalagens de vidro é essencialmente fornecedora de outras indústrias alimentares. Em Portugal existe uma forte competência nesta indústria representada particularmente pelo cluster industrial da Marinha Grande, que se destaca na produção e moldação de vidro de embalagem. Neste setor atuam 3 empresas que anualmente fabricam cerca de 1500 mil toneladas em 6 fábricas e empregam diretamente, cerca de 2000 pessoas (Associação dos Industriais de Vidro de Embalagem, 2022).

Esta indústria é caracterizada pelo baixo valor agregado e produção contínua de alto volume. Devido a este facto, formas de agregar valor a produtos de alto volume foram desenvolvidas para garantir a competitividade da indústria (Testa et al., 2017). A solução reside em aumentar a eficiência operacional, reduzindo as perdas de produção através da gestão da manutenção e melhoria da fiabilidade e disponibilidade dos equipamentos (Pombal et al., 2019).

A manutenção evoluiu tornando-se mais modernizada através das tecnologias da indústria 4.0 (I4.0), que trouxeram benefícios significativos. O termo I4.0 refere-se às tecnologias e princípios integrantes da quarta revolução industrial. Esta visa a integração dos equipamentos do processo de produção com software avançado, através de redes e tecnologias tais como a *Internet of Things* (IoT) e *Big Data Analytics* (BDA), orientadas para a previsão, controlo, manutenção e análise de dados (Bajic et al., 2021).

Apesar dos benefícios da implementação da I4.0, diversos estudos revelam que existem desafios que impactam a implementação desta nas organizações. Estes desafios podem estar relacionados com a gestão organizacional ou ser de natureza tecnológica devido à complexidade das interações e constrangimentos entre pessoas e máquinas (Bajic et al., 2021; Bakhtari et al., 2020; Dieste et al., 2022; Müller, 2019).

Contudo, não obstante, o reconhecido impacto significativo que esta área tem na performance das organizações industriais (Mosyurchak et al., 2017) pouca atenção tem sido dada aos desafios e benefícios da implementação da I4.0 na área

de gestão da manutenção. A literatura atual é constituída maioritariamente por estudos conceptuais, verificando-se uma insuficiência no conhecimento gerado por informação baseada em casos de aplicações reais. Deste modo, este trabalho tenciona contribuir para a literatura ao preencher esta lacuna de investigação através das seguintes questões de investigação:

1. Quais os principais desafios associados à implementação da I4.0 na gestão da manutenção?
2. Como é que se observam estes desafios e como são ultrapassados?

Este estudo contribuí tanto para a literatura, adicionando evidência empírica sobre o tema, como para a gestão, dado que, pode ter implicações na definição de uma estratégia de implementação ao identificar e analisar de forma aprofundada os desafios da I4.0 na manutenção. Para tal, a metodologia utilizada será a análise de conteúdos de dados qualitativos, através de um caso de estudo de uma empresa na indústria vidreira. A empresa escolhida constitui uma oportunidade única uma vez que se encontra numa fase de implementação inicial, onde são observados o maior número de desafios durante a implementação e como já iniciou a implementação em 2019, a empresa revela a oportunidade de já ter uma boa perceção sobre os desafios e como estes podem ser ultrapassados. Com a realização deste trabalho espera-se clarificar os principais desafios e como estes se relacionam, de modo que, as empresas sejam capazes de os compreender e constituir estratégias para implementar a I4.0 mais facilmente.

Relativamente à organização desta dissertação, esta apresenta-se estruturada em cinco capítulos. Após este primeiro capítulo introdutório, o segundo capítulo consiste na revisão de literatura, através de um enquadramento teórico dos conceitos mais relevantes. O terceiro capítulo apresenta a metodologia adotada e respetivas justificações. O quarto capítulo consiste na apresentação do caso de estudo e análise dos resultados. Finalmente, o quinto capítulo descreve as principais conclusões, recomendações e limitações deste estudo.

2 Revisão de Literatura

2.1 A Manutenção Industrial

A manutenção, de acordo com a Norma Europeia EN 13306: 2017 “é a combinação de todos os aspetos técnicos, administrativos e ações de gestão durante o ciclo de vida de um item pretendido para retê-lo ou restaurá-lo para um estado no qual ele possa realizar a função necessária” (p.8). Historicamente, os processos de manutenção eram apenas executados quando estritamente necessário, no caso de avarias de equipamentos ou interrupções esporádicas. A gestão da manutenção foi considerada dispensável na gestão de uma empresa.

Aconteceu deste modo porque de acordo com Antosz et al. (2019), o problema foi limitado às funções específicas da manutenção que são normalmente usadas em situações de emergência, como por exemplo, em avarias de máquinas. Atualmente, esta prática não é mais aceitável porque a importância da manutenção tem vindo a ser reconhecida como uma estratégia geradora de valor para as empresas. Nas últimas décadas, através de estudos sobre a manutenção e desenvolvimento de tecnologias, torna-se claro, que a eficiência do processo e a produtividade poderia ser melhorada com a otimização da manutenção (Reis & Campos, 2020).

Sezer et al. (2018) reforçaram esta ideia, de que a manutenção se tornou um elemento-chave e que começou a ser percecionada mais como uma estratégia de longo prazo, ao invés de uma visão limitada a nível operacional e técnico, que inevitavelmente apenas representa um custo acrescido. Os autores referem ainda que o principal objetivo da engenharia de manutenção é fornecer altos níveis de eficiência e fiabilidade dos equipamentos, para responder às necessidades e objetivos de produção. Devido à mudança destas necessidades, mas também devido ao observável aumento da digitalização e automação, bem como a sofisticação dos equipamentos, os requisitos da gestão da manutenção e dos próprios técnicos transformaram-se consideravelmente nos últimos anos (Passath & Mertens, 2019).

Estas novas tecnologias alteraram as estratégias de manutenção tradicionais de modo a gerar maior valor, isto porque o seu custo total devido também ao aumento do investimento tecnológico e complexidade dos equipamentos constitui uma parte

significativa dos custos operacionais. Existem diversas estratégias de gestão da manutenção com critérios e formas de intervir distintas, designadas por “tipos de manutenção” (Amaral, 2016). Não existe uma unanimidade entre os autores quanto aos termos utilizados para designar os tipos de manutenção existentes, existindo maiores ou menores subdivisões consoante a norma e o autor em questão. Aqui, adotou-se a categorização dos tipos de manutenção baseada na norma europeia EN 13306 (European Standard EN 13306, 2018), complementado com diversas fontes bibliográficas (Chanter & Swallow, 2007; Dzulkipli et al., 2021; Ferreira et al., 2021; Pinto, 2013).

De acordo com os autores, as estratégias de manutenção estão subdivididas em duas categorias principais: a manutenção planeada (proativa) e a manutenção não-planeada (reativa). Entende-se por manutenção planeada a manutenção preventiva ou corretiva que é organizada, controlada através de um plano pré-determinado e ocorre antes de a avaria acontecer. A manutenção preventiva pode ser descrita como um conjunto de tarefas pré-definidas baseadas numa periodicidade (sistemática) ou baseada na condição do equipamento com recurso a sensores, que adiam ou atenuam o declínio do equipamento ou de um constituinte, com o objetivo de preservar ou prolongar a sua funcionalidade (Longo et al., 2017). A manutenção baseada na condição possibilita detetar a falha antecipadamente, no entanto, a manutenção preditiva consegue através de softwares de análise de dados, prever quando esta falha irá ocorrer, permitindo assim, efetuar uma intervenção corretiva planeada antes da degradação do equipamento. Segundo as intervenções passam a ser programadas com base na estimativa da potencial avaria. A reforçar esta noção, Sahli et al. (2021) referem que a manutenção preditiva é bastante diferente da preventiva sistemática, uma vez que deteta necessidades de manutenção em tempo real, ao invés de uma periodicidade pré-definida em que a falha pode ocorrer antes ou após a inspeção periódica.

Alternativamente, a manutenção não-planeada é uma manutenção corretiva executada após o reconhecimento da falha e pretende-se restituir o equipamento para um nível de funcionamento normal. Segundo Ferreira et al. (2021), a abordagem

corretiva deve ser sempre evitada, dado que, engloba riscos para os proprietários e utilizadores, e por vezes o trabalho necessário para corrigir uma dada anomalia em condições de falha, resulta na não investigação das causas.

As estratégias baseadas na condição ou preditivas utilizam sistemas integrados de gestão do *Supervisory Control and Data Acquisition* (SCADA) para alertas e recolha de dados. Segundo os autores Shahzad et al. (2014) e Yadav & Paul (2021), a arquitetura de um sistema SCADA consiste na interligação entre os componentes eletrónicos (sensores e atuadores) e os programas de software (interface homem-máquina, histórico e outros auxiliares). O SCADA evoluiu a partir de uma arquitetura local e monolítica para uma arquitetura em rede mais recente, baseada na *IoT*. Deste modo, a recolha e controlo dos dados passou a realizar-se através de protocolos de comunicação standardizados, (mesmo entre dispositivos heterogéneos) resultando na diminuição da dependência de fornecedores especializados e reduzindo os custos associados. Com a evolução da Indústria 4.0, e mais especificamente da *IoT*, os sistemas SCADA modernos passaram a incluir novas tecnologias que melhoraram significativamente a interoperabilidade e facilitaram a gestão da manutenção.

2.2 Indústria 4.0

O termo “Quarta Revolução Industrial” ou Indústria 4.0 (I4.0) foi introduzido pela primeira vez na Alemanha em 2011. A indústria 4.0 é um conceito interdisciplinar amplo e complexo, constituído por paradigmas, campos de ação e tecnologias. Deste modo, a definição varia consoante o ponto de vista do investigador e do campo de investigação. Neste estudo utiliza-se a perspetiva de Sanders et al. (2016), que definem a I4.0 como a aplicação dos princípios dos sistemas ciberfísicos (*CPS*), de internet, de tecnologias orientadas para o futuro e sistemas inteligentes com paradigmas de interação homem-máquina aperfeiçoados. Os princípios da I4.0 são a interoperabilidade, virtualização, descentralização da decisão, processamento em tempo real, orientação de serviços e modularidade (Shafiq et al., 2015, 2016). As tecnologias mais relevantes são os sistemas *CPS* e a *IoT*, ou, quando se refere ao ambiente industrial, a Internet Industrial das Coisas (*IIoT*). Os sistemas *CPS* são capazes de conectar diferentes equipamentos e sistemas do chão de fábrica ao

espaço cibernético (Jeschke et al., 2017), enquanto a *IIoT* trata da dificuldade de conectar estes equipamentos e sistemas possibilitando a partilha de informação e a integração dos sistemas de gestão de uma empresa (Gilchrist, 2016; Lee et al., 2015). A maioria destas tecnologias não são inovações recentes, porém segundo Bordeleau et al. (2018), é a combinação intrínseca destas tecnologias, processos empresariais e processamento de dados que torna a I4.0 uma novidade.

De modo a mensurar a mudança em curso nos modelos de negócio com rumo à transformação digital, a literatura estabelece o conceito de maturidade digital (Remané et al., 2017). Segundo o autor, o conceito de maturidade digital refere-se ao grau de conclusão ou perfeição de uma transformação digital desejada aplicada a uma organização. Os modelos de maturidade são, portanto, um instrumento para medir o progresso desta transformação, através de níveis discretos de maturidade. Além disso, os diferentes níveis refletem a adaptabilidade da organização para competir eficazmente num ambiente cada vez mais digital (Kane et al., 2017).

Estes novos paradigmas digitais permitem o funcionamento de modelos de fabrico autónomos, capazes de funcionar num ambiente de decisão descentralizado com o mínimo de interferência humana e de forma colaborativa ao longo das fases do processo de produção e da cadeia de abastecimento (Castelo-Branco et al., 2019). Deste modo, a I4.0 visa tornar os processos de fabrico e atividades de manutenção mais eficientes e conectados, com um nível de automatização elevado (Thames & Schaefer, 2016). A integração da I4.0 na gestão da manutenção permite transpor de uma estratégia de manutenção periódica para estratégias de manutenção preditivas e proactivas, gerando benefícios económicos e técnicos (Mosyurchak et al., 2017). Por exemplo, de acordo com Silvestri et al. (2020) a análise de dados e simulações integradas numa estratégia de manutenção podem melhorar o planeamento e a previsão de falhas típicas do ciclo de vida de um equipamento, enquanto a realidade aumentada melhora a orientação do técnico durante o diagnóstico e inspeção. Outro exemplo, é a monitorização mais eficiente das condições de operação através da *IoT*, mitigando o desperdício de recursos e permitindo decisões mais assertivas (Mourtzis & Vlachou, 2018; Zheng et al., 2020). A combinação destes métodos, ferramentas e

sistemas de manutenção impulsionados pela I4.0 têm sido geralmente referidos como “Manutenção 4.0”, e os técnicos de manutenção como “Operadores 4.0” (Al-Najjar et al., 2018; Klathae & Ruangchoengchum, 2019).

Estas estratégias de manutenção atualizadas levam conseqüentemente a alterações relevantes quanto à gestão do processo de fabrico e estratégias de manutenção (Bona et al., 2021). Relativamente à componente humana, de acordo com uma revisão sistemática da literatura entre 2015 e 2019, Silvestri et al. (2020), constata que o papel do operador 4.0 tem vindo a ser remodelado, passando a consistir principalmente na supervisão da produção automatizada através de sistemas evoluídos de monitorização e interfaces de utilizador; Durante a intervenção o operador passa a ter disponível vídeos ou informações instrutivas através de dispositivos inteligentes e pode partilhar em tempo real as suas constatações e experiência, contribuindo para o desenvolvimento de atividades de manutenção eficientes e seguras, com a oportunidade de melhoria contínua. Wittenberg (2016) reforça esta ideia, constatando que as interfaces tradicionais para a gestão da informação já não são adequadas, devido ao aumento considerável de dados em ambiente I4.0. De facto, um inquérito realizado pelo autor, demonstra que a maioria dos técnicos de manutenção afirmaram que os dispositivos móveis reduzem a incerteza nas ações a serem tomadas devido à informação estar sempre disponível.

Considerando estas mudanças no papel do operador de manutenção, Silvestri et al. (2020) sugerem que o contexto da I4.0 revela conseqüências importantes e controversas não só de um ponto de vista tecnológico, mas também de um ponto de vista social. Por um lado, é necessário repensar a formação do operador de modo a ter os conhecimentos necessários para uso da tecnologia, por outro, existe a necessidade de salvaguardar os operadores mais antigos, habituados a operar de uma forma tradicional, devido ao seu *know-how*. Deste modo, é necessário que a transição para o uso das novas tecnologias seja gradual e permita aos operadores tempo para se adaptarem a ferramentas novas. Isto torna-se ainda mais evidente quando relacionamos o envelhecimento da mão-de-obra a que assistimos nos últimos tempos, uma vez que os trabalhadores mais antigos estão normalmente mais

relutantes em mudar e em utilizar novas tecnologias (Katirae et al., 2019). Todas estas variáveis tecnológicas e sociais acabam por revelar desafios a ter em conta durante a implementação da I4.0.

2.3 Implementação da Indústria 4.0

A implementação da I4.0 envolve a introdução de novos métodos, estruturas e infraestruturas organizacionais, alterações de processos, tecnologias, recursos humanos e práticas de gestão, o que consequentemente gera desafios. Em primeiro lugar, o espectro de aplicação amplo da I4.0 e os seus limites indefinidos constituem, desde já, um desafio em si e contribuem para a criação de tensões durante a implementação (Culot et al., 2020; Trotta & Garengo, 2018). Em segundo lugar, a implementação da I4.0 requer importantes mudanças organizacionais (por exemplo, novas competências, conhecimentos, experiência) e investimentos avultados, que conduzem a tensões, que necessitam de ser geridas adequadamente pelos gestores e pessoal da empresa (Müller, 2019). Estes desafios vão para além dos mais investigados que focam apenas o domínio tecnológico e não compreendem os aspetos de gestão e organização das empresas. A literatura salienta ainda o existente paradoxo de compromisso entre assegurar o sucesso presente e construir as capacidades I4.0 para o futuro (Kamble et al., 2018), o que limita a realização dos potenciais benefícios até que um ambiente adequado tenha sido estabelecido. Por último, segundo Dieste et al. (2022) a aplicação da I4.0 pode ser muito específica em cada indústria devido, por exemplo, à natureza dos bens produzidos, estrutura organizacional, processos e outros. Estas três considerações demonstram a dificuldade de desenvolvimento de *frameworks* de implementação da I4.0 que contemplem todas estas perspetivas.

Embora o conceito de I4.0 esteja na ribalta e seja amplamente estudado, as evidências da implementação da I4.0 na prática são escassas, e por isso, a literatura académica tende a concentrar-se no conceito teórico e a fornecer pouca evidência empírica da sua implementação prática (Bajic et al., 2021). Devido ao elevado investimento e às mudanças organizacionais necessárias, autores como Davies et al. (2017) e Kamble et al. (2018), sublinham a importância das condições de

enquadramento socioeconómico para a implementação bem sucedida da I4.0. O sucesso desta implementação, depende também da vontade da gestão de topo em apoiar a mudança, uma vez que, segundo Dieste et al. (2022), uma das condicionantes é a fraca compreensão e consciência dos benefícios operacionais que as tecnologias I4.0 ajuntam e da sua importância estratégica. Do mesmo modo, os esforços para mudar a organização podem ser limitados devido à falta de clareza dos benefícios económicos em implementar as tecnologias I4.0.

Relativamente à estrutura e cultura organizacional, a I4.0 requer uma cultura adaptável e uma mentalidade organizacional flexível (Mittal et al., 2018). Adicionalmente, de acordo com Davies et al. (2017) é aparente que *stakeholders* de todos os níveis terão de mudar a sua abordagem de trabalho. A gestão hierarquizada convencional será cada vez menos uma estrutura de controlo e tornar-se-á um fluxo de conhecimento partilhado. Estudos, tais como de Jones et al. (2021), corroboram esta afirmação e salientam que os esforços de mudança organizacional, tais como a transformação digital, não devem apenas cingir-se à tensão entre sistemas físicos e digitais, mas também devem ter em conta a tensão entre as mentalidades já incorporadas na cultura da organização, que podem ser contra a mudança. Por exemplo, Müller (2019) refere vários desafios sociais como a perda de empregos, a falta de formação e competências, bem como a resistência dos trabalhadores e a inflexibilidade das estruturas organizacionais tradicionais. O autor, que estudou a I4.0 de uma perspetiva operacional, concluiu ainda que o *know-how* e as competências necessárias para a implementação da I4.0 devem ser criadas na própria empresa. Isto é algo que só pode ser conseguido através de formação intensiva. Esta afirmação adquire robustez pelo facto de vários estudos sugerirem um défice de competências I4.0 no mercado de trabalho (Chauhan et al., 2021; Kumar et al., 2020) e a aplicação da I4.0 ser muito específica em cada indústria (Dieste et al., 2022).

Outro estudo investigou em detalhe os desafios relacionados com os recursos humanos. Os principais desafios identificados foram a falta de competências técnicas adequadas, a falta de sensibilização, aceitação da mudança, restrições orçamentais e desafios demográficos (James et al., 2022). Já Jasiulewicz-Kaczmarek et al. (2022),

observaram as barreiras à implementação da I4.0 de uma perspetiva de gestão manutenção através de uma revisão extensa da literatura disponível. Os autores identificaram 22 barreiras à implementação da I4.0 na manutenção. Estas barreiras foram posteriormente validadas por investigadores experientes quanto à sua representatividade para a manutenção. Finalmente destas 22 barreiras, 9 foram identificadas como as barreiras mais representativas, sendo estas: falta de *roadmap* estratégico claro para a implementação da I4.0 na manutenção; Falta de cooperação entre a manutenção e outros departamentos; Falta de compromisso da gestão de topo: falta de mão de obra qualificada; Falta de programas de formação para melhoria das capacidades; Elevado investimento; Falta de clareza nos benefícios económicos; Dependência das máquinas e falta de infraestrutura física e digital básica para uma manutenção governada por dados.

De acordo com Mosyurchak et al. (2017), a gestão da manutenção é considerada um dos primeiros aspetos a ter em consideração num ambiente industrial 4.0, o que trará vantagens tanto técnicas como económicas, no entanto, existem poucos estudos de aplicações reais. Consequentemente, é identificada uma lacuna na literatura existente quanto a estudos empíricos relacionados com a implementação da I4.0 na manutenção, que analisem com minúcia os desafios e como estes são ultrapassados o que representa uma ausência de respostas às questões de investigação.

3 Metodologia

Nesta secção discute-se a abordagem utilizada para responder às questões de investigação, assim como os métodos de recolha e análise dos dados.

O objetivo deste estudo é clarificar empiricamente quais são os desafios associados à implementação da I4.0 na manutenção e como os ultrapassar. Para atingir este objetivo, a abordagem de investigação metodológica utilizada foi o estudo de caso. Esta abordagem entende-se como particularmente apropriada, uma vez que, poucos estudos abordaram em profundidade os desafios percebidos na prática, pelos intervenientes da implementação da I4.0 na manutenção.

Segundo Yin (2018), o estudo de caso é uma investigação empírica, de natureza qualitativa, que investiga profundamente um fenómeno atual dentro do seu próprio contexto real, especialmente se os limites entre o fenómeno e o contexto não forem claramente evidentes. O estudo procura ainda compreender, explorar ou descrever acontecimentos reais em contextos complexos, nos quais estão simultaneamente envolvidos diversos fatores.

Deste modo, a interação entre um fenómeno e o seu contexto compreende-se melhor a partir de um caso de estudo aprofundado. As questões de investigação do tipo “como?” ou “porquê?”, em que o investigador não tem controlo sobre os eventos comportamentais e o foco do estudo reside em fenómenos atuais num contexto de vida real, o método de investigação a escolher deve ser o estudo de caso (Yin, 2018).

Primeiramente foi efetuada uma extensa revisão de literatura sobre os desafios da implementação da I4.0, sempre que possível, com foco na gestão da manutenção. Seguidamente, os principais artigos para este estudo foram identificados, através da convergência de diferentes perspetivas da literatura. O que permitiu derivar uma *framework* para a síntese dos resultados. Em terceiro lugar, foi avaliada a maturidade I4.0 da empresa em estudo de modo a contextualizar os desafios percebidos. Em quarto e em quinto lugar, formularam-se as perguntas e definiu-se o formato das entrevistas e posteriormente, analisaram-se qualitativamente os conteúdos aí gerados. Por fim, em sexto e último lugar, discutiram-se os resultados, assim como, as principais conclusões, limitações e sugestões de investigação futura.

3.1 Método de Investigação

Como fonte primária de dados, foram realizadas entrevistas individuais semiestruturadas presencialmente e por videoconferência a elementos-chave estreitamente envolvidos ou responsáveis pelos projetos de implementação de I4.0. As entrevistas foram realizadas em três níveis hierárquicos: corporativo, supervisores fabris, e operadores fabris. O envolvimento dos principais elementos dos departamentos de manutenção (fábrica) e tecnologias de informação (corporativo), permite identificar, confrontar e complementar as perceções sobre os desafios da

implementação da I4.0. Isto resulta numa compreensão mais holística do problema de investigação.

O guião das entrevistas, foi desenvolvido em linha com a literatura existente, tendo em consideração a questão de investigação. O guião de entrevista utilizado é apresentado no anexo A. Sempre que possível, para fins de triangulação, as entrevistas foram verificadas utilizando dados secundários fornecidos pela empresa (Yin, 2018). Como passo seguinte, as entrevistas foram gravadas em ficheiros de áudio com a permissão dos entrevistados. As entrevistas foram transcritas dos ficheiros de áudio para texto, seguida de uma análise qualitativa do conteúdo (Matthew B et al., 2014). Durante a análise qualitativa do conteúdo, as categorias foram definidas indutivamente, sendo estas alinhadas com a literatura existente. Isto, de modo a permitir o princípio de abertura e flexibilidade, o surgimento de conceitos inesperados e novos, em vez de serem restringidos por hipóteses pré-definidas (Kasabov, 2015).

3.2 Recolha de Dados e Caracterização da Amostra

Foram entrevistados 21 funcionários de 7 departamentos diferentes ao longo dos três níveis hierárquicos, envolvidos diretamente nos projetos de I4.0. Nos departamentos corporativos de digitalização e tecnologias de informação (*TI's*), estes funcionários correspondem a diretores, gestores de projeto e desenvolvedores. Da divisão fabril foram entrevistados os implementadores-chave das fábricas portuguesas de Avintes, Marinha Grande e Venda Nova. Relativamente aos utilizadores finais (operadores), foram entrevistados apenas os da Venda Nova por ter sido a fábrica piloto e terem mais experiência no uso das ferramentas. Os departamentos de manutenção envolvidos foram: mecânica geral, eletricidade e instrumentação, máquinas de produção e embalagem e paletização. A tabela seguinte apresenta a caracterização da amostra.

Tabela I. Caracterização da amostra

Função	Nº Entrevistas	Duração média (minutos)	Média de Habilitações (1)	Média de Idade	Média de Antiguidade (anos)
Corporativo (C)	4	00:35	3,6	42,4	8,6
Supervisor (S)	9	00:16	2,9	33,4	6,4
Operacional (O)	8	00:14	1,7	34,9	6,4
Total Geral	21	00:20	2,7	36,0	7,0

Fonte: Elaboração própria

Para a análise e discussão serão utilizadas citações diretas dos entrevistados. Os entrevistados encontram-se agrupados em corporativo, codificados de C1 a C4, supervisores, codificados de S1 a S9 e operacionais, codificados de O1 a O8. Os departamentos dos entrevistados e tempo em funções são apresentados no anexo B.

4 Análise e Discussão dos Resultados

Esta secção compreende um breve resumo do grupo empresarial alvo do caso de estudo, bem como, a caracterização da sua maturidade I4.0. Segue depois, a análise dos dados, principais resultados e discussão.

4.1 O grupo BA Glass

A empresa foi criada pelos sócios portugueses Barbosa & Almeida, iniciando a atividade no Porto e Vila Nova de Gaia em 1912, vocacionada para a venda de garrafas. Nos anos seguintes passou a produzir garrafas e modernizou a sua fábrica com a implementação de tecnologia semiautomática alemã. Mais recentemente, através de um processo de crescimento por aquisições e fusões, a BA Glass é atualmente um grupo internacional no setor do fabrico de embalagens de vidro presente em 7 países, produzindo por ano mais de 9 biliões de garrafas, em 11 cores. Com um total de doze fábricas na europa e 4000 funcionários, a BA Glass exporta embalagens e garrafas de vidro para mais de 80 países por todo o mundo e gera um volume de negócios superior a 990 milhões de euros anualmente.

¹ A média de habilitações foi codificada em níveis: 1 - 9ºAno; 2 - 12ºAno; 3 - 1º ciclo do ensino superior; 4 - 2º ciclo do ensino superior.

No que concerne à gestão da manutenção, o grupo não teve grandes alterações ao longo dos anos. Recentemente este facto tem vindo a alterar-se com a aplicação de tecnologias da I4.0 e a alteração dos processos de recolha e visualização dos dados. De modo a contextualizar o nível de maturidade I4.0 da BA Glass, foi utilizada, em conjunto com a empresa, a ferramenta de autodiagnóstico da maturidade digital: SHIFTto4.0². Este diagnóstico segue o modelo desenvolvido pelo IW Consult da Cologne Institute for Economic Research e pela FIR da RWTH da Universidade de Aachen (Alemanha), que considera 6 níveis de maturidade digital avaliados segundo 6 dimensões, acerca de 18 temas. Esta ferramenta foi utilizada pelo seu fácil acesso, mas também por ser a mais indicada, uma vez que, foi adaptada à realidade da indústria portuguesa.

Os resultados da avaliação da maturidade digital estão estruturados em dimensões com classificações de 0 (sem competências) a 5 (líder de topo). A avaliação global é a média ponderada destas dimensões (Anexo C). A BA Glass, obteve uma avaliação de 1.71, com a atribuição no nível 1 (Iniciado). No nível 1, “A empresa está envolvida na I4.0 através de iniciativas piloto em vários departamentos e investimentos em pelo menos uma área. Apenas alguns processos produtivos são suportados por sistemas TI, e a infraestrutura existente dos equipamentos apenas satisfaz parcialmente as integrações futuras e os requisitos de comunicações. A partilha de informação é limitada a algumas áreas internas à empresa. As soluções de segurança TI estão planeadas ou em fase de implementação. Neste ambiente, uma empresa com o nível de iniciado, está a começar a dotar os seus produtos com funcionalidades TIC. As competências necessárias para expandir a i4.0 estão apenas em algumas áreas da empresa” (Relatório de Avaliação da Maturidade I4.0, 2022, pp. 12-13).

Apesar do grupo BA Glass ser categorizado ainda no nível 1, na verdade, encontra-se já mais próximo do nível 2 (intermédio). Isto sugere que no contexto atual de maturidade, a BA Glass poderá ter ultrapassado alguns desafios iniciais que serão

² Ferramenta desenvolvida por universidades portuguesas, preconizada pelo ISQ e promovida pelo IAPMEI no âmbito do programa “Portugal 2020” e “COMPETE2020”.

agora menos proeminentes. Contudo, isto implica que pode ter melhor percepção sobre a intensidade dos desafios na implementação da I4.0, tornando este caso de estudo particularmente oportuno e adequado.

4.2 Análise de Resultados

Os resultados empíricos são baseados nas entrevistas realizadas a elementos-chave da implementação da Indústria 4.0. na BA Glass. As declarações foram analisadas e parafraseadas, sendo de seguida, codificadas de forma indutiva. A codificação indutiva implica o surgimento de códigos à medida que se avança com o processo de codificação dos dados (Yin, 2018). Deste modo, os dados foram sendo interpretados e agrupados em dimensões.

A análise foi realizada através da comparação de declarações parafraseadas entre níveis hierárquicos. O objetivo é confrontar as respostas dos entrevistados, conferindo assim, três pontos de vista sobre as percepções dos desafios da implementação da I4.0 na manutenção. A análise serve ainda para efeitos de triangulação. O guião foi estruturado de forma que, sempre que possível, os entrevistados respondessem às mesmas questões para efeitos de comparação, mas também, de modo a revelar informação explícita sobre outro nível hierárquico. A análise consistiu em identificar o nível de concordância entre hierarquias, quais os desafios percecionados e as suas causas e ainda, como é que estes podem ser ultrapassados.

Foi possível identificar que a transição de uma empresa para a I4.0 é complexa e gera vários desafios. Estes desafios podem ser mais ou menos perceptíveis durante a implementação da I4.0 e são passíveis de serem encontrados numa empresa como a BA Glass, com uma maturidade digital de nível iniciante.

Foram identificados 21 desafios, sendo estes agrupados em 9 dimensões: 1) comunicação; 2) constrangimentos organizacionais; 3) tecnologia e infraestrutura; 4) dados e informação; 5) recursos humanos; 6) recursos financeiros; 7) cibersegurança; 8) standardização e 9) liderança e estratégia, conforme o disposto na tabela II (abaixo).

Tabela II. Desafios identificados agrupados em dimensões

Dimensão	Desafios
1) Comunicação	1.1) Lacunas de comunicação
2) Constrangimentos Organizacionais	2.1) Resistência à mudança 2.2) Falta de capacidade 2.3) Estrutura organizacional rígida
3) Tecnologia e Infraestrutura	3.1) Falta de conhecimento do potencial I4.0 3.2) Lacunas na infraestrutura digital
4) Dados e informação	4.1) Dificuldades na recolha, armazenamento e processamento massivo de dados 4.2) Incapacidade de extrair conhecimento dos dados
5) Recursos Humanos	5.1) Lacunas de formação profissional 5.2) Dificuldades de recrutamento 5.3) Falta de mão de obra qualificada
6) Recursos Financeiros	6.1) Elevado investimento 6.2) Incerteza no retorno do investimento
7) Cibersegurança	7.1) Risco de cibersegurança e privacidade
8) Estandarização	8.1) Dificuldades de integração, escalabilidade e interoperabilidade 8.2) Falta de procedimentos e atividades de manutenção estandarizadas
9) Liderança e Estratégia	9.1) Falta de estratégia digital clara para implementação da I4.0 na manutenção 9.2) Falta de frameworks de implementação, padrões ou roadmaps 9.3) Foco nos resultados de curto prazo 9.4) Falta de compromisso da gestão de topo 9.5) Falta de liderança

Fonte: elaboração própria

Os desafios encontrados ao longo da análise são codificados pelo número da dimensão em que se inserem, seguido de numeração sequencial entre parêntesis.

1) Comunicação

Analisando as respostas, é evidente ao longo da hierarquia que os intervenientes têm uma visão uniforme sobre esta dimensão. É possível identificar o desafio “lacunas de comunicação” (1.1). De acordo com Dieste et al. (2022), a

comunicação apresenta uma grande relevância no que concerne gerir e controlar a transformação. Os entrevistados referem que este é o desafio mais crítico na implementação dos projetos I4.0.

A um nível corporativo a percepção geral é que *“existe falta de planeamento e comunicação entre ambas as realidades”* [C3]. A fábrica corrobora a afirmação corporativa. Existe concordância entre os supervisores que *“a comunicação não é suficiente e isso nota-se depois na coordenação do projeto (...), devia haver mais pessoas alocadas à comunicação dos projetos para as fábricas”* [S4]. Quanto ao nível operacional, segundo O1, *“quanto à informação que foi transmitida não foi suficiente e não existem procedimentos formais com estas comunicações”*. Estas afirmações sugerem problemas de interação entre o corporativo e as fábricas no que concerne a comunicação dos projetos. Isto pode traduzir-se num fraco envolvimento das pessoas. Além disto, segundo C1: *“existem diferenças de comunicação no sentido em que apenas as pessoas envolvidas realmente conhecem os objetivos e os próximos passos a tomar, ou seja, a informação não está espalhada da mesma forma a todos os níveis”*. Todos os entrevistados mencionaram o referido. Isto revela que a comunicação entre as hierarquias não é aberta e o conhecimento não chega a todos os intervenientes. De acordo com Veile et al. (2020), uma comunicação aberta através da livre troca de conhecimentos em todas as posições hierárquicas e departamentos, permite a aceleração dos processos de aprendizagem e convergência numa visão comum.

Na maioria dos casos, o nível corporativo não comunica diretamente com os operadores que vão utilizar as ferramentas. A informação é facultada pelo nível corporativo aos supervisores e estes acabam por não comunicar aos operadores toda a informação recebida para além do essencial. Isto resulta numa comunicação final ao operador incompleta. O operador pode correr o risco de não compreender quais os objetivos e quais os benefícios de utilizar as ferramentas digitais, encarando os projetos apenas como trabalho adicional: *“há alguma resistência, porque por vezes não entendem qual a utilidade destas alterações e tendem a ver a coisa como uma imposição”* [S6]. A informalidade da comunicação também tem influência na percepção da importância pelo operador, que tende a não dar tanta importância.

Relativamente à gestão operacional, através de uma app de gestão da manutenção, os operadores recebem atualmente no smartphone as ordens de manutenção atribuídas a cada operador ordenadas por prioridades. A maioria apresenta um *feedback* positivo, na medida em que a comunicação se tornou mais clara e eficiente: *“melhorou a nível da comunicação com o chefe sendo possível receber as ordens de trabalho e ligar quando há questões”* [O3], além disso a informação encontra-se sempre disponível para consulta: *“altera a forma de comunicar porque já não há tanta necessidade de perguntar porque já está lá e é digital, logo é mais fácil aceder ao que nos foi pedido”* [O1]. A mobilidade e acesso aos dados em tempo real e em qualquer lugar melhora a comunicação entre operadores e chefias. De facto, o estudo de Wittenberg (2016) demonstrou através de um inquérito operacional, que os técnicos de manutenção afirmaram que os dispositivos móveis reduzem a incerteza nas ações a serem tomadas devido à informação estar sempre disponível.

2) Constrangimentos Organizacionais

Os intervenientes apresentam ao longo da hierarquia diferentes perspetivas em relação a alguns pontos desta dimensão. Existe consenso ao nível corporativo que a mentalidade está a mudar na gestão de topo, porém é percecionada a resistência de alguns operadores e supervisores: *“a mentalidade está a mudar a nível corporativo, com a reestruturação da BA, ao incluir as novas áreas da I4.0, (...) no chão de fábrica é que ainda existe alguma resistência por parte de alguns operadores e chefes de divisão”* [C1]. Os supervisores corroboram esta afirmação: *“a mentalidade na fábrica está a alterar-se, no entanto, apenas nas pessoas mais novas, que se demonstram mais abertas a novas ideias e formas de trabalhar”* [S4]. Isto é algo que é corroborado pelos operacionais. Segundo O3, *“há mudança de mentalidade pelos mais novos, e uma diferença de 10 anos é muito. Os colegas mais antigos levam mais tempo, mas está a ser implementado”*. É ainda referido que: *“vai ser muito difícil mudarmos todos porque os colaboradores muitos deles são antigos e não querem mudar a forma de trabalhar”* [O4]. É possível identificar o desafio “resistência à mudança” (2.1). De acordo com Dieste et al. (2022), os empregados com mais experiência e com

capacidades desenvolvidas ao longo de muitos anos de prática de trabalho podem mostrar resistência em aprender novas competências.

Os entrevistados revelam ainda possíveis causas desta resistência. De acordo com C4, *“o mindset tem de ser alterado. Há casos em que as pessoas pensam que os robôs e as digitalizações os vão substituir, como é o caso dos robôs de lubrificação nas linhas. Quando a ideia é melhorar a segurança no local de trabalho e evitar que uma pessoa se queime ou parta um braço num mecanismo”*. Segundo C1, *“o sistema ainda não está também completo. Não disponibiliza alarmes e por isso é ineficiente (...), desta forma ainda não me encontro convencido, logo também é difícil vender a ideia com mais confiança”*. O supervisor S3, corrobora esta afirmação: *“existe alguma resistência quando as ferramentas estão incompletas ou têm bugs, e aí as pessoas tem mais dificuldade em aceitar, mas está a haver progressos”*. Estas causas criam uma entropia na mudança de *mindset*. Para além dos problemas das ferramentas I4.0, *“o tempo que temos dedicado a esses projetos não é o mais adequado. Nunca estamos a tempo inteiro ligados a esses projetos, temos outras tarefas e prioridades”* [S7]. O supervisor S2 refere até mesmo que: *“existe resistência pessoal a esta mudança devido ao grande esforço para implementar, embora concorde que seja o melhor caminho”*. De igual forma, a nível corporativo *“o maior desafio foi conseguir reunir toda a equipa de negócio, por isso houve alturas em que não houve disponibilidade porque nunca ninguém está ligado 100% a um único projeto e para mim, isso é o que torna os projetos mais eficazes e de momento não acontece, esse é o maior desafio a falta de disponibilidade”* [C2]. É possível identificar o desafio “falta de capacidade” (2.2). De acordo com Müller (2019), as tarefas atuais dos trabalhadores podem os impedir de encontrar tempo e recursos para se concentrarem na implementação da Indústria 4.0.

Houve, no entanto, uma alteração da estrutura organizacional da BA Glass, para acomodar novas capacidades das áreas de digitalização e tecnologias de informação. Segundo C3, *“esta reestruturação aconteceu para melhorar a disponibilidade e capacidade de operação que até então restringia-se à implementação. Esperamos melhorar e incluir pessoas polivalentes que entendam*

ambas as realidades”. É afirmado ainda que *“esta nova estrutura vai potenciar a implementação da I4.0”* [C4]. No entanto, existe ainda dificuldades: *“quanto à alteração de estrutura houve uma grande reestruturação, mas continua-se a não ter alguns recursos. As TI's dão suporte ao dia a dia do negócio, porque tem de haver uma equipa que se importa com os sistemas do dia a dia do negócio, outra que faça os projetos e outra equipa que está sempre a inovar e a pensar no futuro. Atualmente ainda se faz um pouco de tudo sem grande foco”* [C2]. Ao nível de supervisor é referido que *“a nível corporativo, com a estrutura atual, demora tudo muito tempo e não há agilidade. A informação chega tarde e só para algumas pessoas”* [S3]. Em acordo, S2 refere ainda que: *“a estrutura tal e qual como está, negligencia a implementação e terá de ser melhorada”*. É possível identificar o desafio *“estrutura organizacional rígida”* (2.3). De acordo com Moktadir et al. (2018) e Veile et al. (2020), a estrutura organizacional de uma empresa deve apoiar os objetivos da I4.0 e por isso, necessita de ser alinhada de acordo com desenvolvimentos tecnológicos. Os autores referem que os empregados precisam de enfrentar mudanças frequentes e regulares nas tarefas, bem como mudar de departamentos para outras equipas. Deste modo, hierarquias planas e estruturas menos complicadas e formais potenciam a tomada de decisão descentralizada e otimizada em fábricas inteligentes. Consequentemente, a gestão deve adaptar-se a exigências pouco claras ou em mudança, utilizando métodos de gestão ágeis.

3) Tecnologia e Infraestrutura

Existe consenso nesta dimensão entre os três níveis da hierarquia de que a infraestrutura podia ser melhorada. A um nível corporativo, a perceção é que o principal problema se encontra na interoperabilidade e compatibilidade dos sistemas devido à fraca atualização da infraestrutura digital. De acordo com C3: *“temos equipamentos importantes muito antigos porque na maioria dos casos, apenas são atualizados entre dez e quinze anos, nas reconstruções dos fornos”*. O regime de produção da BA Glass é contínuo (24h/dia, 365 dias/ano) apenas interrompendo no final de uma campanha de produção. Com o passar do tempo, o forno começa a perder eficiência e a necessitar de reparação dos blocos refratários. A vida útil de um forno, equivale assim, ao tempo que consegue produzir sem ser necessária uma

reparação integral da estrutura. Durante este período, as linhas de produção param e o forno é reconstruído. Os equipamentos associados a esse forno sofrem atualizações ou substituições de acordo com as necessidades identificadas pela equipa de projetos industriais. O facto de os equipamentos necessitarem de funcionar durante 24h durante dez a quinze anos, revela a dificuldade em atualizar estes para as versões mais modernas.

Foi ainda possível, identificar tensões relativas à atualização dos equipamentos: *“até recentemente havia um desalinhamento ideológico com a equipa de projeto de reconstrução dos fornos que não atualizava os softwares para versões capazes de expor dados para a I4.0, porque não via uma prioridade nisso”* [C3], isto representava seguramente um melhoramento da interoperabilidade, mas em contrapartida um aumento do investimento para a equipa de projetos industriais. É possível identificar o desafio *“falta de conhecimento do potencial da I4.0”* (3.1). De acordo com Dieste et al. (2022), os esforços para mudar a organização podem ser limitados devido à fraca compreensão e sensibilização dos benefícios operacionais que as tecnologias I4.0 podem trazer e a sua importância estratégica. É por isso necessário, atualizar as infraestruturas existentes de modo a serem compatíveis com a integração de componentes heterogéneos, ferramentas e métodos (Bakhtari et al., 2020). Este tema foi também sentido ao nível operacional da fábrica: *“a máquina vir com todos os sensores e software próprio é muito diferente de se tentar obter a informação com hardware e software diferentes, o que dá muito mais trabalho e nem sempre funciona”* [O3]. Isto revela dificuldades entre manter e atualizar os equipamentos e sistemas para as versões mais recentes capazes de serem integrados na I4.0.

Ao nível de supervisor, estas dificuldades não deixam de ser perceptíveis na infraestrutura. Segundo o supervisor S6, *“as infraestruturas ainda são muito limitadas, mas está a ser feito um esforço contínuo. Existe um impacto considerável porque houve alguns problemas que atrasaram o projeto e as pessoas ficaram mais desconfiadas. O software e hardware têm de estar realmente prontos, porque depois de começar as pessoas tendem a focar-se no pior do sistema e não nas suas vantagens”*. Ao nível operacional transparece também esta perceção: *“Existem alguns*

bugs relativamente ao software que afetam a atividade de manutenção” [O3]. Este tipo de problemas pode significar a descredibilização do sistema enquanto unidade funcional.

Existem também problemas relacionados com a rede (WiFi): *“Neste momento a rede WiFi não está na fábrica toda logo a infraestrutura nem está minimamente em condições de começar.”* [S4]. A nível operacional é possível corroborar esta afirmação dos supervisores: *“há zonas em que a internet não funciona e a fábrica não está muito bem preparada para utilizar este método.”* [O2]. Isto revela que os projetos avançaram sem estar montada toda a infraestrutura para suportar os projetos de I4.0. É possível identificar o desafio “lacunas na infraestrutura digital” (3.2). De acordo com Dieste et al. (2022) a falta de infraestrutura digital adequada é uma das principais questões consideradas pelas empresas.

No entanto, não obstante os problemas, tanto ao nível de supervisor como ao nível operacional, a maioria revela-se satisfeita com as novas ferramentas: *“o sistema de manutenção está bem implementado, está fácil de trabalhar, mas ainda não está no ponto ótimo tem de ser mais melhorado”* [S3]. O operador O1 refere que *“não custou nada, foi fácil e não houve grandes dificuldades. Antes era muito papel e a parte administrativa era horrível. O trabalho agora é bem mais rápido e eficiente”*.

4) Gestão de Dados e Informação

Existe concordância entre os diferentes níveis da hierarquia que *“os dados são todos relevantes por já ter sido feito um grande trabalho antes”* [O2]. Existem, contudo, dificuldades identificadas. Segundo C2, *“a quantidade absurda de dados a processar e a tratar é um desafio em si”*. C1 refere ainda que *“como cada projeto é implementado paralelamente existem mil e uma maneiras de os fazer, acabando por existir uma manta de retalhos de softwares e hardwares que acabam por não comunicar eficazmente entre si, o que torna mais difícil integrar e recolher os dados”*. É possível identificar o desafio “dificuldades na recolha, armazenamento e processamento massivo de dados” (4.1). Este desafio refere-se à necessidade de gerir, armazenar, e processar quantidades enormes de dados não estruturados, sem o apoio da tecnologia adequada para lidar com essa quantidade de dados de uma só

vez (Singh et al., 2018). Isto é algo que *“tem de ser resolvido muito rapidamente, porque os dados para serem analisados têm de ser corretos, vir num certo formato, com uma certa frequência e de uma forma standard em todas as fábricas e isso é um grande desafio”* [C4].

A um nível de supervisor, a percepção é que *“os dados são úteis, mas ainda são muito primários, porque não são tratados e a análise é mais demorada”* [S6]. Segundo S7, *“existem demasiados programas diferentes que não estão integrados ou não temos todos os dados disponíveis. Isto faz com que haja análises que não sejam feitas ou seja preciso dispensar recursos para as fazer, o que nos leva ainda mais tempo que não temos”*. Isto revela o desafio *“incapacidade de extrair conhecimento dos dados”* (4.2). Segundo Bajic et al. (2021), este desafio significa que a capacidade de extrair informação útil de numerosas fontes de dados para a transformar em uma forma legível por diferentes máquinas/dispositivos ainda não foi atingida. A falta de tratamento destes dados pode resultar no trabalho de análise, que por sua vez é mais demorado e sujeito a erros humanos.

5) Recursos Humanos

Existe concordância entre os diferentes níveis da hierarquia quanto a lacunas nesta dimensão. Relativamente à formação, de acordo com o entrevistado C1: *“houve formação sobre digitalização e cibersegurança e houve algumas componentes da I4.0 que foram dadas através de fundamentos gerais, mas não foi dada aos operadores”*. O entrevistado C2 refere ainda que: *“tem de haver uma formação transversal a todos para as pessoas estarem mais à vontade e tenham uma perspetiva mais digital”*. Isto revela que pode existir pessoas que se encontrem desalinhas quanto à importância e objetivos da implementação da I4.0. No que concerne ao nível hierárquico de supervisor, as opiniões divergem, pois, a formação não chegou a todos os supervisores. De acordo com o S3, *“sim, tive formação de algumas ferramentas, mas não todas”*, já S5 refere: *“não tive qualquer formação. Para mim, a I4.0 é só um conceito, não houve uma ação de formação para a maioria das pessoas e por isso não tenho a noção do caminho e objetivos reais”*. Para além do exposto, todos os que tiveram formação, consideraram a formação demasiado generalista, sem exemplos

práticos ou objetivos aprofundados. De igual forma, a nível hierárquico operacional, O3 refere que: *“a formação foi informal e incompleta e foi dada pela minha chefia direta, apenas me explicou como fazer e não o porquê de ter de ser feito assim”*. Estas afirmações revelam o desafio “lacunas de formação profissional” (5.1), uma vez que, aparenta haver falta de programas de formação para reforço da capacidade I4.0 do pessoal da manutenção.

Segundo o estudo de Bakhtari et al. (2020), a falta de formação é um dos principais desafios nas empresas de manufatura. Vários investigadores referem ainda que as lacunas de formação dos funcionários atrasam a implementação da I4.0 (James et al., 2022), prolongando o tempo necessário em cada etapa. É possível inferir que o nível de formação percebido é insuficiente para potenciar a implementação da I4.0 através da melhoria de competências. Nomeadamente, nem todos participaram nas ações de formação relevantes e, para aqueles que participaram, não existiu um equilíbrio entre a proporção de conteúdos de índole geral e a formação prática. Ambas lacunas que podem criar dificuldades de alinhamento organizacional e ineficiência na implementação da I4.0 na manutenção.

Relativamente às competências I4.0, de acordo com C4: *“externamente é muito difícil contratar pessoas com estas competências para esta indústria. Esta indústria não é atrativa para os recém-chegados ao mercado de trabalho (que são poucos) e preferem antes a indústria automobilística ou outras indústrias tecnologicamente mais avançadas”*. Esta afirmação é corroborada pela literatura, já que, diversos estudos sugerem que existe um défice de competências em I4.0 no mercado de trabalho (Dieste et al., 2022). Isto revela o desafio “dificuldades de recrutamento” (5.2), na aquisição de competências externas.

Ao nível hierárquico de supervisor, as perceções divergem entre os departamentos de manutenção, no que concerne a adequabilidade das competências internas. A maioria refere que as competências não são adequadas. Segundo o supervisor S2: *“quanto às competências I4.0, é algo que é pedido, mas muito secundário. Geralmente apenas pedem ideias para digitalização e automação, mas no dia a dia não é exigido, logo não há grande envolvimento das pessoas e por*

consequência não se desenvolve essas competências”. Em concordância com S2, S4 refere ainda que: “Se tivesse havido mais formação as competências seriam melhores, mas são suficientes para levar o projeto avante, só demora mais algum tempo”. A um nível operacional é referido que: “as competências são moderadas, é claro que era necessária mais formação para se ser melhor” [O8]. É possível identificar o desafio “falta de mão de obra qualificada” (5.3). É de notar que a falta de mão-de-obra qualificada é dos desafios organizacionais mais frequentemente estudados e mencionados na literatura (Dieste et al., 2022). Segundo Bajic et al. (2021), este desafio refere-se à falta de funcionários qualificados que possuem competências multidisciplinares I4.0, tais como, informática, matemática, gestão, análise de dados, e engenharia.

No entanto, houve departamentos que se adaptaram melhor que outros. Segundo S6: *“relativamente aos operacionais eles adaptaram-se bem, fui só eu que lhes dei formação, mas têm sido críticos e dão sugestões para evoluir o sistema”*. Alguns operacionais divulgam que *“as competências não são suficientes, mas estamos sempre a aprender e a implementar o que nos explicam”* [O1]. Isto revela que, apesar das insuficientes competências, existe progresso na implementação da I4.0. Quanto aos esforços realizados pela empresa para aquisição destas competências, a maioria dos supervisores revela que não percecionam nenhuns esforços nesse sentido: *“de momento até agora ainda não foi feito nenhum esforço”* [S5]. Os operários comprovam de forma geral estas afirmações: *“não está a haver grandes esforços na formação e melhoria de competências dos operários, embora tenha a perceção de que se irão esforçar nesse sentido”* [O2].

6) Recursos Financeiros

Nesta dimensão apenas foram analisadas as respostas do nível corporativo e nível de supervisor, uma vez que, a nível operacional não existe perceção sobre esta dimensão.

É reconhecido, por ambos os níveis hierárquicos, que a política de investimentos da BA alterou-se recentemente face a anos anteriores. De acordo com C1: *“Antes de haver a nova estrutura mais digital, era muito difícil arranjar orçamento*

para o desenvolvimento da I4.0, devido ao elevado investimento necessário. (...) existem, contudo ainda hoje, situações em que os recursos financeiros necessários à implementação na fábrica nem sempre são alocados ou são alocados menos do que foi estimado como necessário.” De acordo com C3: “há sempre apreensão e cautela na hora de aprovar investimentos, mas depende muito do investimento inicial e do impacto estimado das iniciativas”. É possível identificar o desafio “elevado investimento” (6.1). Este desafio refere-se a uma necessidade considerável de investir recursos financeiros substanciais de uma forma prolongada, o que, por sua vez, demove as empresas de considerar a implementação de novas tecnologias (Bajic et al., 2021).

No entanto, este desafio não aparenta ser o mais pronunciado relativamente a recursos financeiros para o nível corporativo, uma vez que, de acordo com C4: *“não tem havido desafios por assim dizer a este aspeto, existe vontade de investir. O desafio é sim, em justificar estes investimentos”*. Os restantes entrevistados deste nível hierárquico também concordam que é *“difícil justificar investimentos elevados que não têm um retorno do investimento bem definido”* [C2]. Isto revela o desafio “incerteza do retorno do investimento” (6.2). De acordo com Bakhtari et al. (2020), de modo a implementar a I4.0, as indústrias transformadoras necessitam de investir consideravelmente em infraestruturas digitais, mas ainda são poucos os casos claros e inequívocos de sucesso, que comprovem estes investimentos. Constitui ainda uma agravante à incerteza do retorno do investimento, o facto de os benefícios económicos da I4.0 serem mais significativos a longo prazo (Dieste et al., 2022), o que pode dissuadir as empresas de realizar investimentos elevados, tendo um *payback* moroso.

A um nível hierárquico de supervisor, há concordância que o meio termo imposto a nível corporativo é razoável, mas não é sem os seus inconvenientes: *“foi um meio termo. Havia algum dinheiro para começar o projeto, mas não foi à vontade, continua-se a precisar de dinheiro para implementar coisas que deviam estar implementadas desde o início, o que atrasou a implementação um bocado”* [S6]. Isto revela que houve atrasos consideráveis na implementação nas fábricas e que os investimentos não ocorreram de igual forma. Isto deveu-se também ao facto de que

“não havia uma noção exata da realidade em cada fábrica em termos de equipamentos e por isso o investimento foi mais gradual também” [S5]. É possível inferir que não eram conhecidas todas as necessidades reais das fábricas aquando da orçamentação destes investimentos, o que também provocou constrangimentos.

7) Cibersegurança

Nesta dimensão apenas foram analisadas as respostas do nível corporativo e nível de supervisor, uma vez que, a nível operacional não existe perceção sobre esta dimensão.

A literatura menciona com frequência a importância desta dimensão na implementação da I4.0. A cibersegurança é o terceiro desafio mais investigado na literatura (Dieste et al., 2022). De acordo com Bakhtari et al. (2020) e Dieste et al. (2022) a privacidade e segurança dos dados pode ser comprometida quando se partilham registos internos na nuvem ou entre parceiros da cadeia de abastecimento. Estes dados podem incluir informações sensíveis associadas ao cliente e à organização. Consequentemente, existe a necessidade de assegurar que estes dados e a informação confidencial terá segurança reforçada contra acessos não autorizados, tais como *hacking*, e outros potenciais danos.

A um nível hierárquico corporativo existe a perceção da importância da cibersegurança e do impacto desta: *“Todos os projetos são avaliados a nível de segurança e quando não seguem as melhores práticas têm de ser alterados, o que acaba por dar mais trabalho, mas é normal. Tirando isso não representa um grande impacto” [C2].* É referido ainda que: *“é importante, mas tem de haver um balanceamento para não impedir as principais implementações” [C1].*

Identifica-se o desafio “risco de cibersegurança e privacidade” (7.1). No entanto, este desafio não teve grande impacto percebido pelos entrevistados. Ao nível de supervisor não foram percecionados quaisquer desafios. Isto é algo que é corroborado por Jasiulewicz-Kaczmarek et al. (2022), que sugere, de uma perspetiva de gestão da manutenção, que este não é um desafio representativo.

8) Estandarização

Existe acordo entre todos os níveis da hierarquia que esta dimensão é a que representa o maior desafio a nível do grupo BA Glass. Segundo C3, *“Existem muitas diferenças o que dificulta a estandarização e gera alguns desafios”*. Primeiro, *“um destes desafios tem a ver com a estandarização dos protocolos de comunicação entre os sistemas e as máquinas e estandarizar para o grupo inteiro”* [C1]. É possível identificar o desafio *“dificuldades de integração, escalabilidade e interoperabilidade”* (8.1). De acordo com Bajic et al. (2021), este desafio deve-se principalmente à incapacidade de a indústria chegar a um acordo sobre normas de comunicação standard, o que conseqüentemente, resulta na incapacidade de partilhar ou trocar informações geradas em diferentes tipos de plataformas. C4 menciona ainda que este *“é um desafio muito grande. São doze fábricas espalhadas pelo mundo e cada contexto é diferente e vemo-nos obrigados a testar apenas num sítio (com os recursos limitados) e depois quando queremos escalar para outras fábricas a coisa não corre bem porque os sistemas são muito diferentes (...) temos de pensar como podemos fazer de modo a dar para todas e assim depois aplicar sem grandes problemas em todo o lado”*.

Para além deste desafio afetar todo o grupo BA Glass, é também perceptível ao nível da estandarização da fábrica: *“como cada um tem pouco conhecimento ou envolvimento não existe uma grande estandarização, cada um vai fazendo por si nos seus projetos e depois a informação não é integrada”* [S5]. De acordo com S3, *“continua a haver uma desigualdade a nível de fábrica em que nem todos os departamentos de manutenção seguem os mesmos padrões e depois cada fábrica é diferente”*. Esta afirmação é corroborada por C1: *“os projetos acabam por ser em paralelo e deixa de ser uma estandarização e passam a ser várias estandarizações e, por isso, a estandarização realmente não existe”*. Apesar deste não ter sido considerado como particularmente saliente para a manutenção por Jasiulewicz-Kaczmarek et al. (2022), no caso aqui estudado, o desafio *“falta de procedimentos e atividades de manutenção estandarizadas”* (8.2) foi percecionado como particularmente relevante.

9) Liderança e Estratégia

Nesta dimensão as opiniões divergem fortemente entre níveis hierárquicos. Ao nível corporativo, quanto à visão e objetivos da I4.0, C1 refere que: *“foi pedida ajuda a uma consultora e em conjunto delineámos um roadmap genérico, onde se queria chegar com a implementação e os objetivos ficaram claros e bem definidos”*. No entanto, é perceptível que a visão e objetivos não são óbvios para todos os intervenientes da implementação da I4.0. Ao nível de supervisor, a maioria não sabe qual é a visão e opina de forma divergente sobre os objetivos *“não conheço qual é a visão, não me foi transmitido, agora o objetivo é ter menos avarias e mais controlo a nível de dados extraídos para poupar mais”* [S2], já S8, refere que *“não conheço a visão detalhadamente, mas o principal objetivo é melhorar o trabalho das pessoas, torná-lo mais fácil, reduzir tarefas fúteis”*. Já C3 refere que, *“originalmente a visão era o aumento de performance direta no rendimento, mas agora já não se pensa assim e foi apostado no user experience e na facilidade do acesso à informação. Além disso, tem como segundas intenções o BDA e a IA, que necessitam destes dados e alterações antes”*. Menciona ainda que: *“imaginava-se há um par de anos, as linhas de produção sem ninguém e tudo gerido por sistemas digitais com supervisão. (...), mas há passos a dar antes disso. Por isso a visão em si não mudou, mas teve correções na estratégia pelo caminho (...) inicialmente, de acordo com a direção, os projetos de I4.0 eram supostos ser projetos implementados dentro de 1 ano e era acabar uma fábrica e começar outra e isso não funciona”* [C3]. Isto revela o desafio *“falta de estratégia digital clara para implementação da I4.0 na manutenção”* (9.1). Segundo Jasiulewicz-Kaczmarek et al. (2022), este desafio foi reconhecido como um dos mais representativos para a implementação da I4.0 na manutenção. É possível inferir que neste caso, os passos a dar para tornar real a visão da direção, estavam desenquadrados, uma vez que, no mínimo, para a dimensão de uma PME, a implementação sustentável da I4.0 é atingida geralmente após cinco anos (*Relatório de Avaliação Da Maturidade I4.0, 2022*). Devido à especificidade da indústria e aos poucos casos empíricos de implementação da I4.0 na manutenção nesta indústria em particular, não há um caminho claro sobre a forma como implementar. É possível identificar o desafio *“falta de frameworks de implementação, padrões ou roadmaps”*

(9.2). De acordo com Dieste et al. (2022), a transição para a I4.0 é desafiante para as organizações, porque dificilmente existe uma *framework* universalmente aceita e que funcione em todos os casos.

Ainda quanto ao nível corporativo, todos os entrevistados referem que existe demasiado “foco nos resultados a curto prazo” (9.3): *“é muito difícil gerir expectativas da gestão de topo. Por vezes pensam que é ligar os sensores e está a andar, mas não é assim. Tudo isto leva imenso tempo e foi difícil transmitir esta ideia de que a I4.0 é algo que é implementado durante 5, 6 anos e não num ano”* [C4]. Segundo Dieste et al. (2022), isto acontece devido ao longo prazo do retorno do investimento e aos tempos de implementação necessários, que podem gerar tensões relativamente à exigência de resultados operacionais rapidamente. Ainda assim, existe concordância entre todos que “a gestão de topo apoia ativamente, sem dúvida, todos os projetos de I4.0” [C2]. Contudo, a maioria dos supervisores refere que a gestão de topo não está focada nos projetos I4.0 da manutenção. Existe a perceção geral nos departamentos de manutenção que *“a manutenção na indústria do vidro é muito atrasada”* [S3] e *“ainda existe muito por parte do corporativo, o conceito de primeiro a produção, depois a qualidade, e só depois vem a manutenção”* [C1]. De acordo com S6: *“para mim a nível corporativo, a manutenção é vista apenas como um custo e ainda não deram provas suficientes de que se importam com estes projetos”*. Deste modo, *“a gestão de topo não apoia ativamente o projeto da manutenção, promovem, mas não seguem o projeto”* [S4]. Isto é algo que é sentido na fábrica, tanto ao nível de supervisor como ao nível operacional: *“tem a ver com o foco e a prioridade que as chefias dão ao projeto. Por vezes a prioridade centra-se mais na produção do que na manutenção, mas são ambos importantes”* [S8]. Ao nível operacional, *“tem havido desafios na difusão e implementação da I4.0 nos outros departamentos de manutenção mais orientados para a produção”* [O3]. Estas afirmações revelam o desafio “falta de compromisso da gestão de topo” (9.4). Este desafio foi também identificado no estudo de Jasiulewicz-Kaczmarek et al. (2022), como representativo na implementação da I4.0 na manutenção.

Esta dimensão revela ainda que: *“o maior desafio na liderança corporativa é falta de assumir isto como prioridade”* [S6]. Os restantes supervisores corroboram esta afirmação. Igualmente, segundo O2, *“não há um líder por assim dizer. Nos últimos tempos tem sido implementado por vontade das pessoas que querem”*. Isto revela o desafio “falta de liderança” (9.5). De acordo com Bakhtari et al. (2020), a falta de liderança/apoio pode dificultar a implementação da I4.0 nas indústrias transformadoras.

4.3 Discussão dos Resultados

De um modo geral, a análise das diferentes perceções entre os níveis hierárquicos (sintetizada no Anexo D), revela que existe concordância na dimensão comunicação, quanto à falta de interação e comunicação entre os três níveis. Relativamente aos constrangimentos organizacionais, é transversal a perceção da resistência à mudança nos colaboradores mais antigos, mas subsiste a discordância quanto à adequabilidade da estrutura organizacional e das capacidades existentes para implementar. É também transversal a perceção da existência de problemas com a infraestrutura atual e dificuldades na gestão de dados e informação ao longo dos níveis hierárquicos. Na dimensão de recursos humanos existe concordância sobre a inadequabilidade da formação e das competências, no entanto, já são sentidos os esforços para colmatar esta situação. Relativamente a recursos financeiros concordam que a falta de celeridade na disponibilização dos recursos teve impacto na implementação. Do mesmo modo, é percecionado na íntegra que a estandardização do hardware e software, assim como dos processos de manutenção é uma dificuldade. Já na dimensão de liderança e estratégia, existe discordância quanto ao apoio e liderança da gestão de topo. Quanto à cibersegurança não foi possível verificar a concordância entre os níveis hierárquicos.

A análise revela ainda que foram identificados muitos mais desafios relacionados com a gestão não tanto relacionados com as tecnologias. Destes desafios, os percecionados como mais críticos e, por isso, foco da discussão são: lacunas de comunicação (1.1), a resistência à mudança (2.1), lacunas de formação (5.1) e falta de mão de obra qualificada (5.3), a falta de estandardização através dos

desafios (8.1) e (8.2), assim como a falta de compromisso da gestão de topo (9.4), a falta de liderança (9.5) e a falta de clareza na estratégia de implementação (9.1).

Para apurar como ultrapassar estes desafios, é necessário identificar o porquê de estes ocorrerem. O desafio falta de frameworks de implementação, padrões ou roadmaps (9.2), ocorre devido a lacunas na investigação atual sobre a implementação da I4.0 na manutenção, mas também devido à especificidade da I4.0 em cada indústria, o que reduz a aplicabilidade dos poucos estudos empíricos. Além disso, a indústria das embalagens de vidro em particular não é amplamente estudada pelos investigadores, pelo que não há contribuições significativas para o conhecimento neste âmbito. Este facto pode levar à falta de conhecimento do potencial da I4.0 (3.1), que por sua vez, pode afetar a capacidade de definição de uma estratégia digital clara e objetiva durante a implementação da I4.0 (9.1). Uma estratégia digital débil pode levar ainda a percepções de falta de liderança (9.5), por parte dos intervenientes. Além disso, a falta de clareza da estratégia neste caso de estudo significou, por sua vez, o foco nos resultados de curto prazo (9.3) e a estipulação de etapas, compromissos e prazos inadequados, que não conseguiram ser cumpridos.

Verificou-se como consequência dos desafios a nível de liderança e estratégia que a comunicação (1.1) é afetada por esta dimensão. Além disso, verifica-se que a comunicação é também afetada pelos desafios resistência à mudança (2.1) e estrutura organizacional rígida (2.3). Uma estrutura organizacional pouco flexível provoca tensões organizacionais que afetam a implementação da I4.0. Por outro lado, a resistência à mudança é também afetada pela comunicação (1.1), uma vez que, foi referido pelos entrevistados que os operacionais temem a perda do seu emprego. Este medo pode derivar de lacunas existentes na comunicação. A resistência à mudança (2.1) está relacionada também com a falta de capacidade para implementar (2.2) e lacunas na infraestrutura digital (3.2).

Relativamente às lacunas de formação profissional (5.1), estas são consequência direta da falta de capacidade (2.2) para dar estas formações, mas também devido à falta de compromisso da gestão de topo (9.4), uma vez que, não foram organizados planos de formação formais. Verificou-se ainda que a falta de mão

de obra qualificada (5.3) está relacionada com estas lacunas de formação profissional (5.1). Contudo, este desafio está também relacionado com as dificuldades sentidas a nível de recrutamento (5.2). As lacunas de formação profissional vão ainda influenciar a falta de procedimentos e atividades de manutenção estandardizadas (8.2). Este desafio é também evidenciado devido às lacunas de comunicação (1.1) e a falta de compromisso da gestão de topo (9.4). Como consequência disto, não há envolvimento suficiente, entre os intervenientes, para uniformizar os procedimentos e atividades de manutenção.

O desafio 9.4 é influenciado principalmente pelo elevado investimento (6.1) e pela incerteza no retorno do investimento (6.2), que apesar dos benefícios, podem demover ou desencorajar a implementação. Para além disto, os benefícios são apenas mais visíveis a longo prazo, devido ao tempo de implementação da I4.0 ser considerável. Deste modo, a falta de compromisso foi também influenciada pelas expectativas inadequadas da gestão de topo face à I4.0 (9.3). Ficou ainda claro através das entrevistas, que os níveis hierárquicos de supervisor e operacional têm uma perceção plenamente contrária ao nível corporativo. O nível corporativo afirma que a gestão de topo apoia fortemente a implementação, no entanto, para a fábrica é inequívoco que há falta de compromisso. De acordo com Müller (2019), a gestão de topo deve comprometer-se claramente com a implementação planeada da I4.0 e apoiá-la em conformidade. A aceitação de toda a empresa só pode ser alcançada se a gestão de topo estiver claramente por detrás da introdução da I4.0.

Por fim, relativamente à estandardização, os desafios mais difíceis de colmatar são as dificuldades de integração, escalabilidade e interoperabilidade (8.1). Este desafio é um problema inerente à própria indústria, dado que os fornecedores utilizam standards de comunicação diferentes (Bajic et al., 2021), que requerem uma readaptação de muitos equipamentos e tal representa um enorme custo. Adicionalmente, isto pode ter sido agravado pelo facto de a BA Glass ter expandido através de aquisições e fusões de grupos pré-existentes e, consequentemente, os equipamentos e sistemas serem muito diferentes de fábrica para fábrica.

4.4 Implicações dos Resultados

Em resumo, o caso estudado revela primordialmente que a falta de uma estratégia digital clara, tem repercussões ao longo de toda a implementação da I4.0. Para colmatar este desafio, a estratégia deve ser definida através de uma visão que claramente identifique quais os objetivos a atingir. Estes objetivos devem ser realistas, atingíveis, faseados e mensurados através de *KPI's* de implementação. De modo a implementar a I4.0 na manutenção em todo o grupo, de uma forma total e contínua, a gestão de topo deve estar ativamente envolvida nos projetos. Os participantes revelaram falta de coordenação, reflexo direto de não haver clareza quanto à pessoa de contacto ou coordenador do projeto na fábrica. Na liderança destes projetos, deve existir líderes inequívocos suportados pela gestão de topo, de modo a ultrapassar eventuais constrangimentos e coordenar melhor os esforços. Deve também ser fomentada uma estrutura mais flexível, capaz de reagir com agilidade aos problemas encontrados durante a implementação. Deve ser formada uma equipa interdepartamental de gestão de projetos com características de polivalência para coordenar e criar sinergias entre departamentos.

Ao nível da standardização de procedimentos e atividades de manutenção, a colaboração entre os departamentos de todas as fábricas é fundamental para encontrar as melhores práticas e uniformizar em todo o grupo, de modo a facilitar a implementação da I4.0. Adicionalmente, devem-se readaptar os equipamentos existentes e ser adquiridos equipamentos novos tendo em consideração os padrões de integração, escalabilidade e interoperabilidade requeridos pelos princípios da I4.0.

Uma vez que existem dificuldades de recrutamento no mercado de trabalho para pessoas com competências I4.0 adequadas, a falta de mão de obra qualificada deve ser colmatada através de planos de formação formais com especial incidência nas competências necessárias ao operador 4.0. Tem de haver compromisso da gestão de topo em alocar as capacidades necessárias para realizar as formações internas essenciais para o desenvolvimento das competências I4.0.

De modo a atenuar a resistência à mudança, uma comunicação clara dos objetivos, benefícios e esclarecimento de eventuais preocupações é fundamental para

garantir que o colaborador não irá reagir apenas por aversão natural ao desconhecido. Deve-se ainda promover a envolvimento dos operacionais nos projetos e incentivar a criatividade, geração de ideias, pensamento crítico e abertura a novos métodos. É imperativo garantir que a infraestrutura digital é capaz de suportar totalmente as alterações da I4.0 nos procedimentos e atividades antes da apresentação do projeto aos operacionais, uma vez que, as dificuldades e os desafios irão criar alguma resistência em aderir às novas ferramentas ou formas de trabalhar. Posto isto, devem-se ainda alocar junto com os recursos, as capacidades necessárias para implementar as alterações, uma vez que, o tempo disponível para implementar pode estar limitado pelas tarefas do dia a dia. Deste modo o colaborador pode ser resistente em aumentar o seu volume de trabalho.

5 Conclusões

O presente estudo de caso tinha como objetivo explorar os desafios associados à implementação da Indústria 4.0 na gestão da manutenção, na BA Glass. Segundo alguns autores, os desafios vão além do domínio tecnológico e compreendem diversos aspetos de gestão e organização das empresas Müller (2019) e as suas implicações são importantes e controversas não só de um ponto de vista tecnológico, mas também de um ponto de vista social Silvestri et al. (2020).

Tomando esta perspectiva como ponto de partida para a elaboração deste estudo, procurou-se analisar quais os desafios mais recorrentemente apontados pelos colaboradores de três níveis hierárquicos de uma empresa da indústria vidreira no decorrer de um projeto de implementação da I4.0. Identificados os principais desafios deste processo, procurou-se, também, analisar e avaliar a forma como os operários e os diferentes níveis de administração procuram e têm ultrapassado os obstáculos apontados.

Os resultados das entrevistas realizadas na BA Glass sugerem, que os desafios apontados se interrelacionam, não sendo por vezes fácil de os analisar de forma atomizada. Tal como verificado na literatura, os desafios estão ligados como ramos de uma árvore entre si e, por vezes, dão origem a novos desafios que anteriormente não

se verificavam. Não obstante, em geral, verificou-se um consenso entre os entrevistados sobre os desafios mais críticos estarem mais relacionados com a gestão e não tanto com as tecnologias.

Relativamente à primeira questão de investigação, sobre quais os principais desafios à implementação da I4.0 nas atividades de manutenção da BA Glass, verificou-se que os desafios mais citados foram as lacunas de comunicação, a resistência à mudança, as lacunas de formação e falta de mão de obra qualificada, a falta de standardização, assim como a falta de compromisso da gestão de topo, a falta de liderança e a falta de clareza na estratégia de implementação.

Relativamente à segunda questão de investigação, relacionada com a forma como se ultrapassam estes desafios, procurou-se identificar as soluções que poderiam permitir ultrapassar os desafios mais seminais e com mais interligações/implicações. Nomeadamente, de modo a implementar a I4.0 em todo o grupo deve haver um apoio muito forte da gestão de topo, coerência e coordenação dos projetos através de estratégias digitais claras, sendo possível mensurar cada etapa através de *KPI's*. Deve de haver para isso líderes evidentes capacitados para coordenar melhor os esforços. É necessária uma estrutura flexível e equipas multidisciplinares capazes de lidar de forma eficiente com os problemas detetados durante a implementação. Esta equipa deve conseguir assegurar a colaboração entre as fábricas de modo a definir melhores práticas e uniformização.

A uniformização é requerida para uma implementação total da I4.0, quer em equipamentos, processos ou atividades de manutenção. Deve haver ações de formação adequadas de modo a colmatar a falta de capacidades I4.0 e as dificuldades inerentes ao recrutamento externo.

Por último, mas não menos importante, é fundamental uma boa comunicação e cultura organizacional digital aberta a novas ideias. A envolvência juntamente com os recursos e capacidades adequadas para implementar a I4.0 dissuade a resistência à mudança e facilita a implementação.

Tendo em conta que esta dissertação se baseou num estudo de caso e dado o seu carácter exploratório e qualitativo, reportam-se as seguintes limitações.

Devido a ser um caso de estudo único, existe uma limitação óbvia na extrapolação das conclusões. O caso de estudo único trata um caso específico, numa envolvente específica com determinadas características. Assim salienta-se que os resultados do estudo podem não ser verificáveis noutros casos. A metodologia de investigação exploratória e qualitativa serve para ilustrar um tema complexo de uma forma detalhada, traduzindo-se na focalização do estudo, o que por sua vez, torna difícil gerar contribuições teóricas e práticas holísticas. No entanto, dada a especificidade da implementação da indústria 4.0 Dieste et al. (2022), os estudos de caso, únicos e múltiplos, são incentivados pela literatura, de modo a corresponder à falta de evidências empíricas que comprovem as perspetivas mais holísticas.

Outra limitação é o foco do estudo ser apenas nas fábricas portuguesas, o que acaba por não representar todo o grupo. Isto deveu-se a limitações de tempo para a realização de um estudo mais amplo. No entanto, as fábricas da Europa central e especialmente da região sudeste da Europa, encontram-se menos avançadas relativamente à I4.0. Estas fábricas são aquisições recentes e apresentam outras prioridades e investimentos, que prevalecem face à implementação da I4.0. Ainda que a informação recolhida sirva os propósitos deste estudo, esta limitação deve ser considerada ao generalizar os resultados e a sua transladação para diferentes regiões, países ou contextos culturais.

Apesar das limitações apresentadas, penso que este estudo acrescenta conhecimento relevante à literatura sobre a I4.0, quer do ponto de vista teórico, quer do ponto de vista prático, nomeadamente, como fonte de informação para melhores práticas de gestão na identificação e superação dos desafios da implementação da indústria 4.0 na área da manutenção.

6 Referências Bibliográficas

- Al-Najjar, B., Alsyouf, I., Habidin, N. F., Algabroun, H., & Jonsson, M. (2018). Maintenance 4.0 to fulfil the demands of Industry 4.0 and Factory of the Future. *Journal of Engineering Research and Application* 8, 20–31. <https://doi.org/10.9790/9622-081102203120>P
- Amaral, F. D. (2016). *Gestão da Manutenção na Indústria* (1st ed.). LIDEL.
- Antosz, K., Pasko, L., & Gola, A. (2019). The Use of Intelligent Systems to Support the Decision-Making Process in Lean Maintenance Management. *IFAC-PapersOnLine*, 52(10), 148–153. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.037>
- Associação dos Industriais de Vidro de Embalagem. (15 de outubro de 2022). Obtido em 15 de outubro de 2022, de AIVE: <https://aive.pt/associados/>
- Bajic, B., Rikalovic, A., Suzic, N., & Piuri, V. (2021). Industry 4.0 Implementation Challenges and Opportunities: A Managerial Perspective. *IEEE Systems Journal*, 15(1), 546–559. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2020.3023041>
- Bakhtari, A. R., Kumar, V., Waris, M. M., Sanin, C., & Szczerbicki, E. (2020). Industry 4.0 Implementation Challenges in Manufacturing Industries: an Interpretive Structural Modelling Approach. *Procedia Computer Science*, 176, 2384–2393. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.306>
- Bona, G. di, Cesarotti, V., Arcese, G., & Gallo, T. (2021). Implementation of Industry 4.0 technology: New opportunities and challenges for maintenance strategy. *Procedia Computer Science*, 180, 424–429. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.258>
- Bordeleau, F. E., Mosconi, E., & de Santa-Eulalia, L. A. (2018). Business Intelligence in Industry 4.0: State of the art and research opportunities. Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2018-January, 3944–3953. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2018.495>

- Castelo-Branco, I., Cruz-Jesus, F., & Oliveira, T. (2019). Assessing Industry 4.0 readiness in manufacturing: Evidence for the European Union. *Computers in Industry, 107*, 22–32. <https://doi.org/10.1016/J.COMPIND.2019.01.007>
- Chanter, B., & Swallow, P. (2007). *Building maintenance management* (2nd ed.). Blackwell Publishing.
- Chauhan, C., Singh, A., & Luthra, S. (2021). Barriers to industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. *Journal of Cleaner Production, 285*, 124–809. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124809>
- Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics, 226*, 107617. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617>
- Davies, R., Coole, T., & Smith, A. (2017). Review of Socio-technical Considerations to Ensure Successful Implementation of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing, 11*, 1288–1295. <https://doi.org/10.1016/J.PROMFG.2017.07.256>
- Dieste, M., Sauer, P. C., & Orzes, G. (2022). Organizational tensions in industry 4.0 implementation: A paradox theory approach. *International Journal of Production Economics, 251*, 108532. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108532>
- Dzulkifli, N., Sarbini, N. N., Ibrahim, I. S., Abidin, N. I., Yahaya, F. M., & Nik Azizan, N. Z. (2021). Review on maintenance issues toward building maintenance management best practices. *Journal of Building Engineering (Vol. 44)*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102985>
- European Standard EN 13306. (31 de janeiro de 2018). Obtido em 6 de outubro de 2022, de European Standards: <https://www.en-standard.eu/bs-en-13306-2017-maintenance-maintenance-terminology/>
- Ferreira, C., Silva, A., de Brito, J., Dias, I. S., & Flores-Colen, I. (2021). The impact of imperfect maintenance actions on the degradation of buildings' envelope components. *Journal of Building Engineering, 33*. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101571>

- Gilchrist, A. (2016). *Industry 4.0* (1.^a ed.). Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2047-4>
- James, A. T., Kumar, G., Tayal, P., Chauhan, A., Wadhawa, C., & Panchal, J. (2022). Analysis of human resource management challenges in implementation of industry 4.0 in Indian automobile industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 176, 121483. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121483>
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M., Antosz, K., Zhang, C., & Waszkowski, R. (2022). Assessing the Barriers to Industry 4.0 Implementation from a Maintenance Management Perspective - Pilot Study Results. *IFAC-PapersOnLine*, 55(2), 223–228. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.04.197>
- Jeschke, S., Brecher, C., Meisen, T., Özdemir, D., & Eschert, T. (2017). Industrial Internet of Things and Cyber Manufacturing Systems. *Springer* 3–19. https://doi.org/10.1007/978-3-319-42559-7_1
- Jones, M. D., Hutcheson, S., & Camba, J. D. (2021). Past, present, and future barriers to digital transformation in manufacturing: A review. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 936–948. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2021.03.006>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101, 107–119. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.06.004>
- Kane, G. C., Palmer, D., Phillips, A. N., Kiron, D., & Buckley, N. (2017). Achieving Digital Maturity. <http://sloanreview.mit.edu/digital2017>
- Kasabov, E. (2015). Start-Up Difficulties in Early-Stage Peripheral Clusters: The Case of IT in an Emerging Economy. *Entrepreneurship Theory and Practice*, 39(4), 727–761. <https://doi.org/10.1111/etap.12058>
- Katiraei, N., Battini, D., Battaia, O., & Calzavara, M. (2019). Human diversity factors in production system modelling and design: state of the art and future researches. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2544–2549. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.589>

- Klathae, V., & Ruangchoengchum, P. (2019). The Predictable Maintenance 4.0 by Applying Digital Technology: A Case Study of Heavy Construction Machinery. *Integrative Business and Economics Research*, 8(1).
- Kumar, R., Singh, R. Kr., & Dwivedi, Y. Kr. (2020). Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: Analysis of challenges. *Journal of Cleaner Production*, 275. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/J.MFGLET.2014.12.001>
- Longo, F., Nicoletti, L., & Padovano, A. (2017). Smart operators in industry 4.0: A human-centered approach to enhance operators' capabilities and competencies within the new smart factory context. *Computers and Industrial Engineering*, 113, 144–159. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.016>
- Matthew B, M., A Michael, H., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative data analysis: an expanded sourcebook (Vol. 3)*. SAGE Publications, Inc.
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194–214. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2018.10.005>
- Moktadir, M. A., Ali, S. M., Kusi-Sarpong, S., & Shaikh, M. A. A. (2018). Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 730–741. <https://doi.org/10.1016/J.PSEP.2018.04.020>
- Mosyurchak, A., Veselkov, V., Turygin, A., & Hammer, M. (2017). Prognosis of behavior of machine tool spindles, their diagnostics and maintenance. *MM Science Journal*, 2017(05), 2100–2104. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2017_12_201794

- Mourtzis, D., & Vlachou, E. (2018). A cloud-based cyber-physical system for adaptive shop-floor scheduling and condition-based maintenance. *Journal of Manufacturing Systems*, 47, 179–198. <https://doi.org/10.1016/J.JMSY.2018.05.008>
- Müller, J. M. (2019). Assessing the barriers to Industry 4.0 implementation from a workers' perspective. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2189–2194. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.530>
- Passath, T., & Mertens, K. (2019). Decision Making in Lean Smart Maintenance: Criticality Analysis as a Support Tool. *IFAC-PapersOnLine*, 52(10), 364–369. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.10.058>
- Pinto, J. P. (2013). *Manutenção Lean* (1st ed.). LIDEL.
- Pombal, T., Ferreira, L. P., Sá, J. C., Pereira, M. T., & Silva, F. J. G. (2019). Implementation of lean methodologies in the management of consumable materials in the maintenance workshops of an industrial company. *Procedia Manufacturing*, 38, 975–982. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.181>
- Reis, T. A. S., & Campos, F. C. (2020). Industry 4.0 influences on maintenance operation: A bibliometric analysis. *IFAC-PapersOnLine*, 53, 10633–10638. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.2823>
- Relatório de avaliação da maturidade I4.0. (12 de setembro de 2022). Obtido em 12 de setembro de 2022, de SHIFTto4.0: <https://www.shift2future.pt/diagnosticoi40>
- Remané, G., Hanelt, A., Wiesböck, F., & Kolbe, L. (2017). Digital Maturity in Traditional industries - an Exploratory Analysis. *ECIS*.
- Sahli, A., Evans, R., & Manohar, A. (2021). Predictive Maintenance in Industry 4.0: Current Themes. *Procedia CIRP*, 104, 1948–1953. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.11.329>
- Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean

- manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 816.
<https://doi.org/10.3926/jiem.1940>
- Sezer, E., Romero, D., Guedea, F., MacChi, M., & Emmanouilidis, C. (2018, agosto 13). An Industry 4.0-Enabled Low-Cost Predictive Maintenance Approach for SMEs. 2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings.
<https://doi.org/10.1109/ICE.2018.8436307>
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2016). Virtual Engineering Factory: Creating Experience Base for Industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, 47(1–2), 32–47. <https://doi.org/10.1080/01969722.2016.1128762>
- Shafiq, S. I., Sanin, C., Toro, C., & Szczerbicki, E. (2015). Virtual Engineering Object (VEO): Toward Experience-Based Design and Manufacturing for Industry 4.0. *Cybernetics and Systems*, 46(1–2), 35–50.
<https://doi.org/10.1080/01969722.2015.1007734>
- Shahzad, A., Musa, S., Aborujilah, A., & Irfan, M. (2014). The Scada review: system components, architecture, protocols and future security trends. *American Journal of Applied Sciences*, 11(8), 1418–1425.
<https://doi.org/10.3844/ajassp.2014.1418.1425>
- Silvestri, L., Forcina, A., Introna, V., Santolamazza, A., & Cesarotti, V. (2020). Maintenance transformation through Industry 4.0 technologies: A systematic literature review. *Computers in Industry*, 123.
<https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103335>
- Singh, S., Mahanty, B., & Tiwari, M. K. (2018). Framework and modelling of inclusive manufacturing system. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 32(2), 105–123.
<https://doi.org/10.1080/0951192X.2018.1550678>
- Testa, M., Malandrino, O., Sessa, M. R., Supino, S., & Sica, D. (2017). Long-term sustainability from the perspective of cullet recycling in the container glass

- industry: Evidence from Italy. *Sustainability* (Switzerland), 9(10).
<https://doi.org/10.3390/su9101752>
- Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52, 12–17. <https://doi.org/10.1016/J.PROCIR.2016.07.041>
- Trotta, D., & Garengo, P. (2018). Industry 4.0 key research topics: A bibliometric review. 2018 7th International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM), 113–117. <https://doi.org/10.1109/ICITM.2018.8333930>
- Veile, J. W., Kiel, D., Müller, J. M., & Voigt, K. I. (2020). Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 977–997.
<https://doi.org/10.1108/JMTM-08-2018-0270>
- Wittenberg, C. (2016). Human-CPS Interaction - requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 49(19), 420–425.
<https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2016.10.602>
- Yadav, G., & Paul, K. (2021). Architecture and security of SCADA systems: A review. *International Journal of Critical Infrastructure Protection* (Vol. 34). Elsevier B.V.
<https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100433>
- Yin, R. K. (2018). *Case Study Research and Applications: Design and Methods* (6.^a ed.). SAGE Publications, Inc.
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2020). The applications of Industry 4.0 technologies in manufacturing context: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, 59(6), 1922–1954.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1824085>

7 Anexos

Anexo A – Guião da Entrevista

Dimensão	Corporate	Manager 4.0	Operator 4.0
Comunicação	1. A nível da implementação da I4.0, como é que é feita a comunicação? o nível de comunicação que tem existido para implementar é suficiente?	1. A nível da implementação da I4.0, como é que é feita a comunicação? o nível de comunicação que tem existido para implementar é suficiente? (tanto recebida como transmitida aos colaboradores) 3. Como é que esta nova forma de trabalhar influencia a sua comunicação com os operadores? Existem algumas diferenças? Explique.	1- Sabe o que é a indústria 4.0? Acha que a informação que lhe foi transmitida é suficiente para implementar estas alterações? 2. Como é que esta nova forma de trabalhar influencia a sua comunicação com os chefes de Divisão/Equipa? Existem algumas diferenças? Explique.
Constrangimentos Organizacionais	1. Que desafios têm tido relativamente à cultura organizacional? 2. Considera que a indústria 4.0 tem vindo a fazer parte da cultura organizacional? Porque? 2. Sente uma mudança na sua mentalidade? 3. A estrutura organizacional atual difere da anterior? Considera que esta estrutura potencia a implementação da Indústria 4.0 ou devia ser alterada no futuro para funcionar melhor? Porque? 4. Existe resistência a esta mudança?	1. Que desafios têm tido relativamente à cultura organizacional? 2. Considera que a indústria 4.0 tem vindo a fazer parte da cultura organizacional? Porque? 2. Sente uma mudança na sua mentalidade? 3. A estrutura organizacional atual difere da anterior? Considera que esta estrutura potencia a implementação da Indústria 4.0 ou devia ser alterada no futuro para funcionar melhor? Porque? 4. Existe alguma resistência da sua parte relativamente a esta mudança? 5. Sente que está envolvido ou recompensado por estes projetos? Acha que o esforço para implementar está a valer a pena? 6. Quando a grande maioria da fábrica se tornar cada vez mais digital e autónoma, o que espera que aconteça?	1. Que desafios têm tido relativamente à cultura organizacional? 2. Considera que a indústria 4.0 tem vindo a fazer parte da cultura organizacional? Porque? 2. Sente uma mudança na sua mentalidade? 3. Existe alguma resistência da sua parte relativamente a esta mudança? 3. Sente que está envolvido ou recompensado por estes projetos? Acha que o esforço para implementar está a valer a pena? Quando a grande maioria da fábrica se tornar cada vez mais digital e autónoma, o que espera que aconteça?
Tecnologia/ infraestrutura	1. Que desafios têm tido relativamente à infraestrutura tanto digital como de hardware? em questões de compatibilidade etc, ... 2. Relativamente à Integração de Sistemas? o Hardware e software atual são suficientes para continuar a implementar a I4.0? Que melhorias poderia haver no futuro?	1. A nível de chão de fábrica, as infraestruturas de hardware e software são adequadas? Como é que este fator impacta as atividades de manutenção? 2. Como podia ser melhorado?	1. A nível da fábrica, as infraestruturas de hardware e software são adequadas? Funciona tudo bem? Como é que este fator impacta as atividades de manutenção? 2. Como podia ser melhorado?
Dados/informação	1. Quais são os principais desafios relativamente à aquisição processamento e tratamento dos dados?	1. Quais os principais desafios relativamente à aquisição processamento e tratamento dos dados? É possível extrair conhecimento desses dados? E os dados são úteis nesse sentido?	1. Relativamente aos dados apresentados pelos sistemas da I4.0, os dados são úteis? Consegue extrair conhecimento com esses dados?
recursos humanos	1- Existiu algum tipo de informação ou formação sobre a indústria 4.0? 2- Como avalia as competências dos colaboradores relativamente às necessidades futuras no âmbito da indústria 4.0? Está a fazer esforços para adquirir as competências que faltam? Ou utiliza como recurso as consultorias? (se consultorias, quais os desafios com os consultores?)	1- Recebeu algum tipo de informação ou formação sobre a indústria 4.0? 2- Como avalia as competências dos seus empregados quando se trata das necessidades futuras no âmbito da indústria 4.0? Está a fazer esforços para adquirir as competências que faltam?	1- Recebeu algum tipo de informação ou formação 4.0 da indústria? 2- Como avalia as suas competências quando se trata da indústria 4.0? Está a fazer os esforços para adquirir as competências que lhe faltam?
segurança	1. Quais os principais desafios relativamente à segurança e proteção de dados?	1. Quais os principais desafios relativamente à segurança e proteção de dados?	NA

Continuação do Guião da Entrevista

recursos financeiros	1- de um ponto de vista de recursos financeiros, como foi inicialmente a implementação da Indústria 4.0? E Quais os principais desafios? Continua a haver necessidade de investir durante a implementação?	1- de um ponto de vista de recursos financeiros, como foi inicialmente a implementação da Indústria 4.0? Os recursos estavam imediatamente disponíveis para a aquisição do que necessitava para a implementação? 2. Continua a haver necessidade de utilizar esses recursos?	NA
Sistema de Manutenção	1. Relativamente ao sistema de gestão da manutenção, Quais foram e são os principais desafios? perceciona que este esteja de acordo com os requisitos que são necessários para gerir a manutenção de acordo com as melhores práticas? Está subdesenvolvido? demasiado complexo?	1. Relativamente ao sistema de gestão da manutenção, Quais foram e são os principais desafios durante a implementação? perceciona que este esteja de acordo com os requisitos que são necessários para gerir a manutenção de acordo com as melhores práticas? Está subdesenvolvido? demasiado complexo? Como é que mudou a sua forma de trabalhar relativamente ao que já fazia? 3. Que benefícios perceciona com esta implementação?	1. Relativamente ao sistema de gestão da manutenção, Quais foram e são os principais desafios durante a implementação? A utilização é fácil é complexa? Por favor explique. 2. O que mudou relativamente a antes? Como é que mudou a sua forma de trabalhar relativamente ao que já fazia?
Standardização	1- Na implementação da indústria 4.0 todas as áreas seguem o mesmo standard ou existem diferenças entre estas?	1- como é que os departamentos de manutenção implementam a indústria 4.0? Seguem todos o mesmo standard ou existem diferenças? Como é que é que isto se processa?	1- Todos os departamentos de manutenção estão ativamente a implementar a indústria 4.0?
Liderança e Estratégia	1. Como é que foi definida a visão e os objetivos para a implementação da Indústria 4.0? 2. As iniciativas são acompanhadas ao longo dos anos ou são realizados projetos independentes anuais ou de acordo com o ciclo de investimentos? 3. Considera que a gestão de topo apoia e segue ativamente os projetos de transformação digital?	1. Conhece a visão estratégica por detrás desta transformação digital? 2. Considera que a gestão de topo apoia e segue ativamente os projetos de transformação digital? 3. Tem havido desafios relativamente à liderança corporate deste projeto? 4. Como está a ser liderada a implementação da indústria 4.0 ao nível da fábrica?	1. Conhece a visão estratégica por detrás desta transformação digital? 2. Como está a ser liderada a implementação da indústria 4.0 ao nível da fábrica? Tem havido desafios? Porque?

Anexo B – Características dos Entrevistados

Nível	Entrevistado	Função	Antiguidade na Empresa (anos)
C Corporativo	C1	Equipas de Implementação de Benchmark de Manutenção	7
	C2	Tecnologias da Informação	4
	C3	Digitalização	2
	C4	Digitalização	3
S Supervisor	S1	Composição e Fusão	1
	S2	Embalagem e Paletização	7
	S3	Manutenção Mecânica Geral	6
	S4	Supervisor Técnico AV	8
	S5	Supervisor Técnico MG	12
	S6	Manutenção Elétrica e Instrumentação	1
	S7	Controlo de Qualidade	1
	S8	Manutenção de Máquinas Produção	8
	S9	Manutenção de Zona Fria	8
O Operador	O1	Embalagem e Paletização	3
	O2	Assistente Técnico MG	2
	O3	Manutenção Geral	3
	O4	Manutenção Geral	1
	O5	Manutenção de Máquinas Produção	4
	O6	Manutenção Elétrica e Instrumentação	1
	O7	Manutenção Elétrica e Instrumentação	5
	O8	Manutenção Elétrica e Instrumentação	26

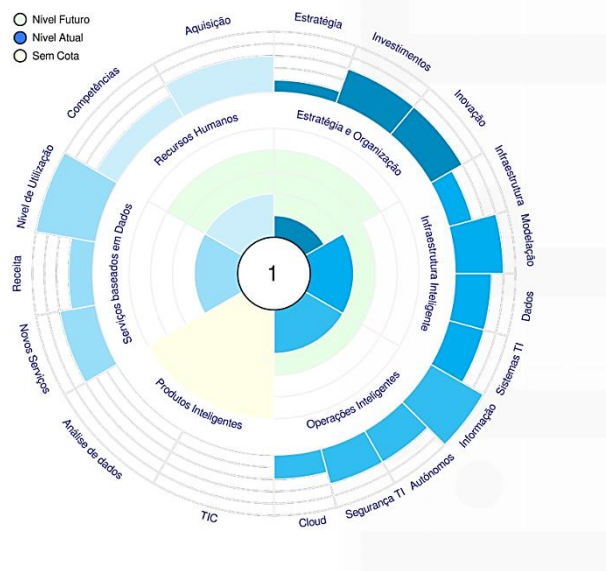
Anexo C – Resultados da Avaliação da Maturidade Digital



AVALIAÇÃO POR TEMAS

Na avaliação dos temas, de cada dimensão, obteve as seguintes classificações:

Dimensão	Tema	Nível
Estratégia e Organização	Estratégia	1
	Investimentos	3
	Gestão da Inovação	3
Infraestrutura Inteligente	Infraestrutura de equipamento	2
	Modelos Digitais	3
	Dados	3
	Sistemas TI	3
Operações Inteligentes	Partilha de informação	5
	Processos autónomos	3
	Segurança TI	3
	Cloud	2
Produtos Inteligentes	Funcionalidades TIC	0
	Análise de Dados	0
Serviços Baseados em Dados	Serviços Baseados em dados	3
	Fonte de Receita	2
	Nível de Utilização	5
Recursos Humanos	Competências Existentes	2
	Aquisição de Competências	3



Anexo D – Resumo das Percepções Intra Hierárquicas

Dimensão/Percepção	Corporativo	Supervisor	Operador
Comunicação	<ul style="list-style-type: none"> • É o desafio mais proeminente e reconhecido. • Existem problemas de comunicação e interação entre os serviços centrais e as fábricas. Existem problemas no desenvolvimento de projetos em conjunto com a fábrica. • A informação não está difundida da mesma forma em todos os níveis e em todos os locais, sendo envolvidas poucas pessoas. 	<ul style="list-style-type: none"> • A comunicação não é suficiente. Raramente é feita a comunicação de projetos corporativos formalmente na fábrica e quando são, apenas para pessoas fundamentais aos projetos. • A comunicação é recebida pelos supervisores que se encarregam de comunicar aos operacionais e dar formação, o que nem sempre se consegue fazer no dia a dia. • Não existem grandes alterações na forma de comunicação entre supervisor e operador, mas a comunicação é mais rápida 	<ul style="list-style-type: none"> • Operadores reconhecem apenas conceitos muito gerais da I4.0. • A comunicação foi feita pela chefia direta, mas de uma forma informal e pouco detalhada. • No dia a dia, a nova forma de trabalhar facilitou a comunicação através de dispositivos móveis onde recebem a informação de forma clara e facilita colocar questões.
Constrangimentos Organizacionais	<ul style="list-style-type: none"> • Existe consenso que a mentalidade sobre a I4.0 a nível corporativo está a mudar, mas a nível da fábrica existe resistência de alguns operadores e supervisores. • É consensual que a reestruturação organizacional ocorrida, potencia a implementação da I4.0 e adequa o foco dos funcionários. No entanto, não existem KPI's de manutenção ou gestão de projetos que o avaliem. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe consentimento sobre haver muita resistência à mudança, sobretudo nas pessoas mais antigas, com a exceção de um departamento. • Relativamente à estrutura organizacional, as opiniões dividem-se. Metade não tem conhecimento sobre a estrutura e a outra metade afirma que a estrutura como está, negligencia a implementação, já que o esforço requerido por parte da fábrica é incompatível com a carga de trabalho do dia a dia. • É inequívoco que já existem benefícios visíveis com a implementação da I4.0. No entanto, as opiniões dividem-se se os benefícios recompensam o esforço. 	<ul style="list-style-type: none"> • É consensual que nos mais jovens vê-se uma mudança de mentalidade, mas ainda existe resistência nos mais antigos. • Todos os inquiridos se sentem recompensados no esforço de implementação através dos benefícios que daí advêm. • No futuro, esperam que o quadro de funcionários seja atualizado para as novas competências.

Continuação do Anexo D

Dimensão/Percepção	Corporativo	Supervisor	Operador
Tecnologia e Infraestrutura	<ul style="list-style-type: none"> • Existe consenso de que a infraestrutura podia ser melhorada. • Existem equipamentos muito diferentes em todas as fábricas e alguns muito antigos, o que torna difícil recolher e organizar a informação. • Relativamente à infraestrutura existia um desalinhamento entre a equipa de digitalização e a de projetos industriais. Existem problemas de compatibilidade dos equipamentos com a I4.0 e de rede (wifi). 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe acordo entre todos, que as infraestruturas tecnológicas não são de todo as mais adequadas. • Os equipamentos estão desatualizados face às necessidades da I4.0 e torna a recolha de dados difícil ou impossível. • É referido que existem problemas no arranque dos projetos, devido ao software e hardware não estarem realmente prontos, o que leva a que os colaboradores se foquem apenas no pior e não nas vantagens. • Metade refere ainda a falta de rede (wifi) em toda a fábrica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Referem problemas dos softwares no arranque dos projetos. • Dificuldades em utilizar os sistemas de manutenção devido à falta de rede (wifi).
Gestão de Dados e Informação	<ul style="list-style-type: none"> • Está a haver esforços para eliminar softwares intermediários e recolher dados diretos, mas tem de haver uma standardização. • Os dados a processar surgem em formatos diferentes e com frequência dissemelhante, o que tem impacto nas capacidades de Data Science e Analytics. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existe concordância geral que há desafios quanto ao tratamento dos dados. Os dados são úteis e estão corretos, mas não há uma análise frequente e automática. • Sem este processamento contínuo, os dados são úteis, mas demasiado primários o que faz com que a análise seja mais demorada ou sejam analisados apenas quando há dúvidas. • Por vezes as análises têm de ser feitas consultando diferentes softwares que não estão integrados e a análise resultante nunca constitui histórico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Os operadores estão de acordo que os dados extraídos são úteis e ajudam no seu dia a dia. • Referem a fraca integração de todos os dados que necessitam, pois têm de consultar muitos softwares diferentes • Referem falta de formação para analisar alguns dados

Continuação do Anexo D

Dimensão/Percepção	Corporativo	Supervisor	Operador
Recursos Humanos	<ul style="list-style-type: none"> Houve formação de digitalização e I4.0 mas apenas em termos gerais e não foi disponibilizada a todos (nomeadamente operadores). Relativamente a competências, estas ainda não são as mais adequadas. Existem problemas em contratar pessoal apto para a I4.0. A BA planeia apostar, no entanto, em formação interna e externa, assim como no re-skilling dos colaboradores. 	<ul style="list-style-type: none"> As opiniões dividem-se quanto à formação. A maioria considera que teve formação, mas, apenas conceitos gerais e sobre algumas ferramentas. Existem supervisores que não tiveram qualquer formação. Relativamente às competências, estas não são as mais adequadas, mas, existe progresso. A maioria revela que não percebeu estar a haver grandes esforços no sentido de melhorar estas competências. Estas competências não são essenciais e por isso são secundárias, mas está se a levar em conta na contratação de novos funcionários. 	<ul style="list-style-type: none"> As opiniões são idênticas quanto à formação. Os que tiveram referem que foi uma formação informal e incompleta feita pela chefia direta. As competências não são suficientes o que leva a demorar mais tempo a aprender. Reconhecem que começam a perceber esforços por parte da empresa para dar mais formação formal.
Recursos Financeiros	<ul style="list-style-type: none"> É reconhecido um amadurecimento da política de investimentos da BA. Antes era mais difícil obter estes recursos e o investimento inicial era por vezes reduzido face ao proposto. O principal desafio não é atualmente o investimento em si, pois é algo que a direção vê valor. O desafio é justificar o investimento na digitalização e I4.0 de uma forma concreta. 	<ul style="list-style-type: none"> É razoável entre todos, o meio termo imposto pelo corporativo quanto aos investimentos. No entanto, continua-se a precisar de utilizar estes recursos durante os projetos porque estes não se encontravam totalmente disponíveis no início. Revelam ainda a concordância de que a falta de aplicação rápida desses recursos fez atrasar ou inviabilizar alguns projetos. 	<ul style="list-style-type: none"> NA

Continuação do Anexo D

Dimensão/Percepção	Corporativo	Supervisor	Operador
Cibersegurança	<ul style="list-style-type: none"> • Impacta a implementação apenas no sentido em que por vezes os projetos têm de ser redesenhados. Isto pode acabar por atrasar os projetos em alguns casos. • Existe consenso que é importante, mas tem de haver um balanceamento adequado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não foram detetados quaisquer desafios. 	<ul style="list-style-type: none"> • NA
Estandardização	<ul style="list-style-type: none"> • É um desafio colossal devido à falta de estandardização dos protocolos de comunicação. • Os projetos foram implementados de forma individual. As diferenças devem-se também à prioridade que as fábricas deram à implementação. • Por vezes os projetos não passam por todos os departamentos de IT, o que cria paralelismos. • O contexto em cada uma das 12 fábricas é muito diferente o que dificulta a estandardização. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alguns supervisores não têm opinião por não terem sido apresentados os projetos dos outros. • Os que têm opinião, revelam que é um desafio devido ao fraco envolvimento do pessoal da fábrica. • Existe uma desigualdade entre os departamentos de manutenção em que uns estão a implementar outros não. • A implementação no chão de fábrica é realizada pelos supervisores e não por uma equipa de implementação. Isto faz com que ao longo do tempo exista uma divergência na forma de trabalhar que as pessoas se habituam e isso dificulta a estandardização. 	<ul style="list-style-type: none"> • Existem diferenças porque nem todos os departamentos estão a implementar. Depende da prioridade que é dada a estes projetos. • O facto de a BA comprar equipamentos inadequados ou incompletos para a I4.0 por motivos económicos, leva a que se gaste mais em sensores e hardware adicional para obter a informação. Ainda assim nem sempre é compatível.
Liderança e Estratégia	<ul style="list-style-type: none"> • A visão foi definida pelo quadro executivo da BA por via de consultoria com objetivos de curto prazo, apoiados fortemente. • Os projetos da digitalização e I4.0 revelaram que a visão estava desenquadrada, o que gerava um grande desafio na gestão das expectativas de topo. • A visão alterou-se e agora aposta-se mais na experiência do utilizador e os projetos são mais longos. • É acordado que a gestão de topo apoia fortemente todos os projetos. 	<ul style="list-style-type: none"> • A grande maioria não sabe qual é a visão. Os que têm opinião, estas são divergentes. • Existe concordância maioritária que há apoio da gestão de topo, mas o apoio é tendenciosamente mais para os projetos de produção em detrimento da manutenção. • Existem desafios na liderança corporativa, na disponibilidade e prioridade dada ao projeto. • A implementação na fábrica é liderada de forma informal, com responsabilidades distribuídas e sem um líder bem definido. 	<ul style="list-style-type: none"> • Não são conhecidos a visão ou objetivos. • É implementado pela chefia de cada divisão e o gabinete técnico. • Os operadores participam ativamente na melhoria e proposta de alterações. • Existe desafios na difusão em outros departamentos de manutenção orientados mais para a produção. • O estado da implementação difere de fábrica para fábrica.