

MESTRADO EM CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO

# Cenários de aplicação de Tecnologias Imersivas no âmbito da Indústria 4.0: necessidades informacionais dos trabalhadores

Ana Domingues

M

2021

UNIDADES ORGÂNICAS ENVOLVIDAS

FACULDADE DE

ENGENHARIA

FACULDADE DE

LETRAS

Ana Domingues

# Cenários de aplicação de Tecnologias Imersivas no âmbito da Indústria 4.0: necessidades informacionais dos trabalhadores

Immersive Technologies Application Scenarios in the context of  
Industry 4.0: workers' informational needs

Dissertação realizada no âmbito do Mestrado em Ciência da Informação, orientada  
pelo Professor António Lucas Soares e coorientada pela Professora Filipa Ramalho

## Membros do Júri

Presidente: Professora Doutora Olivia Pestana

Arguente: Professor Doutor António Abreu

Orientador: Professor Doutor António Lucas Soares

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

julho de 2021



## Agradecimentos

Chego agora ao fim de dois anos muito intensos e completamente fora daquilo que é o normal. Quando, no ano de 2019, fui aceite no Mestrado em Ciência da Informação não imaginava o quanto estes dois anos iriam mudar a minha vida. Conheci várias pessoas fantásticas que mais do que colegas de curso se tornaram amigos fora da faculdade, deparei-me com professores igualmente fantásticos e que muito prazer me deram em assistir às suas aulas e em aprender o máximo possível daqueles conteúdos lecionados. Não podia, obviamente, deixar de agradecer a todos eles, pois estes dois anos não teriam sido o que foram sem eles e sem as experiências passadas em conjunto.

Mas nem tudo foi um mar de rosas, já que um vírus decidiu intrometer-se nas nossas vidas e deixá-las de pernas para o ar. Pois, o tão atualmente falado Covid-19 decidiu aparecer e todos nós nos tivemos de adaptar a uma nova realidade de confinamento e restrições máximas no que respeita a saídas de casa, o que nos levou a ficar, por vários meses, restringidos às nossas quatro paredes. Todos passamos pelo mesmo e todos tiramos várias conclusões sobre isto, eu, por exemplo, que nunca tive quaisquer problemas em passar um fim de semana inteiro em casa a ler um bom livro, dava por mim a desejar poder sair, nem que fosse para ir deitar o lixo no caixote à rua. Nestes momentos tão complicados foi com a minha família que pude contar, e não poderia, de todo, deixar de agradecer aos meus pais e à minha irmã por todos os momentos em família nos quais jogamos jogos de tabuleiro ou fizemos concursos de karaoke, para descontrair e passar bons momentos juntos sem pensar naquilo que estava a acontecer no mundo fora de nossa casa. Estes momentos foram fulcrais para me manter animada e focada nos momentos em que o devia estar, bem como para manter-me sã psicologicamente devido ao facto de não podermos sair de casa.

Mas não foi apenas com a minha família que pude contar. Quando a vida voltou um bocadinho ao normal e já não havia tantas restrições a nível de deslocações, tive também bons momentos de descontração com algumas amigas, o que também me ajudou a desanuviar para voltar ao trabalho com as energias renovadas. Uma dessas amigas teve especial destaque durante a realização de uma boa parte deste projeto, pois era com ela que descontraía sempre que me sentia mais pressionada ou bloqueada a nível de trabalho falando de algo que ambas adoramos: livros. A estas minhas amigas (que saberão quem são) quero agradecer imenso por toda a paciência e por todos os conselhos fantásticos que me foram dando, bem como por todo o apoio e todos os momentos de descontração que, mesmo não o sabendo, me ajudaram muito a poder

desanuviar do stress que estar fechada em casa a trabalhar num mesmo projeto durante seis meses me causou.

É também de extrema importância referir todos os envolvidos na realização deste projeto, desde os entrevistados das empresas contactadas, aos investigadores e professores da FEUP e do INESC-TEC, pois sem eles não me teria sido possível realizar este trabalho, já que formaram uma parte fulcral do mesmo.

Por fim, mas não menos importante, queria deixar o meu agradecimento ao professor doutor António Lucas Soares e à professora Filipa Ramalho por todo o acompanhamento, pelas sugestões e conselhos dados ao longo do trabalho, por toda a paciência tida quando os resultados apresentados não eram aquilo que deveriam ser e pela persistência que mantiveram em mim, mostrando-me terem confiança no meu trabalho e em mim enquanto profissional da informação. Sem os professores este trabalho não teria, de todo, sido possível, e tenho muito a agradecer aos dois.



## Resumo

O presente trabalho tem por objetivo o estudo de tecnologias imersivas e a sua aplicação na Indústria 4.0, apresentando-as como uma mais-valia para as empresas. Com os constantes avanços tecnológicos e com o surgimento de sucessivas soluções para possíveis problemas, torna-se fulcral a adoção, pelas empresas, de recursos que lhes permitam alcançar uma maior vantagem competitiva sobre os seus principais concorrentes.

A implementação de tecnologias imersivas na indústria de manufatura, tem como princípio auxiliar os trabalhadores no que respeita à realização dos processos de trabalho realizado no chão de fábrica, bem como zelar pela segurança dos mesmos e ainda aumentar a produtividade e garantir uma maior qualidade do produto.

Ao longo deste trabalho foram recolhidas informações de elevada importância: a literatura recolhida e as entrevistas a casos reais de empresas industriais, possibilitaram desenhar cenários nos quais, em diferentes áreas e contextos, se podem aplicar dispositivos que utilizem este tipo de tecnologias, por forma a tornar o trabalho mais simples para o trabalhador. Um dos exemplos desenvolvidos nos cenários corresponde à necessidade de um trabalhador resolver uma falha numa das máquinas de produção do chão de fábrica, isto é, ao processo de manutenção das máquinas, que pode ser realizado de forma simples e rápida através de um dispositivo imersivo. Foi, também, criada uma classificação facetada, extremamente utilizada por Profissionais da Informação, que teve por objetivo organizar as informações recolhidas e o conhecimento que daí foi gerado acerca das tecnologias imersivas e dos dispositivos que utilizam este tipo de tecnologia, sendo que esta classificação deu, posteriormente, origem a um diagrama de classes, cujo objetivo é armazenar um sistema de classificação facetada num formato legível tanto por máquinas como por humanos e cujo armazenamento, transmissão e manipulação sejam fáceis de fazer.

**Palavras-chave:** Dispositivos imersivos; Indústria 4.0; Realidade Virtual; Realidade Aumentada; Realidade Mista; Tecnologia Imersiva; Virtualidade Aumentada

## Abstract

The present work aims at the study of immersive technologies and their application in Industry 4.0, presenting them as an added value for companies. With the constant technological advances and the emergence of successive solutions to possible problems, it becomes central to the adoption by companies of resources that allow them to achieve a greater competitive advantage over their main competitors.

The implementation of immersive technologies in the manufacturing industry, has as a principle assisted workers with the performance of the work processes performed on the shop floor, as well as to ensure the safety of them and increase productivity and ensure a higher quality of the product.

Throughout this work, information of great importance was collected: the literature collected and the interviews with real cases of industrial companies, made it possible to design scenarios in which, in different areas and contexts, devices that use this type of technologies can be applied, in order to make work simpler for the worker. One of the examples developed in the scenarios corresponds to the need for a worker to solve a failure in one of the production machines on the shop floor, that is, the maintenance process of the machines, which can be carried out simply and quickly through an immersive device. A faceted classification was also created, extremely used by Information Professionals, which aimed to organize the information collected and the knowledge that was generated about the immersive technologies and devices that use this type of technology, and this classification subsequently gave rise to a class diagram, whose purpose is to store a faceted classification system in a machine-readable format for both machines and humans and whose storage, transmission and handling are easy to do.

**Keywords:** Immersive devices; Industry 4.0; Virtual Reality; Augmented Reality; Mixed Reality; Immersive Technology; Augmented Virtuality



## Índice de tabelas

Tabela 1 - Diferentes abordagens da criação de Cenários.....	27
Tabela 2 - Classificação Facetada: Características Técnicas.....	33
Tabela 3 - Classificação Facetada: Características de Qualidade.....	35
Tabela 4 - Classificação Facetada: Características Funcionais.....	35

## Índice de figuras

Figura 1 - Árvore de Objetivos.....	5
Figura 2 - Revoluções Industriais.....	<b>Erro! Marcador não definido.</b>
Figura 3 - Diferentes abordagens de criação de Cenários.....	27
Figura 4 - Excerto do Diagrama de Classes.....	37
Figura 5 - Excerto do Diagrama de Classes: Tipos de aplicação.....	38
Figura 6 - Processo de investigação.....	39

## Índice de siglas

VR - Realidade Virtual

AR - Realidade Aumentada

MR - Realidade Mista

IAR - Realidade Aumentada Industrial

i4.0 - Indústria 4.0

IoT - Internet das Coisas

CPS - Sistemas Ciber-Físicos

DSR - Design Science Research

AI - Inteligência Artificial

MDE -Engenharia Orientada por Modelos (Model-Driven Engineering)

# Índice

Índice de tabelas .....	x
Índice de figuras .....	x
Índice de siglas .....	x
Índice .....	xi
1. Introdução .....	1
1.1. Motivação.....	2
1.2. Descrição do problema .....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.4. Estrutura do trabalho .....	5
2. Revisão de Literatura.....	6
2.1. Indústria 4.0 .....	6
2.2. Tecnologias Imersivas na Indústria 4.0 .....	8
2.3. Cenários.....	22
2.4. Classificação das Tecnologias Imersivas.....	30
3. Abordagem metodológica.....	39
4. Construção de Cenários .....	41
4.1. Recolha de informação.....	41
4.2. Análise da informação recolhida.....	42
4.3. Cenários de aplicação das tecnologias imersivas na Indústria 4.0.....	44
5. Conclusões.....	52
6. Referências.....	55
7. Anexos .....	67

# 1. Introdução

Atualmente, é possível verificar que os avanços tecnológicos são constantes e com eles surgem sucessivas soluções para possíveis problemas que possam surgir. Quando se unem estas evoluções ao mundo industrial, surge um conceito relacionado com uma nova Revolução Industrial, a chamada Indústria 4.0 (i4.0). Desta forma é possível assistir a quatro mudanças paradigmáticas, sendo uma destas a crescente importância do papel do trabalhador em contextos de processos intensivos de conhecimento de produção cada vez mais complexos e exigentes. Tendo por objetivo auxiliá-los no que respeita à realização destes processos, torna-se relevante investigar e contribuir para o desenvolvimento e implementação das tecnologias imersivas neste novo contexto industrial.

Cabe, agora, definir aquilo em que consiste o termo “tecnologias imersivas”, bem como referir que tipo de tecnologias existem e aquilo que cada uma tem por objetivo fazer. As “tecnologias imersivas” correspondem a tipos de tecnologia que estendem ou criam uma realidade, aproveitando todo o espaço em torno do utilizador (Handa et al., 2012), isto é, as “tecnologias imersivas” procuram simular um novo mundo, através de equipamentos digitais, gerando uma sensação de envolvimento e imersão, por parte dos utilizadores, levando a que estes se sintam, de facto, dentro desse novo mundo, criado digitalmente.

Ao longo do presente trabalho de dissertação serão abordados três tipos de tecnologias imersivas, sendo estes: a **Realidade Virtual** ou VR que corresponde a uma sensação, por parte do utilizador, de se estar fisicamente presente num mundo que não é físico, utilizando, para tal, imagens, sons e outros estímulos criados computacionalmente para esse fim; a **Realidade Aumentada** ou AR que corresponde à integração, no mundo real, de elementos ou informações virtuais, através de uma câmara e/ou da utilização de sensores de movimento; e, por fim, a **Realidade Mista** ou MR que corresponde à junção de características utilizadas nos dois tipos de realidades acima mencionados, isto é, insere objetos virtuais no mundo real (VR), permitindo ao utilizador a interação com esses mesmos objetos (AR), dando, assim, origem a novos ambientes nos quais o físico e o virtual coexistem e interagem em tempo real (Handa et al., 2012).

Contudo, e como sempre acontece aquando da aplicação de novas tecnologias, a aplicação de tecnologias imersivas num contexto industrial apresenta vários desafios. No que diz respeito ao contexto a ser abordado no presente trabalho, a aplicação de

tecnologias imersivas na Indústria 4.0, concentra-se, na maior parte das vezes, no objetivo de apoiar o trabalhador humano, em vários processos associados à indústria de manufatura. Exemplo dos processos realizados por humanos que beneficiariam da utilização deste tipo de tecnologias são o processo de operação, a garantia da qualidade dos produtos, os processos de manutenção e assistência técnica, e, ainda, o processo do desenvolvimento do produto. Desta forma, um dos maiores desafios no que respeita à aplicação de tecnologias imersivas, é garantir que este tipo de aplicação responda às verdadeiras necessidades do trabalhador humano, incluindo as suas necessidades de informação, sendo esta a componente fundamental de muitas destas aplicações.

### 1.1. Motivação

Tendo o acima referido em consideração, o presente trabalho de dissertação pretende contribuir para este desafio, abordando temas como as dificuldades que os trabalhadores sentem relativamente à informação que necessitam para proceder ao seu trabalho, bem como o desenho de cenários que permitam estudar a implementação de tecnologias imersivas e, sobretudo, permitam identificar as necessidades de informação e o comportamento informacional do trabalhador com a aplicação das mesmas. Assim, com a realização deste trabalho e através do desenho de cenários, espera-se a possibilidade de contribuição para uma aplicação mais eficaz das tecnologias imersivas na indústria de manufatura em Portugal, visando o aumento das capacidades do trabalhador no processo de tomada de decisão, bem como a garantia de melhorias significativas que esta implementação poderá trazer no que respeita às condições e segurança de trabalho e saúde para o trabalhador.

O desenvolvimento deste tema como assunto de dissertação de mestrado teve como principais motivações o interesse pessoal por uma vertente mais tecnológica na área da Ciência da Informação, bem como a possibilidade de contactar com uma realidade de trabalho que apresenta um problema informacional para o qual há a necessidade de uma resposta eficiente. Relativamente a uma vertente mais investigativa, considera-se a realização deste trabalho de extrema importância uma vez que se propõe o desenvolvimento de alguns cenários de aplicação desenhados tendo em consideração não só as vantagens e necessidades dos processos de negócio empresariais, como também as necessidades do trabalhador em contexto de trabalho.

É possível afirmar que as tecnologias imersivas chegaram para ficar e que podem tornar-se uma mais-valia na Indústria 4.0, quando bem aplicadas. Sabendo que este é

ainda um tema recente e sobre o qual não há muita informação disponível, o que se revelou como sendo uma das maiores dificuldades em alguns pontos do trabalho, nomeadamente aquando da realização da revisão de literatura, considera-se de extrema importância a realização do presente trabalho com o objetivo de colmatar, até certo ponto, esta falta de informação que correlaciona a indústria de manufatura com as tecnologias imersivas e o estudo do comportamento informacional, no que respeita às necessidades informacionais do trabalhador. Relativamente à utilização de cenários de aplicação, é possível referir que estes permitem que o planeamento da aplicação de tecnologias imersivas seja mais eficiente, prevenindo falhas, uma vez que têm por objetivo esquematizar todos os pontos que devem ser verificados aquando da aplicação de algum tipo de tecnologia.

## 1.2. Descrição do problema

A exploração, por parte de empresas e investigadores, das aplicações práticas das tecnologias imersivas na indústria de manufatura, é algo bastante recente, contudo, este tipo de aplicação existe há já bastante tempo (Ferraguti et al., 2019; Lu et al., 2020). As tecnologias imersivas, quando combinadas com a internet das coisas (IoT), a análise de dados e a inteligência artificial (AI), possibilitam a criação de ferramentas centradas no apoio aos trabalhadores nas suas atividades individuais e colaborativas (Thomas, 2019). Devido à popularização dos Sistemas Ciber-Físicos (CPS), ao desenvolvimento das novas redes de comunicação baseadas em 5G e às infraestruturas em nuvem, o problema de sobrecarga de informação ("information overload") das empresas está a crescer a uma grande velocidade (Lu et al., 2020; Qi et al., 2019).

Independentemente do atual desenvolvimento das tecnologias e da aplicação de abordagens como a VR, a AR ou a MR, num contexto da indústria de manufatura, a complexidade informacional que o caracteriza levanta novos problemas no campo da informação. Isso acontece num contexto sociotécnico, caracterizado por processos intensivos de colaboração entre pessoa-máquina, máquina-máquina e pessoa-a-pessoa. Há poucos estudos que reflitam este problema no sentido de perceber e desenvolver as aplicações dos sistemas imersivos, centrados no trabalhador e, por conseguinte, nas suas reais necessidades para promover a melhoria das suas condições de trabalho quer do ponto de vista de ergonomia física (ex.: segurança na colaboração com robôs ou gestos musculares repetitivos, etc.) como de ergonomia cognitiva (ex.: aumento da sua capacidade de tomada de decisão disponibilizando apenas a informação necessária, quando e onde for necessária).

Assim, torna-se importante estudar este problema do ponto de vista informacional no sentido de identificar e caracterizar melhor as necessidades informacionais dos trabalhadores de forma a promover uma maior eficácia na adoção destas tecnologias no contexto da indústria de manufatura. O propósito do presente trabalho é, por isso, a criação de cenários de aplicação de tecnologias imersivas na Indústria 4.0, que permitam identificar e caracterizar as reais necessidades dos trabalhadores do ponto de vista da informação que necessitam no contexto do seu trabalho.

### 1.3. Objetivos

De forma a ser possível prosseguir com a realização do presente estudo, torna-se imprescindível a definição dos objetivos a serem alcançados, para tal, foram elaboradas as seguintes questões e subquestões de investigação, às quais se pretende dar resposta no final do trabalho:

***RQ1 Como utilizar cenários de aplicação de forma a tornar mais eficaz o planeamento da aplicação de tecnologias imersivas num contexto de trabalho industrial?***

***RQ1.1 Que aspetos de análise podem ser utilizados na avaliação dos cenários no contexto industrial, de forma a identificar e caracterizar as necessidades informacionais do trabalhador?***

Foram, então, definidos os seguintes três objetivos os quais originaram a árvore de objetivos abaixo apresentada:

- Obj1: Identificar e desenvolver cenários de aplicação de sistemas imersivos, em contexto industrial, capazes de descrever e caracterizar as tarefas e interações do trabalhador-humano em contexto de trabalho;
- Obj2: Definir um modelo para análise e avaliação de cenários em contexto industrial, capaz de identificar, relacionar, descrever e caracterizar as necessidades informacionais dos trabalhadores-humanos tendo como base o estudo do comportamento informacional e o estudo da informação em contexto de trabalho;
- Obj3: Avaliar e validar os cenários desenvolvidos em contextos de demonstração de tecnologias da Indústria 4.0 suportados num caso real.



*Figura 1 - Árvore de Objetivos*

#### 1.4. Estrutura do trabalho

O presente relatório encontra-se organizado da seguinte forma: primeiramente é apresentado o resumo do trabalho com as respetivas palavras chave, em seguida encontra-se a introdução ao trabalho, na qual são mencionados a motivação, a descrição do problema, os objetivos para o trabalho e a estrutura do mesmo; no segundo ponto encontra-se a revisão de literatura realizada, na qual são apresentados pontos relativos aos principais tópicos a serem trabalhados (Indústria 4.0, Tecnologias imersivas, Cenários de aplicação; Classificação das Tecnologias Imersivas) e a abordagem metodológica do trabalho. Posteriormente é apresentado o ponto correspondente aos Cenários, no qual estão presentes os subpontos acerca do levantamento de informações (correspondente ao processo de construção e aplicação de um guião de entrevistas), da análise das informações obtidas através das mesmas e dos principais resultados (que se traduzem no desenho dos cenários). Por fim são apresentadas as conclusões retiradas após a realização do trabalho, bem como pretensões para trabalho futuro.

## 2. Revisão de Literatura

Neste capítulo serão referidos os principais conceitos a serem abordados no presente estudo, bem como a principal literatura atualmente existente acerca da Indústria 4.0 e das distintas tecnologias imersivas. Assim, apresenta-se como objetivo do mesmo a introdução ao tema da Indústria 4.0 e das tecnologias imersivas, bem como um estudo destes mesmos conceitos, de forma a ser possível realizar um melhor trabalho.

Serão, igualmente, estudados tópicos como a aplicação das tecnologias imersivas na Indústria 4.0, benefícios e problemas na sua aplicação, bem como alguns exemplos de casos de estudo, de forma que seja possível desenhar os melhores cenários de aplicação. Este é também um tópico que será abordado de forma a ser perceptível a sua definição, para que servem e como desenhar os cenários de aplicação.

### 2.1. Indústria 4.0

Assim como é comum acontecer com uma grande parte das atuais tecnologias existentes, a noção de Indústria 4.0 não é um conceito novo. Segundo Alasdair Gilchrist refere no seu livro, este conceito é o renascimento de um outro conceito mais antigo, tendo em conta a utilização de tecnologias mais desenvolvidas. Este refere ainda que a Indústria 4.0 é, essencialmente, uma abordagem revista da indústria transformadora que utiliza as mais recentes invenções e inovações tecnológicas (Gilchrist, 2016).

O termo “Indústria 4.0” tem-se vindo a disseminar a um nível mundial sendo marcado por um conjunto de mudanças no que concerne a processos de manufatura, design de produto, operação e sistemas relacionados com a produção, originando um aumento do valor da cadeia organizacional e no próprio ciclo de vida do produto.

A Indústria 4.0 é considerada, pelos estudiosos, como sendo a quarta revolução industrial, transferindo os princípios da Internet das Coisas (IoT). Esta constrói objetos equipados com sensores e unidades de controlo inteligentes (Cyber Physical Systems – CPS), que são capazes de trocar informações entre si ou com plataformas de software de alto nível, de forma totalmente independente. A integração de CPS na produção, na logística e nos serviços das atuais práticas industriais, poderia transformar as fábricas como hoje são conhecidas, em fábricas da Indústria 4.0 com um potencial económico significativo e uma maior vantagem competitiva. Segundo os autores do artigo "A cyber-

physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems", tendo por base os Sistemas Ciber-Físicos, a Internet das Coisas e a Internet dos Serviços, é possível verificar que os processos de produção tendem a tornar-se cada vez mais eficientes, autónomos e personalizáveis (J. Lee et al., 2014).

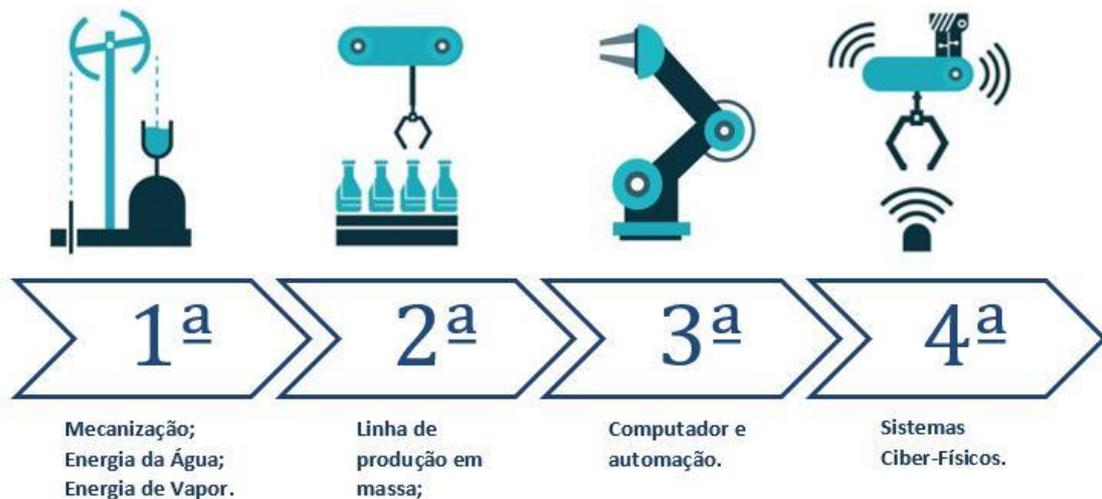


Figura 2 - Revoluções Industriais

A introdução da Indústria 4.0 nas fábricas atuais pode apresentar melhorias significativas, não apenas a nível do trabalho como também a nível económico. Através do seu artigo, Duško Lukač refere, a título de exemplo, que o Instituto Fraunhofer e a Associação do setor Bitkom realizaram um estudo no qual afirmam que, a introdução desta nova Indústria 4.0 nas fábricas alemãs pode gerar um aumento de 267 mil milhões de euros, no valor bruto anual, até ao ano de 2025 (Lukač, 2016).

Gilchrist, em 2016, refere no seu livro a existência de um conjunto de benefícios previstos, baseados no impacto que a Indústria 4.0 apresentará nas organizações, de entre os quais é possível listar a **redução de custos**, a **economia de energia**, o **aumento da segurança**, a **conservação ambiental**, a **redução de erros**, o **fim do desperdício**, a **transparência nos negócios**, o **aumento da qualidade de vida** e a **personalização dos produtos** (Gilchrist, 2016).

É possível referir que a Indústria 4.0 é "onde os mundos virtual e físico se fundem ao redor da planta operacional (...) onde todos são conectados digitalmente, proporcionando uma cadeia de valor altamente integrada" (Peixoto & Pereira, 2018). Peixoto e Pereira, em 2018, citam um estudo realizado na Alemanha, no qual é abordada a existência de seis requisitos necessários no que respeita à implementação desta nova

indústria, sendo estes a **interoperabilidade**, a **virtualização**, a **descentralização do controlo** de processos produtivos, a **adaptação de um produto** em tempo real, a **orientação para serviços** e os **sistemas modulares** no que diz respeito a equipamentos e linhas de produção (Peixoto & Pereira, 2018).

Carvalho e Filho referem em “Proposta de um sistema de aprendizagem móvel com foco nas características e aplicações práticas da Indústria 4.0”, publicado na Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologia de Informação, em 2018, que a Indústria 4.0 revoluciona a forma de planear e executar a manufatura industrial, referindo ainda que “A Indústria 4.0, integrada com aspetos tecnológicos, proporciona a execução de “Fábricas Inteligentes” com estruturas modulares, capazes de aumentar a produção e economizar custos.” (Carvalho & Filho, 2018).

A partir do livro de Alasdair Gilchrist, publicado em 2016, “Industry 4.0: The Industrial Internet of Things”, é possível referir que o desenvolvimento, a incorporação e a aplicação das mais recentes formas de inovação tecnológicas geram alterações sociais e económicas, apresentando, estas mudanças, uma rápida explosão, levando a que alcancem grande escala e escopo (Gilchrist, 2016).

Já Lee, Bagheri e Kao, em 2014, referem que a Indústria 4.0 é um conceito que abrange as principais tecnologias no que respeita à automatização, controlo e tecnologia da informação, quando aplicados em processos de manufatura (J. Lee et al., 2014).

## 2.2. Tecnologias Imersivas na Indústria 4.0

Segundo os autores do artigo "Immersive Technology – uses, challenges and opportunities" (Handa et al., 2012), a imersão é um estado de consciência no qual a perceção do indivíduo imerso, sobre si mesmo, é diminuída ou perdida, uma vez que este se encontra rodeado por um ambiente totalmente envolvente. No mesmo artigo, os autores assumem como conceito de imersão o facto de **o utilizador sentir que faz parte do universo simulado**. É ainda referido, nesse mesmo trabalho, que existem fatores que devem ser cumpridos de forma que a imersão de um utilizador num ambiente digital imersivo ocorra com sucesso, sendo estes os **gráficos de computador em 3D**, o **som surround**, a **entrada interativa do utilizador**, a **simplicidade**, a **funcionalidade** e o **potencial de prazer** (Handa et al., 2012).

Entende-se como parte das tecnologias imersivas, todo e qualquer tipo de tecnologia que apresenta a capacidade de estender ou criar uma realidade aproveitando, para tal, o espaço de 360º em volta do utilizador, possibilitando, desta forma, ao mesmo, a experiência de olhar em qualquer direção em torno de si próprio, mantendo-se sempre dentro do mundo em que a tecnologia o colocou.

Existem dois grupos de tecnologias imersivas, aquelas que apenas estendem a realidade, sobrepondo, assim, imagens digitais num ambiente real no qual o utilizador está inserido; e outras que criam, de base e computacionalmente, um novo ambiente, permitindo que o utilizador se veja num mundo completamente diferente do real, imergindo na totalidade no ambiente digitalmente criado. Apesar de existirem vários tipos de tecnologias imersivas (Vídeo 360º, Realidade Virtual, Realidade Aumentada, Realidade Mista e Realidade Estendida), no presente trabalho serão abordados, apenas, três tipos dessas tecnologias imersivas, sendo estas a **Realidade Virtual**, a **Realidade Aumentada** e a **Realidade Mista** (Handa et al., 2012).

*Tabela 1 - Tecnologias Imersivas: estender vs. criar um mundo*

Tecnologias que estendem a realidade	Tecnologias que criam uma realidade
Realidade Aumentada	Vídeo 360º
Realidade Mista	Realidade Virtual
	Realidade Estendida

Atualmente é bastante comum ouvir-se falar deste tipo de tecnologias, sobretudo da Realidade Virtual e da Realidade Aumentada. Isto acontece, pois, são várias as suas utilidades e aplicações, tanto pela parte de empresas como por parte do próprio utilizador. Exemplo disso são a possibilidade de as empresas de viagens oferecerem aos seus clientes uma experiência, com mais ou menos detalhe, da viagem que estes pretendem comprar, desta forma os clientes conseguem perceber se é, de facto, aquele o destino para o qual pretendem viajar; outro exemplo está presente no marketing experimental utilizado pela empresa Netflix de forma a promover uma nova temporada de uma das suas séries originais, na qual o utilizador teve a possibilidade de vivenciar uma determinada cena da série na primeira pessoa; também nas áreas da saúde, educação, arte e jogos, a utilização de tecnologias imersivas é extremamente apelativa e útil (Handa et al., 2012).

### 2.2.1. Realidade Virtual

Recentemente passou a ouvir-se falar de Realidade Virtual (VR) de forma mais significativa, contudo este é um conceito que conta já com mais de vinte anos de existência, tendo sido criado na década de 80 do século passado pelo cientista de computação e artista, Jaron Lanier (Schiavoni, 2018). O motivo pelo qual este conceito é, atualmente, muito mencionado, está relacionado com a evolução tecnológica e com a consequente utilização de equipamentos mais atuais e sofisticados.

O facto de se falar de tecnologias avançadas, pode levar a que se questionem quais os preços e se estes serão muito elevados, Rodrigues e Porto dizem, relativamente a este tema, que tendo em conta o avanço das pesquisas na área da VR, é possível usufruir de softwares e hardwares sofisticados e tecnologicamente avançados a preços mais baixos (Rodrigues & Porto, 2013).

São muitos os autores que sugerem definições para este conceito, e abaixo serão referidos alguns exemplos dessas definições, contudo, é possível referir, à partida, que Realidade Virtual corresponde a uma experiência, imersiva e interativa, baseada em imagens gráficas com três dimensões, geradas computacionalmente e em tempo real.

Steve Bryson define Realidade Virtual como sendo a utilização de computadores e interfaces, por parte do utilizador, de forma a criar um efeito de mundos tridimensionais que incluem objetos interativos (Bryson, 1996). Já Tori, Kierner e Siscouto definem Realidade Virtual como sendo uma interface de utilizador avançada, que apresenta características de visualização e movimentação em ambientes tridimensionais, referindo que esta pode ser dividida em dois tipos: **imersiva**, isto é, quando o utilizador é transportado, para o domínio da aplicação, através de dispositivos multissensoriais, como são exemplo os óculos e as luvas, que recolhem os movimentos do utilizador e reagem a eles, oferecendo a sensação de presença dentro de um mundo virtual; **não imersiva**, isto é, quando o utilizador é transportado, apenas de forma parcial, para o mundo virtual, utilizando como ferramenta um computador, um tablet ou um simples smartphone, levando a que o utilizador se sinta, sobretudo, no mundo real e não no virtual (Tori et al., 2006).

### 2.2.2. Realidade Aumentada

Segundo Van Krevelen e Poelman definem em "Survey of augmented reality technologies, applications and limitations", a utilização do termo Realidade Aumentada (AR) dá-se de forma a ser possível identificar um conjunto de tecnologias que permite que a visão do ambiente do mundo real seja "aumentada" através de elementos ou objetos computacionalmente gerados. Isto é dizer que esta tecnologia imersiva descreve a realidade de forma mediada, com o objetivo de que a perceção visual do ambiente físico, em relação ao mundo real, seja melhorada através de dispositivos informáticos (Van Krevelen & Poelman, 2010).

Foi no final da década de 60 do século passado que surgiram os primeiros protótipos de AR, tendo sido criados por Ivan Sutherland, pioneiro na área da computação gráfica, e pelos seus alunos, das Universidades de Harvard e Utah, tendo estes (os protótipos) como objetivo explorar a transparência de um ecrã de forma a apresentar gráficos em 3D. Contudo, foram precisas três décadas até que, de facto, se ouvisse falar do termo "Realidade Aumentada", através dos cientistas Caudell e Mizell, que desenvolveram um sistema de Realidade Aumentada experimental, com o objetivo de auxiliar os trabalhadores na montagem de produtos (Bottani & Vignali, 2019).

Esta é uma tecnologia que passou a ser considerada bastante interessante, por parte das empresas, e na qual deveria haver um investimento, sobretudo de forma a melhorar os serviços de manutenção. Sendo que é a área da indústria que se ocupa do processo de transformação de matérias-primas em produtos finais, a Realidade Aumentada apresentaria um grande significado. Isto sucede pelo facto de haver uma grande necessidade de troca de informações, em tempo real, nas várias fases que constituem o processo de construção do produto final, dos quais são exemplo a criação do design, a criação do protótipo, a montagem do produto e a manutenção e reparação do mesmo.

Ronald Azuma refere no seu artigo "A Survey of Augmented Reality", de 1997, que os objetos virtuais exibem informações que o utilizador não consegue detetar de forma direta, e ainda diz que este tipo de informações, transmitidas pelos objetos virtuais, podem auxiliar o utilizador a executar a maioria das tarefas relacionadas com o produto (Azuma, 1997).

É possível considerar a indústria transformadora como sendo uma das áreas emergentes no que respeita à aplicação da Realidade Aumentada, uma vez que esta tem como preocupação o processo de transformação das matérias-primas em produtos

finais e de valor acrescentado. Desta forma, estas empresas necessitam que haja uma troca, em tempo real, de informações, nas várias fases do ciclo de vida do produto, sendo, exatamente neste ponto, que esta tecnologia poderá apresentar-se como uma mais valia.

Pierre Fite Georgel refere que as aplicações de Realidade Aumentada na área da indústria transformadora têm sido desenvolvidas para diversas finalidades, demonstrando a forma como este tipo de tecnologia apresenta benefícios nesta área. Apresenta, então, exemplos de diversos processos nos quais a mesma apresenta melhorias, podendo-se citar: a monitorização e o controlo de processos, a avaliação, em tempo real, da disposição das plantas, a manutenção de instalações e máquinas, a construção de instalações e edifícios, e a melhoria da segurança industrial. Assim, no ano de 2011 surge, cunhado por Georgel, o termo "Realidade Aumentada Industrial" (IAR), que tem por objetivo descrever a utilização desta tecnologia no auxílio de um processo industrial, tendo sido identificadas como áreas chave no que respeita à sua aplicação a **conceção**, o **fabrico**, a **montagem**, a **manutenção** ou inspeção e a **formação** (Fite-Georgel, 2011).

Já no artigo "Augmented reality technologies, systems and applications", os autores defendem que o futuro da tecnologia móvel irá revolucionar as aplicações móveis de Realidade Aumentada na área da indústria transformadora (Carmigniani et al., 2011).

### 2.2.3. Realidade Mista

Tal como o próprio nome indica, a Realidade Mista é a mistura dos mundos físico e digital, sendo baseada em avanços da visão computacional, do poder de processamento gráfico, da tecnologia de exibição e dos sistemas de entrada.

Este termo foi traduzido pelos autores do artigo "A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays" (1994), no qual foi explorado o conceito de "virtuality continuum", isto é, da continuidade da virtualidade e a categorização da taxonomia aplicada a monitores. Neste mesmo artigo, Paul Milgram e Fumio Kishino referem que Realidade Mista é uma mistura de Realidade Virtual, Realidade Aumentada e Virtualidade Aumentada, e ainda, que existem várias classes de ambientes híbridos, sendo possível serem consideradas como interfaces de Realidade Mista (Milgram & Kishino, 1994).

Através da revisão feita à literatura correspondente a esta tecnologia, foi possível perceber que esta é, sobretudo, utilizada na área de medicina, mais concretamente, na medicina cirúrgica, de forma que os estudantes possam praticar as técnicas teóricas que aprendem. No artigo escrito por Schoeb, Schwarz, Hein, Schlager, Pohlmann, Frankeschmidt, Gratzke e Miernik, "Mixed reality for teaching catheter placement to medical students: a randomized single-blinded, prospective trial" (Schoeb et al., 2020), os autores procuram provar que a utilização deste tipo de tecnologia é, de facto, positiva para a aprendizagem dos estudantes de medicina. Para tal realizaram um estudo com um grupo de cento e sessenta e quatro estudantes desta área, que, aleatoriamente e em grupos de dois, foram recebendo as instruções necessárias de forma a procederem à aplicação de um cateter de bexiga, num modelo de treino do sexo masculino. Dos estudantes que participaram no estudo, cento e sete receberam as instruções através de um instrutor, sendo que os restantes cinquenta e sete foram instruídos através de um sistema de Realidade Mista. Como conclusões, os autores referiram que a Realidade Mista é uma ferramenta promissora para instruir competências práticas e tem o potencial de permitir resultados de aprendizagem superiores. No entanto, há a necessidade de mais avanços tecnológicos de forma que a usabilidade deste tipo de sistemas seja cada vez melhor (Schoeb et al., 2020).

Contudo, é também possível verificar a sua aplicação em áreas tecnológicas. Maram Khatib, Khaled Al Khudir e Alessandro De Luca, no artigo "Human-robot contactless collaboration with mixed reality interface", apresentam um estudo que tem como objetivo criar um sistema de controlo baseado em múltiplos sensores, de forma a permitir a colaboração segura entre um robô e um humano (Khatib et al., 2021).

#### 2.2.4. Aplicação das tecnologias imersivas na Indústria 4.0

Relativamente à aplicação das tecnologias imersivas na Indústria 4.0, estas apresentam várias finalidades, sendo exemplo disso áreas como a saúde, os jogos, o setor retalhista, o marketing e a publicidade, entre outras (Qué Son Las Tecnologías Inmersivas En La Industria 4.0, 2020).

No que corresponde à Realidade Virtual, é possível referir que esta surgiu, inicialmente, na indústria dos jogos de vídeo, nos quais, os utilizadores têm a possibilidade de participar de uma experiência de jogo totalmente nova e única. Também na arquitetura é possível verificar-se a utilização deste tipo de tecnologia, que permite aos seus utilizadores que estes tenham uma perceção de 360º do imóvel, bem

como a possibilidade de mobiliá-lo. Por fim, outro exemplo de sucesso de utilização da Realidade Virtual, é a indústria automóvel, permitindo ao cliente tenha a experiência de, através de um ambiente virtual, visualizar o seu futuro carro, bem como a possibilidade de fazer alterações (de cor, acabamentos, materiais) no mesmo.

Relativamente à Realidade Aumentada, esta apresenta benefícios de aplicação para toda a Indústria 4.0, contudo um dos exemplos mais claros desta aplicação encontra-se no setor retalhista, apresentando a possibilidade, ao cliente, de testar, de forma virtual, os produtos para que, posteriormente, decida se deve ou não avançar com a compra. A utilização deste tipo de tecnologia neste setor apresenta três objetivos claros, sendo estes: a proposta de uma melhor *"user experience"*, aumentando, conseqüentemente, o tempo que cada cliente passa na loja; a recolha e fornecimento de informações, à empresa, acerca dos produtos mais procurados; e a facilidade no processo de compra dos produtos.

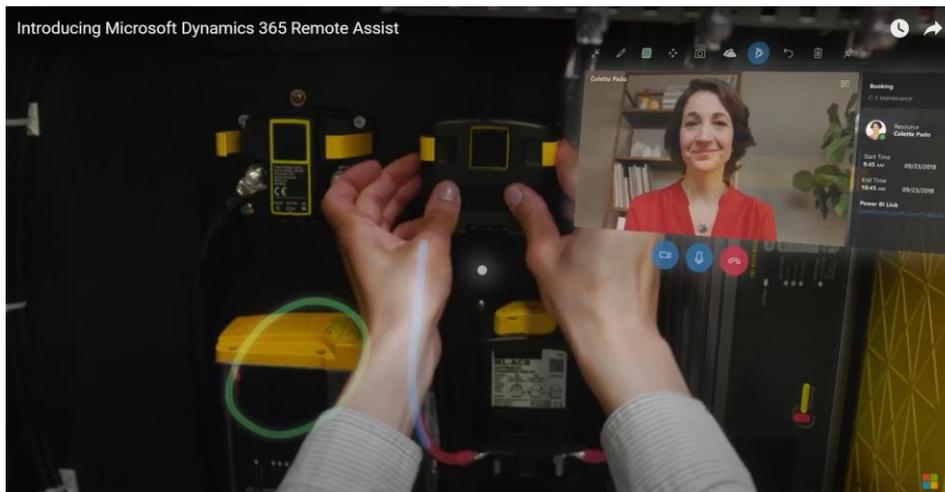
Por fim, quanto à aplicação da Realidade Mista, esta encontra-se, ainda, em desenvolvimento, contudo já é possível verificar casos em que é aplicada a Realidade Aumentada em conjunto com aspetos que correspondem à Realidade Virtual, no mundo real. Esta é, sobretudo, aplicada no setor da saúde, permitindo aos médicos visualizarem os diagnósticos feitos e as intervenções a serem realizadas, bem como a nível de ensino, permitindo aos estudantes colocarem em prática os conhecimentos teóricos já adquiridos. Também nas lojas de mobiliário é possível verificar-se a aplicação desta nova tecnologia, capturando uma imagem de uma determinada divisão e gerando, virtualmente, os elementos escolhidos pelo cliente, de forma a construir uma imagem final da divisão.

#### 2.2.5. Exemplos de Casos de Estudo

É possível afirmar que a aplicação de tecnologias imersivas na Indústria 4.0 é uma mais valia, sendo esta afirmação comprovada através dos casos de estudo que se seguem:

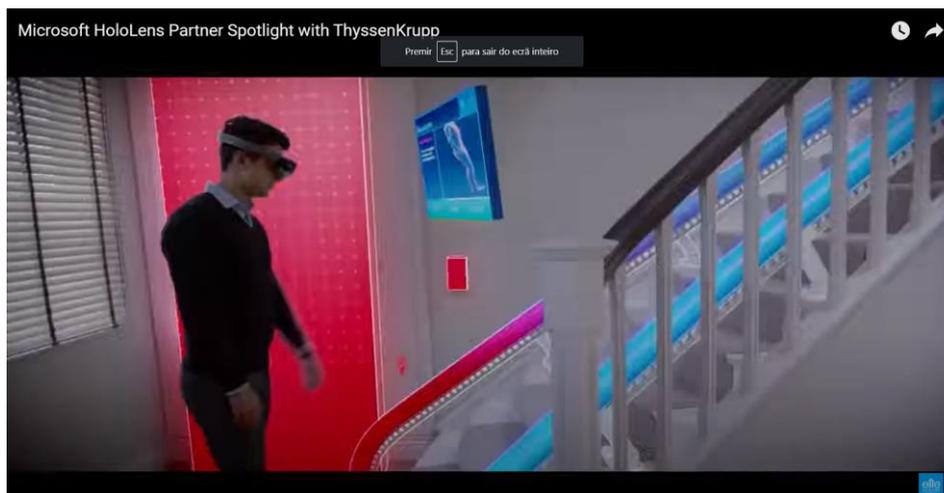
O primeiro caso de estudo está relacionado com a Microsoft Dynamics 365 e o programa "Remote Assist", no qual através de um vídeo na plataforma do Youtube, no canal da Microsoft ("Introducing Microsoft Dynamics 365 Remote Assist" 2018), é possível verificar a forma como a utilização de tecnologias imersivas, mais especificamente, de Realidade Mista, é uma mais-valia na resolução de problemas. No

exemplo referido, uma trabalhadora depara-se com um erro no sistema com o qual precisa de trabalhar. De forma a solucioná-lo e utilizando como meio uns óculos pode fazer uma videochamada para uma assistente que a ajudará a resolver o problema. É possível verificar, ao longo do vídeo, a forma como a assistente auxilia a trabalhadora a resolver o problema, indicando-lhe, de forma visual, o que esta deve fazer. Desta forma, a trabalhadora consegue resolver o seu problema de imediato e em tempo real, sem a necessidade de esperar que a assistente chegasse ao local, o que poderia demorar bastante tempo.



*Figura 3 - Frame do vídeo "Introducing Microsoft Dynamics 365 Remote Assist"  
("Introducing Microsoft Dynamics 365 Remote Assist," 2018)*

Um outro caso, presente no canal do YouTube da Microsoft HoloLens ("Microsoft HoloLens: Partner Spotlight with Thyssenkrupp" 2017), apresenta um problema que se relaciona com a dificuldade de mobilidade de um casal da terceira idade na sua própria casa, devido à necessidade de utilização de escadas dentro desta. Desta forma, um assistente da empresa Thyssenkrupp, através de um computador holográfico portátil, faz medições nas escadas da casa do casal e desenha um protótipo, através de hologramas em 3D de alta definição, de um elevador que, posteriormente, será construído na fábrica e montado na casa do casal. Ao utilizar estas ferramentas, o assistente consegue, de forma rápida e simples enviar todas as informações, em tempo real, para a empresa, de forma que os trabalhadores do chão de fábrica comecem, de imediato, a trabalhar naquele projeto.



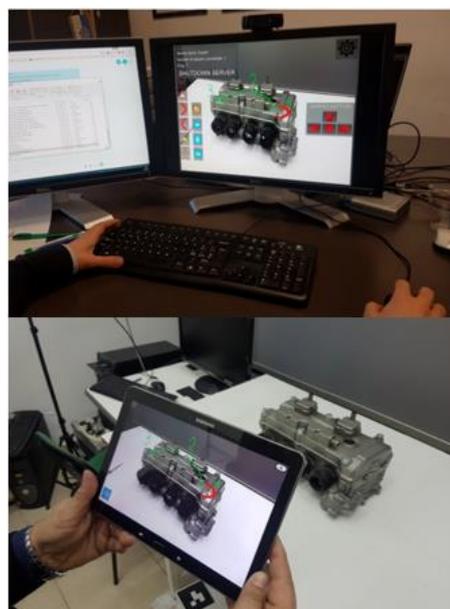
*Figura 4 - Frame do vídeo “Microsoft HoloLens: Partner Spotlight with ThyssenKrupp”  
 (“Microsoft HoloLens: Partner Spotlight with ThyssenKrupp,” 2017)*

O terceiro caso estudado está presente no canal do YouTube da Windows (“Envisioning the Future with Windows Mixed Reality,” 2016) e apresenta uma situação na qual uma trabalhadora precisa de construir um design de um espaço para o lançamento de um determinado produto. De forma a conseguir apresentar um bom trabalho, utiliza um computador holográfico que mapeia o lugar e constrói um mapa digital. Através desta tecnologia, a trabalhadora consegue, em tempo real, mover os hologramas de forma a montar o espaço da melhor maneira. Outra funcionalidade desta tecnologia está na possibilidade de, apesar de se encontrarem em locais distintos, dois colegas se juntarem à primeira trabalhadora, através de um holograma e um avatar em 3D, de forma que os três consigam desenhar o protótipo de como o local deverá ficar. Uma última funcionalidade desta tecnologia, mostrada no vídeo, é a tradução automática de idiomas.



*Figura 5 - Frame do vídeo "Envisioning the Future with Windows Mixed Reality" ("Envisioning the Future with Windows Mixed Reality - YouTube," 2016)*

Mais um caso, desta vez apresentado pelos autores do artigo " Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality" (Masoni et al., 2017) apresenta a utilização de Realidade Aumentada para benefício da indústria, relativamente a falhas de equipamentos e/ou máquinas. Neste caso de uso, os autores referem que estes erros causam inconvenientes, nomeadamente a nível de tempo de inatividade e da necessidade de equipas de manutenção que resolvam o problema ou a falha encontrados. Contudo, referem ainda que, a utilização de tecnologias como a Realidade Aumentada permitem que as equipas de manutenção consigam identificar a falha e auxiliar a sua resolução, sem que estejam, de facto, presentes (Masoni et al., 2017).



*Figura 6 - Interface de Assistência remota (Masoni et al., 2017)*

Um último exemplo da utilização da Realidade Aumentada na indústria consta nos artigos " Active inspection supporting system based on mixed reality after design and manufacture in an offshore structure" (Lee et al., 2010) e " Mixed reality-based user interface for quality control inspection of car body surfaces" (Muñoz et al., 2019). Neste exemplo, os autores de ambos os artigos referem que a inspeção da qualidade é de extrema importância, bem como que, de forma a garantir tanto a qualidade quanto a conformidade do produto, é necessário que haja uma inspeção a centenas de unidades, de forma a prevenir possíveis falhas ou defeitos. Desta forma, os autores referem que a utilização da Realidade Aumentada, combinada com outras tecnologias, pode ser importante na garantia da qualidade do produto, identificando possíveis falhas que existam (Muñoz et al., 2019). Por fim, Muñoz et al. referem que as informações obtidas ao longo da inspeção são apresentadas ao trabalhador, no seu campo de visão, e que os resultados da inspeção são vistos em tempo real, podendo ser registados numa nuvem, para posterior análise (Muñoz et al., 2019).



Figura 7 - Interface de detecção de falhas (Muñoz et al., 2019)

#### 2.2.6. Benefícios e Vantagens da aplicação das tecnologias imersivas

As tecnologias imersivas têm a capacidade de alterar a forma como as empresas trabalham e comunicam, levando a que, quando a empresa procura compreender o potencial e o funcionamento destas tecnologias, perceba a forma como a sua utilização pode beneficiar e revolucionar o seu negócio.

Desta forma, segundo o sítio web Immersive Learning News, é possível enumerar cinco benefícios da utilização das Tecnologias Imersivas pelas organizações (Fell, 2020). Como já referido, os avanços tecnológicos dão origem a uma maior competição por parte das empresas, sendo que cada uma procura apresentar uma maior vantagem competitiva em relação às demais.

Segundo Fell, o primeiro benefício corresponde ao facto das tecnologias imersivas terem a capacidade de colocar o foco da experiência no cliente, provocar uma reação emotiva e agradável, e oferecer soluções práticas e simples de "experimentar antes de comprar"; o segundo benefício passa pelo design e produção mais acelerado, fruto da

possibilidade de testar conceitos e desenvolver protótipos virtualmente, que, caso apresentem falhas, estas possam ser rápida e eficazmente resolvidas, enquanto que, com protótipos físicos, estes teriam de ser reconstruídos, gerando um aumento de tempo e dinheiro perdidos; o terceiro benefício está relacionado com o treino dos trabalhadores, no que concerne às suas funções no trabalho, isto porque, ao ser criado um ambiente virtual de trabalho, destinado ao treino de novos trabalhadores, este torna-se mais seguro, mais rentável e menos custoso; o quarto benefício está ligado à produtividade e eficiência do trabalho, isto é, a adoção de tecnologias imersivas na rotina diária dos trabalhadores garante a melhoria na produtividade e torna os locais de trabalho mais seguros; por fim, o último benefício refere-se ao facto de que as tecnologias imersivas também permitem que as empresas tenham funcionários em trabalho remoto, levando a que possam construir uma equipa de trabalhadores brilhantes e talentosos, uma vez que é possível reunir trabalhadores de diferentes locais do planeta.

Já no sítio web Aldakin (Industria 4.0: Qué Es Ventajas e Inconvenientes, 2017) é possível encontrar um conjunto de vantagens advindas da Indústria 4.0, sendo estas:

- Refinamento e repetição de processos sem que haja erros ou alterações;
- Níveis de qualidade otimizados;
- Mais eficiência e menos custos;
- Tempos de produção mais reduzidos;
- Garantia de maior segurança dos trabalhadores;
- Produção flexível devido à fácil adaptação do produto às exigências de cada cliente;
- Melhorias no fluxo de dados devido às redes de comunicação, o que geram reduções dos tempos de reação e de tomadas de decisão, pois as informações são transmitidas em tempo real;
- Melhoria de satisfação das necessidades do mercado;
- Aumento da qualidade dos produtos;
- Possibilidade de ligação de milhões de pessoas através de redes digitais;
- Melhorias na eficiência das organizações.

Também no sítio web Avantica, Jorge Azurduy (Azurduy, 2020) refere algumas vantagens da implementação de tecnologias imersivas, nomeadamente das realidades virtual e aumentada. Quanto à Realidade Virtual é referido que esta tecnologia pode gerar uma "incrível viagem sensorial" (Azurduy, 2020), utilizando, para tal, imagens geradas computacionalmente, criando mundos, demonstrações de produtos e espaços, de uma nova e mais interessante forma. Relativamente à Realidade Aumentada refere que esta "pode fornecer informações práticas e cativantes" (Azurduy, 2020) sobrepondo-se ao mundo real.

#### 2.2.7. Problemas e Desvantagens da aplicação das tecnologias imersivas

Contudo, e tal como sempre se verifica aquando da implementação de novas tecnologias, a aplicação das tecnologias imersivas também apresenta alguns inconvenientes e desvantagens. Também no sítio web Aldakin (Industria 4.0: Qué Es Ventajas e Inconvenientes, 2017) é possível encontrar uma lista de inconvenientes pelos quais as empresas passam, podendo-se destacar:

1. Dificuldade de uma rápida adaptação às novas tecnologias, isto deve-se ao facto de nem todas as empresas estarem preparadas para as mudanças que se verificam, correndo o risco de serem rapidamente ultrapassadas pelos concorrentes;
2. Possibilidade de fragmentação social, isto pode acontecer devido aos avanços excessivos de determinadas indústrias, que provocam o crescimento da desigualdade social;
3. Necessidade de especialização de forma a poder utilizar este tipo de tecnologias, o que poderá levar ao desemprego de alguns trabalhadores, bem como um aumento de salário dos que são especializados;
4. Novas necessidades informacionais específicas, que devem ser identificadas e solucionadas o mais rapidamente possível.

### 2.2.8. Grelha de análise de dispositivos

De forma a conhecer mais e melhor o tipo de tecnologias que são o objeto de estudo do presente trabalho, foi realizado um trabalho exploratório no qual o objetivo passava pela construção de uma grelha de análise de dispositivos (disponível em anexo - Anexo A: Grelha de análise de dispositivos) que utilizem algum tipo de tecnologias imersivas.

Assim, iniciou-se um trabalho de pesquisa através do qual foi possível listar um conjunto de dispositivos imersivos, no qual se podem verificar dispositivos do tipo head-mounted displays (Industry Grade AR Headsets And Smart Glasses, n.d.; 10 BEST Augmented Reality Glasses (Smart Glasses) In 2021, 2021), dispositivos móveis, do tipo smartphones e tablets (AR/MR Devices, n.d.) e dispositivos de projeção (The Best Projectors for Immersive Installations, 2021), num total de dezanove dispositivos. Aquando da listagem, foram encontrados outros dispositivos, além dos dezanoves listados, contudo durante a análise dos mesmos, foi possível verificar que estes se destinavam a utilizações muito específicas, tais como ciclismo ou jogos, estando os selecionados mais de acordo com o tipo de necessidades que um trabalhador no chão de fábrica possa apresentar. Existem, contudo, alguns dispositivos listados e analisados, que são, de facto, os mais utilizados num contexto industrial, sendo esse um importante critério seguido na pesquisa.

O conjunto de dispositivos analisados foi o seguinte: Microsoft HoloLens 2; Magic Leap One; Google Glass Enterprise Edition 2; ThirdEye Generation; Toshiba dynaEdge; Vuzix Blade AR; ODG R7; ODG R8 and R9; DAQRI Smart Glasses; RealWear HMT-1; iPhone; Galaxy S Serie; P-Serie; iPad; Galaxy Tab Serie; Media T3 10; Epson PowerLite 2250U; ViewSonic PX701-4K; Optoma S334e.

A análise destes dispositivos foi baseada nas suas características técnicas, sendo que foi recolhido um conjunto de atributos, como são exemplo, o tipo de tecnologia, o preço do dispositivo ou os sensores que o mesmo dispõe, num total de catorze atributos, sendo estes: Fornecedor; Tecnologia imersiva; Quantidade de ecrãs; Resolução; Memória; Câmara incorporada; Microfone incorporado; Sistema de som; Duração da bateria; Sensores; Preço; Ano de lançamento; Peso; Outros. Esta grelha de análise, além de cumprir o seu principal objetivo, de oferecer mais conhecimento acerca do tipo de dispositivos e respetivas características que utilizam tecnologias imersivas, servirá, igualmente, para melhor desenhar os cenários de aplicação.

### 2.3. Cenários

Tal como aconteceu anteriormente, aquando da introdução de um novo tópico, também quanto à construção de cenários, é crucial que, primeiramente, se estude o que os autores têm a dizer sobre o tema, desta forma, cabe perceber quais as definições dadas ao termo "cenário" e ao planeamento dos mesmos pelos estudiosos.

Porter, em "Competitive Strategy: The Core Concepts" define o termo cenário como sendo uma **visão consistente da estrutura de um determinado setor**, que se baseia num conjunto de suposições plausíveis, acerca das possíveis questões que possam afetar a estrutura industrial (Porter, 1985).

Hannah Kosow e Robert Gaßner referem no seu livro "Methods of Future and Scenario Analysis. Overview, Assessment, and Selection Criteria" que apesar de cenário ser uma palavra da moda e muitas vezes ser mal utilizada (as cited in: Kosow & Gaßner, 2018), muitos autores definem este termo como sendo uma descrição de uma possível situação futura que inclui caminhos de desenvolvimento que podem originar essa mesma situação (Kosow & Gaßner, 2018).

Segundo o autor Ringland, pelo que este refere no seu artigo "Scenario planning: managing for the future", pode afirmar-se que o planeamento e a criação de cenários correspondem a um processo estratégico que utiliza, fundamentalmente, ferramentas e tecnologias, com o objetivo de gerir incertezas futuras (Ringland, 1998). Já Schomaker, no seu artigo "Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking" considera que o planeamento de cenários é um método estruturado que permite imaginar o futuro, referindo, ainda, que esta é a metodologia que se destaca, uma vez que apresenta uma grande habilidade relativamente à captura de várias possibilidades, sendo estas ricas em detalhes (Schoemaker, 1995).

Os autores do artigo "Scenario planning: 'Ways of knowing', methodologies and shifting conceptual landscape" asseveram, acerca do planeamento de cenários, que este permite às empresas e outras organizações lidar com vários desafios, oferecendo-lhes a possibilidade de compreenderem o ambiente de negócio no qual se inserem. No mesmo artigo, os autores referem que existem vários estudos empíricos que demonstram a forma como o planeamento de cenários auxilia a melhoria das tomadas de decisão, podendo ajudar, ainda, no que corresponde ao diagnóstico da inércia estratégica e a identificar oportunidades de inovação (as cited in: Sarpong & Amoah, 2015). Para estes autores, o planeamento de cenários é, atualmente, uma estratégia organizacional extremamente necessária para que, e como já referido anteriormente, a empresa

compreenda o ambiente de negócio em que está inserida, uma vez que com os avanços tecnológicos, também os ambientes de negócio sofrem rápidas e constantes alterações, aumentando o nível de competitividade. Sarpong e Amoah referem que a utilização desta metodologia oferece uma visão, em tempo real, sobre o futuro, servindo como um modelo influente para que as organizações cruzem a divisão teórico-prática da gestão do futuro (Sarpong & Amoah, 2015). Neste mesmo artigo os autores enumeram os seis passos que devem ser seguidos aquando do processo de planeamento de um cenário (as cited in: Sarpong & Amoah, 2015), sendo estes:

- Identificação de uma agenda organizacional estratégica, que inclua pressupostos e preocupações acerca do pensamento e da visão estratégicos;
- Existência de pressupostos de decisores organizacionais, que questionem os atuais modelos mentais acerca do ambiente externo;
- Examinação do ambiente externo da organização, de forma a melhorar a compreensão da estrutura das forças-chave que levam à mudança;
- Criação de uma síntese de informação acerca de possíveis eventos futuros, utilizando três ou quatro cenários alternativos;
- Desenvolvimento de narrativas acerca dos cenários de forma a torná-los mais relevantes e convincentes para os decisores;
- Utilização dos cenários de forma a permitir aos decisores a perceção do pensamento estratégico utilizado nas suas criações.

Em "Scenario Development: A Model-Driven Engineering Perspective", Robert Siegfried, Umut Durak, Okan Topçu e Halit Oguztüzün (Siegfried et al., 2014) referem que existem três tipos de cenários, produzidos em fases sucessivas de um processo de desenvolvimento dos mesmos, sendo estes: **cenários operacionais**, **cenários conceptuais** e **cenários executáveis**. Tendo em conta os princípios do MDE (Model-Driven Engineering), os autores referem que o desenvolvimento de um cenário é visto como sendo a transformação de cenários operacionais em cenários conceptuais e, posteriormente, em cenários executáveis e designs de ambientes de simulação.

Referem ainda que o primeiro tipo de cenários (cenários operacionais) é definido através de uma linguagem natural, que o segundo (cenários conceptuais) se encontra em conformidade com um modelo formal, que o terceiro tipo (cenários executáveis) é o que utiliza uma linguagem de definições de cenários específicos, e que os designs de

ambiente de simulação são definidos através de um formalismo particular (Siegfried et al., 2014).

Após a familiarização das definições atribuídas ao conceito de cenário e da forma como o planeamento deste é visto por vários autores, cabe abordar a forma como o seu planeamento e a sua aplicação são feitos. Assim, vários autores referem que a essência do planeamento e aplicação de cenários passa pelo seguinte conjunto de sete regras (as cited in: Drew, 2006):

1. Análise de vastas e distintas perspetivas acerca do futuro;
2. Utilização de métodos de investigação tradicionais em paralelo com as opiniões dos peritos;
3. Necessidade de aprendizagem organizacional e de pensamento de sistemas;
4. Existência de uma abordagem que seja ampla e aberta, no que respeita à compreensão da concorrência e do ambiente de negócios;
5. Consideração de todas as partes interessadas e os respetivos interesses;
6. Consideração de todas as abordagens críticas e criativas relativamente ao pensamento estratégico;
7. Utilização de uma narrativa/conversa estratégica.

Em seguida, é possível verificar um conjunto de benefícios e inconvenientes referidos pelos autores Strauss e Ranord, e citados por Drew no seu artigo, no que respeita ao planeamento de cenários na gestão tecnológica (as cited in: Drew, 2006):

### **Benefícios**

- Promover uma visão reforçada, flexibilidade e monitorização ambiental;
- Incentivar a aprendizagem;
- Um meio de testar pressupostos;
- Apoio de tratamentos sofisticados e de análise de uma empresa e do seu ambiente.

## Inconvenientes

- A necessidade de envolver gestores de linhas ocupados que não a vejam como relevante para preocupações prementes;
- Ocasionalmente, muito pouco foco no contexto de decisão;
- Muito dependente de *soft data* (dados que são difíceis ou impossíveis de medir, quantificar ou expressar);
- O tempo e os recursos necessários para a investigação e análise.

Hussain, Tapinos e Knight citam, no seu artigo, autores como Varum e Melo que referem que o planeamento de cenários objetiva preparar uma organização para uma série de futuros plausíveis, e não para uma previsão do futuro; e ainda Ramírez e Selin que afirmam que esta possibilidade de visualizar futuros plausíveis permite às organizações a gestão de estratégias que reduzam riscos, aproveitem oportunidades e evitem potenciais ameaças (as cited in: Hussain et al., 2017).

Foram vários os autores que contribuíram para que fosse possível definir um conjunto de fases que devem ser aplicadas no planeamento de cenários. Segundo referido no artigo de Hussain, Tapinos e Knight (Hussain et al., 2017), existem quatro fases no planeamento de cenários, sendo estes:

1ª fase do planeamento: Definição do objetivo; Estudo da situação atual; Seleção dos atores; Definição das necessidades;

2ª fase do planeamento: Identificação das forças motrizes (através de entrevistas, por exemplo);

3ª fase do planeamento: Classificação das forças motrizes (considerando o nível de incerteza e impacto);

4ª fase do planeamento: Seleção dos temas centrais e dos cenários de desenvolvimento.

Os mesmos autores referem ainda que o princípio orientador no planeamento de cenários é que estes sejam plausíveis, sendo que, após a determinação dos temas e da quantidade a serem desenhada, se dê início ao seu desenvolvimento propriamente dito, tendo em conta que estes devem ser escritos em forma de narrativa (Hussain et al., 2017).

No artigo "Scenario in System Development" os autores referem que os cenários são utilizados na área industrial, contudo são-no em parca quantidade, sendo que as pesquisas mais recentes são, sobretudo, pouco abrangentes ou utilizam um caso único para retirar conclusões (Klaus et al., 1998). Ainda no mesmo artigo, os autores apresentam um caso de uso no qual selecionaram quinze projetos em quatro países europeus, tendo como objetivo, a partir de visitas aos sítios web dos projetos, reunir informações acerca do seguinte conjunto de tópicos: "o passado de cada projeto, características do cenário, a forma como os cenários foram produzidos e utilizados, benefícios e problemas ou necessidades notadas pelos parceiros de entrevista, e as principais lições aprendidas a partir de cada visita" (Hussain et al., 2017). Após as recolhas das informações, que tiveram a duração de, no máximo, um dia, reuniram-nas numa tabela a partir da qual conseguiram chegar à seguinte conclusão: **os cenários evoluíram ao longo do tempo** (Hussain et al., 2017). Contudo, os autores referem três questões problemáticas pelas quais todos os tipos de evolução passam, sendo estas (Hussain et al., 2017):

- Identificação do nível certo de granularidade e abstração durante o desenvolvimento e a utilização do cenário;
- Mapeamento das várias versões do cenário e das diferentes representações utilizadas;
- Apoio na gestão de mudanças entre os diferentes tipos e versões de cenários.

Börjeson, Höjer, Dreborg, Ekvall e Finnveden, no seu trabalho "Towards a user's guide to scenarios - a report on scenario types and scenario techniques", citam vários autores acerca da criação de cenários e das metodologias utilizadas. Estes referem que existem três tipos de cenários: os **cenários preditivos**, que respondem à questão "O que vai acontecer?", os **cenários exploratórios**, que respondem à questão "O que pode acontecer?" e os **cenários normativos**, que respondem à questão "Como se pode alcançar um alvo específico?" (Börjeson et al., 2005). Tendo este trabalho como base, foi possível criar um gráfico, representado na figura abaixo apresentada, que esquematiza estas diferentes abordagens de cenários.

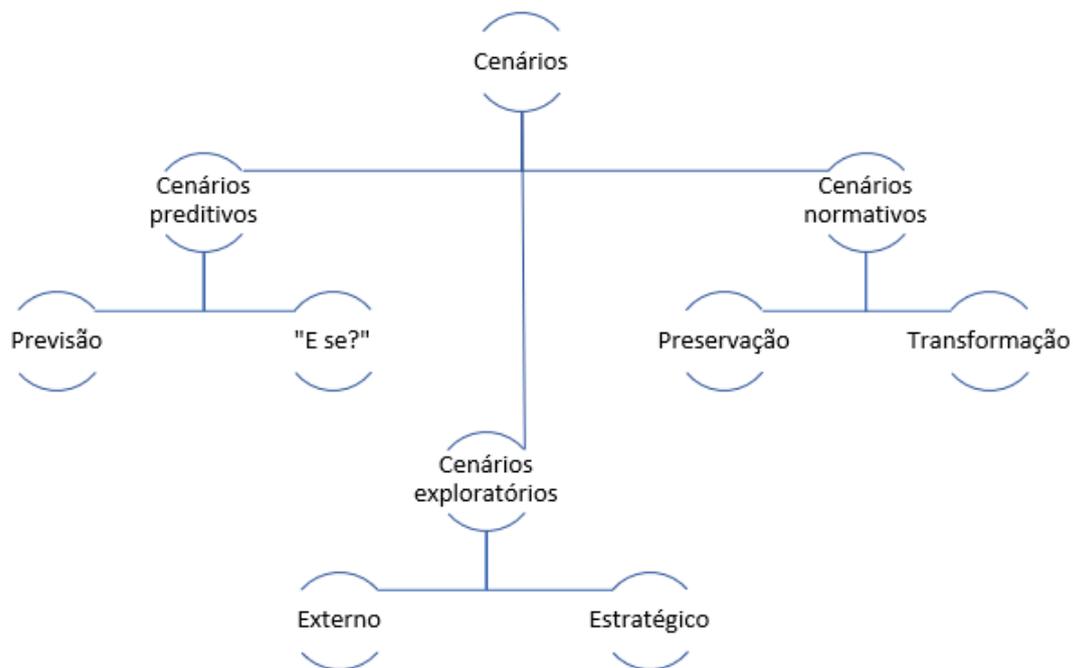


Figura 8 - Diferentes abordagens de criação de Cenários

Através do artigo foi, ainda, possível criar a seguinte tabela na qual são especificadas e esquematizadas, de forma sucinta, as diferentes abordagens.

Tabela 2 - Diferentes abordagens da criação de Cenários

Tipos de cenários		Objetivo	Utilidade	Especificidades
Cenários preditivos	Previsão	Tentar prever o que vai acontecer no futuro	- Permitem planejar e adaptar-se a situações espectáveis	- Feitos dentro de uma estrutura do sistema previsto
	"E se?"		- São úteis para lidar com desafios e aproveitar oportunidades previsíveis	- Foco na causalidade
			- São úteis para deixar os decisores alerta para os problemas que podem surgir	- São autossuficientes

Tipos de cenários		Objetivo	Utilidade	Especificidades
Cenários normativos	Preservação	Descobrir como é que um determinado alvo pode ser eficazmente atingido	- São úteis para atingir um objetivo dentro da estrutura predominante do sistema	
	Transformação	Iniciar a transformação com um alvo de alto nível e altamente prioritário	- São úteis para transformar um sistema estruturalmente diferente, para que um objetivo seja alcançado	
Cenários exploratórios	Externos	Explorar situações ou desenvolvimentos que sejam considerados como possíveis, geralmente de uma variedade de perspetivas	- Ajudar a explorar desenvolvimentos tidos em conta pelo grupo alvo	- Concentram-se em factores externos
	Estratégicos		- São úteis quando o utilizador tem um conhecimento muito bom, mas pretende explorar desenvolvimentos alternativos	- Podem ser produzidos por grupos-alvo amplos
			- São úteis para questões estratégicas	- Podem ser produzidos dentro de uma empresa
				- Semelhantes aos cenários 'e se'
				- Incorporam medidas políticas
				- Descrevem uma série de possíveis decisões estratégicas
				- Centram-se em factores internos

### **Exemplos de cenários**

A utilização de cenários de aplicação é cada vez mais comum e é possível encontrar cenários de aplicação nas mais variadas áreas. De forma a melhor solidificar este assunto, foi feita uma recolha de alguns cenários de aplicação em diferentes áreas.

No primeiro exemplo, o cenário está relacionado com sensores corporais e cuidados médicos, sendo que os casos de uso utilizados para a construção deste incluem um ambiente hospitalar, um paciente externo e a monitorização de idosos no geral. Atualmente, num ambiente hospitalar, e tendo por objetivo monitorizar os pacientes, são utilizados sensores ligados através de cabos, o que pode levar a um desconforto e limite de movimentos ao paciente. Desta forma, é objeto de estudo a aplicação de tecnologia BAN (Redes de área corporal), na qual as máquinas de monitorização com cabos, são substituídas por outras de comunicação sem cabos. É dado o exemplo de uma topologia em estrela, na qual os vários sensores comunicam com um monitor, no qual aparecem os dados clínicos do paciente, sendo necessário uma taxa de dados bastante baixa, o que leva a que a perda de dados não exista e a privacidade do paciente se mantenha. Um outro exemplo dado para o mesmo tipo de cenário é a exposição de pessoas saudáveis a casos críticos, como acontece com bombeiros em serviço de combate a incêndios, no qual o bombeiro é exposto a gases tóxicos e a altas temperaturas, que são potencialmente fatais. Nestes casos, os sensores geram uma mensagem de alerta, de forma que as contra medidas adequadas para aquela situação sejam tomadas.

Num outro artigo, relacionado com o processo de desenvolvimento de produtos, os autores trabalham num caso de uso cujo objetivo é a capacitação do profissional num processo multifuncional. (Mundim et al., 2002). Este caso de estudo foi realizado numa multinacional brasileira e o cenário tem por objetivo encontrar uma solução de treino para a capacitação profissional no desenvolvimento dos produtos. No cenário descrito no artigo, foi utilizado um modelo de referência do processo de desenvolvimento de produtos e foram definidos um produto e um tipo de empresa, de forma a ser possível gerar os restantes componentes do cenário. Após esta primeira fase, foi escrito um guião do projeto no qual estavam descritos processos como: o design do projeto, os planos dos processos e do controlo, os relatórios, e listas de verificação. Este cenário, baseado em métodos de didática ativa, permite que funcionários de diferentes áreas possam receber uma visão holística e mais rica relativamente ao funcionamento de cada técnica e do seu trabalho do processo de desenvolvimento de produtos.

## 2.4. Classificação das Tecnologias Imersivas

Como forma de melhor organizar as informações recolhidas acerca das tecnologias imersivas e dos próprios dispositivos imersivos, procedeu-se à criação de uma classificação facetada, extremamente útil e utilizada por gestores de informações. Contudo, cabe, primeiramente, definir o conceito de classificação facetada, a importância da sua utilização e a forma como esta deve ser criada, tendo por base aquilo que é dito por diferentes autores.

Atualmente, é extremamente comum para o utilizador que este se depare com classificações facetadas em vários sítios web, uma vez que a utilização de facetas corresponde a uma forma simples e natural de organização (Denton, 2003). Facetas são, de forma simples, um conjunto de categorias, sendo que cada uma delas isola uma perspetiva sobre um determinado item, que quando combinadas descrevem todos os objetos em questão, formando um esquema organizacional multidimensional e permitindo ao utilizador uma pesquisa mais rápida e filtrada (Denton, 2003).

Através do artigo “How to Make a Faceted Classification and Put It On the Web” de William Denton, de 2003, o autor explica de forma clara e sucinta que se deve fazer uma classificação facetada “...quando é possível organizar as entidades em três ou mais categorias mutuamente exclusivas e exaustivas em conjunto...” (Denton, 2003), dando ainda um exemplo simples que permite perceber de que forma se deve fazer uma classificação facetada.

No artigo “Faceted Classification for the web”, B. Vickery refere que uma classificação, em termos simbólicos, uma estrutura hierárquica, afirmando, ainda, que esta pode ser usada como uma ferramenta de recuperação de informação (Vickery, 2008). No mesmo artigo o autor ainda refere que motores de busca como é o caso da Google, utilizam um método não hierárquico de pesquisa, no qual são criadas *strings* (características) para cada documento, de forma que quando um utilizador faça uma pesquisa utilizando um determinado conjunto de *strings*, o motor de busca verifique se existe uma correspondência dessas *strings* com as que já fazem parte da sua lista gravada.

Brian Vickery refere que a classificação documental deve classificar os documentos como sendo sujeitos compostos e não como sendo entidades únicas, isto porque se um livro pode ser sobre assuntos de termo único, como são exemplo: Guerra, Primatas, Túlipas, Ferrovias ou Culinária, os documentos que fazem parte dessa

classificação apresentam assuntos compostos, como são exemplo: As causas da Guerra, A evolução dos primatas, A propagação das túlipas, O financiamento de ferrovias ou Culinária vegetal (Vickery, 2008). Segundo o autor, o que permite ao utilizador a possibilidade de identificar o assunto de cada documento é, exatamente, a combinação de todos os seus termos, contudo cada elemento deve ser um aspeto independente dos demais, fazendo com que, o utilizador, tenha a capacidade de, durante uma pesquisa, separar qualquer aspeto particular. Isto só é possível quando na classificação do documento, cada aspeto, seja representado como uma unidade numa lista, sendo cada uma dessas unidades conhecidas como facetas.

Vanda Broughton, no seu artigo “The need for a faceted classification as the of all methods of information retrieval” refere um conjunto de características que garantem que a recuperação de informação, através de uma classificação facetada, é, de facto eficaz. Sendo estas: exibição de relacionamentos genéricos úteis; existência de referências cruzadas completas e precisas; aplicação precisa dos princípios de divisão; existência de uma ordem de citação clara; existência de regras estabelecidas para a composição da classificação; existência de uma notação apropriada (Broughton, 2005).

No mesmo artigo, a autora refere que, apesar de o Classification Research Group (CRG), inicialmente atribuía a classificação facetada apenas para a organização dos media impressos, contudo, refere ainda que a utilização de uma classificação facetada num ambiente digital, é bastante diferente daquilo que era no ambiente físico dos media impressos, uma vez que é necessário descrever adequadamente o objeto. Neste contexto digital, é possível listar alguns benefícios citados por Broughton, relativamente à classificação facetada, sendo estes (Broughton, 2005):

- A capacidade de expressar, por síntese, a complexidade do conteúdo temático típico dos documentos digitais;
- Existência de uma sintaxe de sistema que garanta que uma gestão regular e consistente;
- Existência de uma estrutura rigorosamente lógica, que seja compatível com a manipulação da máquina em qualquer nível na classificação;
- Existência de uma estrutura compatível com uma interface gráfica de navegação;
- Possibilidade de pesquisa de domínio cruzado, isto é, a facilidade de variação ou rotação da ordem de citação;
- Existência de uma estrutura e metodologia que permitam a conversão da classificação para outros formatos de linguagem de índice;
- Possibilidade de pesquisa por palavras-chave modificáveis através de vocabulários de mapeamento e controlo do vocabulário através de um dicionário de sinónimos.

Brian Vickery explica no seu artigo “Faceted Classification for the web” o processo de recolha de informação para a criação de uma classificação facetada. Segundo o autor, o primeiro passo deve ser a análise de literatura, através da qual se

devem recolher todos os termos que são importantes acerca do assunto da classificação, referindo, inclusivamente, que estes termos não devem ser apenas os mais enfatizados, mas também os que são usados em combinações nos títulos descritivos de artigos sobre a área (Vickery, 2008). Como resultado desta análise deve obter-se uma coleção de palavras individuais ou em combinação e de frases considerada satisfatória, de forma que seja possível atribuir cada termo encontrado a uma faceta. Após este processo de organização de termos nas facetas, resta determinar a ordem na qual as facetas devem aparecer na classificação facetada.

Desta forma e tendo estes artigos em conta, o primeiro passo dado na construção da classificação facetada das tecnologias imersivas foi analisar o mais profundamente possível os dispositivos listados na grelha de análise de dispositivos, sendo recolhido o máximo número de características funcionais possíveis, além dos atributos técnicos já mencionados. Desta forma, foi feito um brainstorming acerca de quais as características funcionais que já poderiam ser mencionadas (como por exemplo o tipo de aplicação dos dispositivos: manutenção, operações, formação, etc.) e acerca do tipo de características que poderiam ser encontradas, tendo, este trabalho, sido baseado, sobretudo, nas funcionalidades dos sensores.

Após o levantamento destas informações, as mesmas foram organizadas em grupos de facetas e subfacetas, criando-se, assim, uma classificação facetada que tinha por objetivo organizar o conhecimento adquirido relativamente às tecnologias imersivas, de forma a ser possível melhorar e detalhar os cenários descritos anteriormente. Esta classificação foi alvo de iterações e validações por parte de investigadores e professores especialistas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e do INESC-TEC na área das tecnologias, o que levou a algumas alterações à classificação original (disponível em anexo - Anexo D: Classificação Facetada).

Assim, tendo cada grupo de facetas várias facetas e subfacetas, foram-lhes atribuídos os nomes de **características técnicas**, **características de qualidade** e **características funcionais**. Para a escolha das características técnicas foram utilizadas as características referidas na grelha de análise de dispositivo, correspondentes aos atributos de cada dispositivo. Assim, foi possível encontrar a seguinte hierarquia de facetas e subfacetas do grupo das **Características Técnicas**:

Tabela 3 - Classificação Facetada: Características Técnicas

Tecnologias Imersivas	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Realidade Virtual</li> <li>○ Realidade Aumentada</li> <li>○ Virtualidade Aumentada</li> <li>○ Realidade Mista</li> </ul>
Tipo de dispositivo/Interface	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ HMD (head-mounted display) <ul style="list-style-type: none"> <li>■ HMD Monocular</li> <li>■ HMD Binocular</li> <li>■ Optical head-mounted display</li> <li>■ Vídeo head-mounted display</li> </ul> </li> <li>○ CAVE (Cave Automatic Virtual Environment)</li> <li>○ Projetor</li> <li>○ Tablet</li> <li>○ Smartphone</li> </ul>
Display	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ LCD</li> <li>○ OLED</li> <li>○ AMOLED</li> <li>○ Super AMOLED</li> </ul>
Plataformas compatíveis	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ PC (Windows/ Mac/ Linux)</li> <li>○ Smartphone</li> <li>○ Tablet</li> <li>○ Consola (Playstion, etc.)</li> </ul>
Ano de lançamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 2015 - 2017</li> <li>○ 2017 - 2019</li> <li>○ 2019 - 2021</li> </ul>
Peso (g)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 0 - 300</li> <li>○ 301 - 600</li> <li>○ &gt; 601</li> </ul>
Duração bateria	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 0h - 3h</li> <li>○ 3h - 6h</li> <li>○ 6h - 9h</li> </ul>
Número de ecrãs	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 0</li> <li>○ 1</li> <li>○ 2</li> </ul>

<p style="text-align: center;">Sensores</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rastreamento <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Ocular</li> <li>■ De mãos</li> <li>■ De cabeça</li> </ul> </li> <li>○ Biométricos <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Voz</li> <li>■ Face ID</li> <li>■ Impressão Digital</li> <li>■ Skin conductance</li> <li>■ EEG</li> </ul> </li> <li>○ Movimento <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Acelerómetro</li> <li>■ Giroscópio</li> <li>■ Bússola</li> <li>■ GPS</li> <li>■ Infravermelhos</li> </ul> </li> <li>○ Medição <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Profundidade</li> <li>■ LiDAR (Light Detection And Ranging)</li> </ul> </li> <li>○ Deteção <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Temperatura</li> <li>■ Humidade</li> <li>■ Luz <ul style="list-style-type: none"> <li>● Sensor de imagem</li> </ul> </li> <li>■ Proximidade</li> </ul> </li> </ul>
<p style="text-align: center;">Mecanismos de Comunicação In/out</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Câmara</li> <li>○ Microfone</li> <li>○ Áudio <ul style="list-style-type: none"> <li>■ auscultadores integrados fixos</li> <li>■ auscultadores integrados removíveis</li> <li>■ 1 entrada jack 3.5mm</li> <li>■ 2 entradas jack 3.5mm</li> </ul> </li> </ul>
<p style="text-align: center;">Conexão</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Wi-Fi</li> <li>○ Bluetooth</li> </ul>

Quanto às características de qualidade foram tidas em conta dois tipos de atributos encontrados juntamente com a pesquisa realizada para a recolha das características técnicas acima apresentadas que, contudo, não correspondiam a este

grupo. Sendo assim possível encontrar a seguinte hierarquia de facetas e subfacetas do grupo das **Características de Qualidade**:

*Tabela 4 - Classificação Facetada: Características de Qualidade*

Preço	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 0€ - 1000€</li> <li>○ 1000€ - 2000€</li> <li>○ 2000€ - 3000€</li> <li>○ &gt; 3000€</li> </ul>
Fabricante	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Microsoft</li> <li>○ Magic Leap</li> <li>○ Google</li> <li>○ ThirdEye</li> <li>○ Toshiba</li> <li>○ Vuzix</li> <li>○ ODG</li> <li>○ RealWear</li> <li>○ Apple</li> <li>○ Samsung</li> <li>○ Huawei</li> <li>○ Epson</li> <li>○ Viewsonic</li> <li>○ Optoma</li> </ul>

Quanto às características funcionais, e como referido acima, foram tidas em conta as funcionalidades dos sensores e dos próprios dispositivos, sendo assim possível encontrar a seguinte hierarquia de facetas e subfacetas do grupo das **Características Funcionais**:

*Tabela 5 - Classificação Facetada: Características Funcionais*

Meio de Utilização	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Vestível (Wearable)</li> <li>○ Não Vestível (Not Wearable)</li> </ul>
--------------------	--

<p>Tipo de aplicação/ Processo industrial</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Manutenção</li> <li>○ Suporte às Operações <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Corte</li> <li>■ Montagem</li> <li>■ Acabamentos</li> </ul> </li> <li>○ Formação <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Captação e transmissão de imagens</li> <li>■ Transmissão do processo</li> <li>■ Formação em contexto de trabalho (training on the job)</li> </ul> </li> <li>○ Qualidade <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Detecção visual de falhas</li> <li>■ Testagem do produto</li> </ul> </li> </ul>
<p>Funcionalidades de sensorização</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rastreamento</li> <li>○ Controlo biométrico <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Reconhecimento <ul style="list-style-type: none"> <li>● Facial</li> <li>● Digital</li> <li>● De voz</li> </ul> </li> <li>■ Controlo de movimento</li> </ul> </li> <li>○ Medição <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Distância entre objetivo</li> </ul> </li> <li>○ Detecção <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Movimento</li> <li>■ Posição</li> <li>■ Proximidade</li> <li>■ Quantidade <ul style="list-style-type: none"> <li>● De humidade</li> <li>● De luz</li> <li>● De variações na temperatura</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>
<p>Ferramentas de leitura de códigos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Sensor infravermelhos</li> <li>○ Código RFID</li> <li>○ Código QR</li> </ul>
<p>Ferramentas de Comunicação</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Chamadas para outros utilizadores</li> <li>○ Videochamadas para outros utilizadores</li> <li>○ Caneta Digital</li> <li>○ Desenho através do reconhecimento dos dedos</li> </ul>

## Diagrama de Classes

Após a construção da Classificação Facetada e da validação da mesma, deu-se início à construção do Diagrama de Classes, o qual é como uma especificação da base de dados de uma possível aplicação, por de forma a visualizar e explorar a informação recolhida e apresentada na Classificação Facetada acerca das tecnologias imersivas.

Relativamente à criação de um diagrama de classes, William Denton refere no seu artigo a existência de duas formas de armazenar um sistema de classificação facetada (Denton, 2003). No caso do presente trabalho, o diagrama foi construído através do editor gráfico Draw.io disponível online, e por isso o armazenamento foi feito através de um ficheiro XML, cuja linguagem é XFML, uma vez que este é o método utilizado para colocar classificações facetadas num formato legível tanto por máquinas como por humanos e cujo armazenamento, transmissão e manipulação sejam fáceis de fazer (Denton, 2003). Desta forma, e sendo que este é um método que apenas apresenta dois elementos (classe e tópico) foram seleccionadas todas as facetas da classificação que partiram de um ponto em comum “Tecnologia Imersiva”, gerando o esquema representado na seguinte figura:

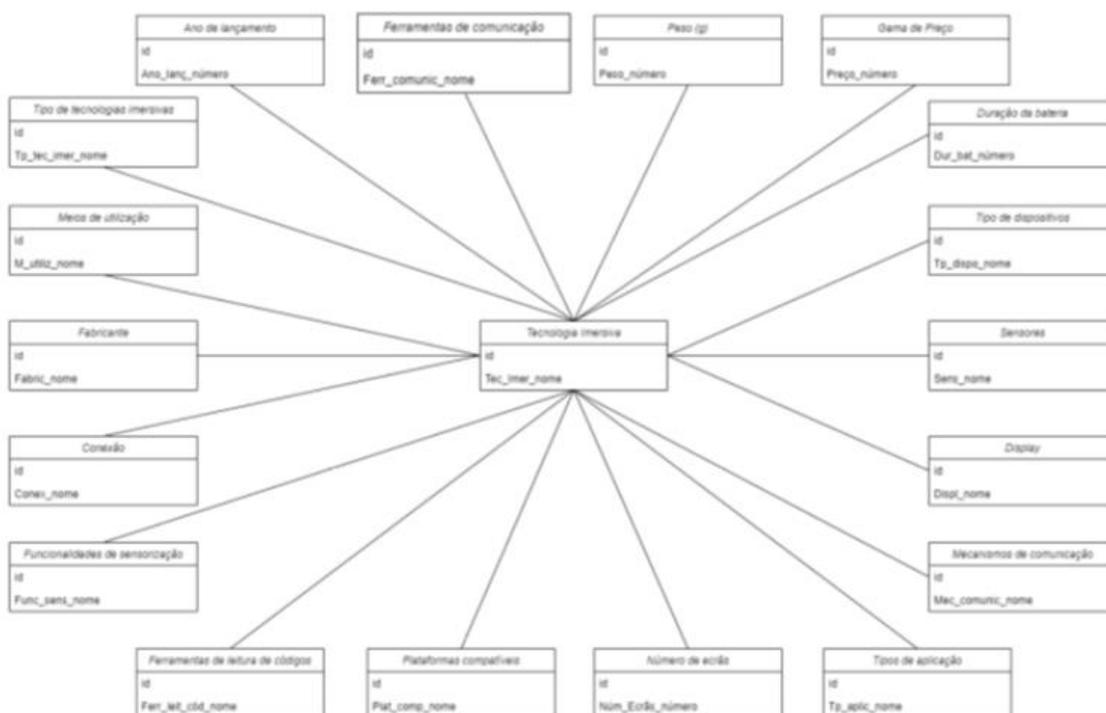


Figura 9 - Excerto do Diagrama de Classes

Em seguida, foram colocadas as respectivas subfacetas como facetas ou tópicos, dependendo de se era uma subfaceta que representava ou não o último nível possível daquela faceta. A título de exemplo, foi utilizada a faceta **Tipos de aplicação**, sendo possível encontrar as demais facetas que compõem o diagrama de classes nos anexos (disponível em anexo - Anexo E: Diagrama de Classes). Na figura abaixo é possível verificar que esta faceta é representada numa classe, dando origem a outras três classes e a um tópico que corresponde a um possível valor da classe, sendo que as três classes relativas a três das subfacetas dão, igualmente, origem a tópicos.

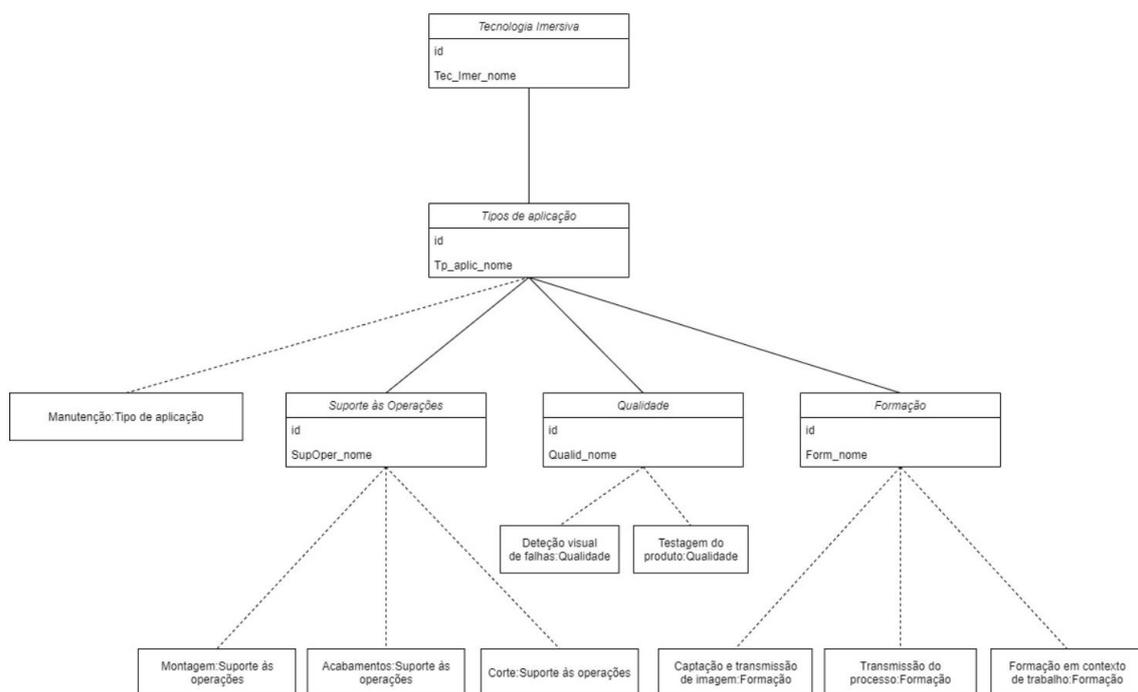


Figura 10 - Excerto do Diagrama de Classes: Tipos de aplicação

### 3. Abordagem metodológica

O presente trabalho tem como propósito o desenho de cenários de aplicação de tecnologias imersivas na Indústria 4.0, de forma que seja possível identificar e caracterizar as necessidades informacionais do trabalhador, bem como auxiliar a aplicação e utilização destas tecnologias num contexto de trabalho. Desta forma, e com o propósito de alcançar um bom artefacto, será utilizado o paradigma de investigação Design Science Research (DSR). Este paradigma surge através dos princípios gerais da engenharia, bem como no livro de Herbert Simon “The Sciences of the Artificial”, de 1996 (Simon, 1996), e tem sido considerado como um paradigma de investigação cujo objetivo é a resolução de problemas na área dos Sistemas de Informação (Henver, 2007).

Com base no acima referido, é possível dividir a abordagem metodológica utilizada em três fases: A primeira delas corresponde à definição do problema, da motivação e dos objetivos para a construção do artefacto (cenários). Nesta fase recorrer-se-á à recolha e análise documental, na qual, a partir de vários artigos científicos foi construída uma revisão de literatura que serve de base à entrada neste tema. Em seguida, serão, também, realizadas entrevistas exploratórias no âmbito de casos de estudo para recolha de informação que suporte a criação dos cenários. A segunda fase diz respeito ao desenvolvimento do artefacto (dos cenários que irão ser apoiados, também, de forma iterativa com entrevistas em empresas) bem como da posterior criação de uma Classificação Facetada. Por fim, a terceira fase da metodologia é colocada em prática, já após o desenho dos cenários e a criação da classificação facetada, e diz respeito à validação desta mesma classificação. Esta validação da classificação será feita empiricamente com investigadores e professores especialistas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e do INESC-TEC na área das tecnologias, o que permitirá a revisão da classificação, caso seja necessário.

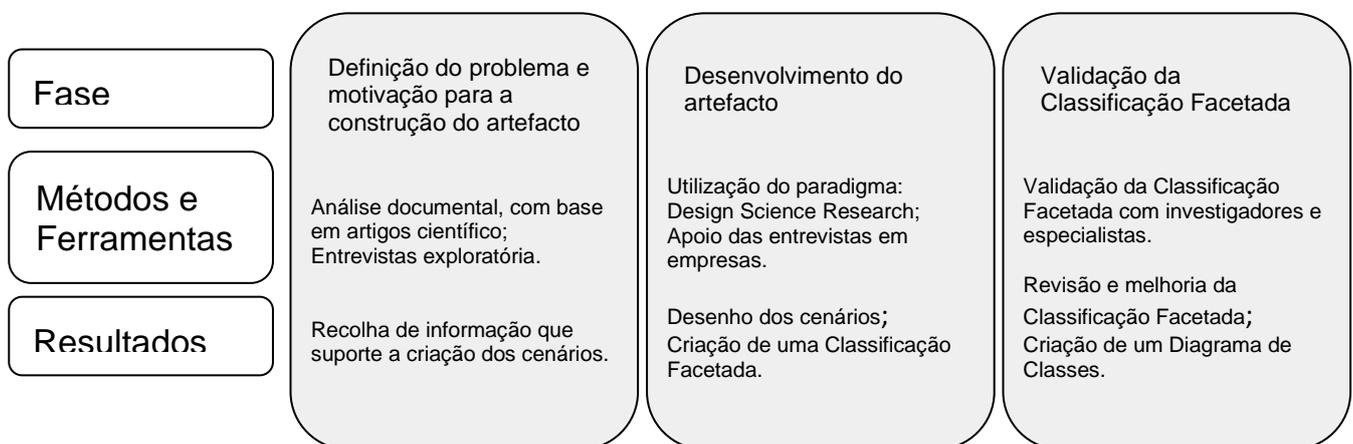


Figura 11 - Processo de investigação

Tendo em conta o processo de investigação acima descrito, e focando na clara divisão das fases de trabalho a ser realizado, é possível distinguir quais as principais tarefas que devem ser realizadas ao longo deste trabalho de dissertação e que correspondem a tarefas e marcos importantes para o mesmo. Após se dar início à recolha de informações relevantes em artigos e outros tipos de fontes, por de forma a construir uma revisão de literatura forte e capaz de sustentar o restante trabalho e após a escrita desta revisão de literatura, a mesma passou por uma revisão, por parte dos orientadores do trabalho, o que permitiu verificar possíveis *gaps* de informação, para que fosse possível completá-los e, posteriormente, defender o tema de dissertação.

Finda esta primeira fase do trabalho, passar-se-á à elaboração e preparação de um guião de entrevista, após o qual serão contactadas empresas de forma a poderem ser realizadas as entrevistas exploratórias. Pretende-se, mediante a realização de entrevistas, proceder, simultaneamente, à análise das informações obtidas nas mesmas, de forma a ser possível desenhar, desde logo, cenários de aplicação. Desta forma, conta-se, realizar três tarefas simultâneas ao longo de, pelo menos, dois meses, sendo que a análise das entrevistas e o desenho dos cenários serão tarefas prolongadas. Durante a realização destas tarefas (entrevistas, análise das informações e desenho dos cenários), será feita a entrega de uma primeira versão da Dissertação que tem por objetivo permitir aos orientadores um melhor acompanhamento do trabalho realizado, bem como a redefinição das tarefas a serem realizadas ao longo do trabalho. Com a finalização da análise das entrevistas e do desenho dos cenários, é fulcral definir a forma como os mesmos serão validados, e proceder a essa mesma validação. Após este processo estar realizado, prepara-se todos o documento para a sua submissão e, posteriormente a essa submissão, o foco deve ser dirigido à defesa do trabalho realizado.

## 4. Construção de Cenários

Neste capítulo será abordada uma fase fulcral na realização do presente trabalho de dissertação, correspondente ao trabalho de recolha de informações diretamente em empresas industriais. De forma a recolher o máximo de informação relevante possível, que permitisse o desenho de cenários de aplicação, foi desenvolvido um guião de entrevista (disponível em anexo - Anexo B: Guião de entrevista) o qual foi, posteriormente, aplicado a gestores de produção e/ou gestores de investigação das organizações contactadas.

### 4.1. Recolha de informação

Finda a primeira fase do trabalho, correspondente à recolha de informações através de análise e revisão de documentos científicos e outros, cabe a tarefa de organização e criação de um guião de entrevista a ser aplicado, posteriormente, a um conjunto de empresas. Desta forma, e a partir das questões de investigação deste projeto de dissertação, foi feito um brainstorming acerca do tipo de informações que se pretendiam recolher de forma a elaborar as questões a serem colocadas. Foram reunidas um conjunto de questões que, através de reuniões com investigadores especialistas na digitalização da indústria do futuro com experiência e vasto conhecimento do setor da manufatura do CESE - INESC TEC, foram aprimoradas.

O guião construído é dividido em quatro partes, consoante o tipo de questões colocadas, sendo a primeira parte constituída por uma única questão que pretende dar início ao tema das tecnologias imersivas e das suas aplicações; a segunda parte tem por objetivo a recolha de informações acerca de aplicações das tecnologias imersivas em si, isto é, se ao momento da entrevista a empresa já tinha feito algum tipo de aplicação de tecnologias imersivas, de que forma o fez e, caso não haja qualquer tipo de aplicação, de que forma esta poderia ser benéfica; a terceira parte corresponde a questões de necessidades informacionais por parte dos trabalhadores; e a quarta e última parte do guião tem como objetivo ser possível escrever uma narrativa de cenários de aplicação de tecnologias imersivas.

De forma que os cenários de aplicação criados fossem o mais abrangente possível, foram contactadas empresas de diferentes áreas de trabalho, sendo que esta seleção de empresas seguiu um modelo de amostra de conveniência, através dos contactos que os investigadores do CESE forneceram e que responderam em tempo útil.

Foram, assim, entrevistados cinco trabalhadores de cinco empresas distintas, cujas áreas de trabalho são desde a área têxtil, à área automóvel, passando ainda pela área tecnológica e pela área de embalagens industriais, sendo que quatro das cinco empresas são multinacionais e apenas uma não o é. Quanto aos cargos dos entrevistados, estes passam por diretores industriais, diretores de TI ou gestores de operações.

Aquando do contacto com as empresas para a marcação das entrevistas foi enviado um ficheiro em formato .docx referente ao Protocolo de Consentimento (disponível em anexo - Anexo C: Protocolo de Consentimento), através do qual se pretendia explicar, sucintamente, o tema trabalhado na presente dissertação de mestrado, bem como o perfil pretendido dos entrevistados e para recolha de alguns dados gerais as empresas entrevistadas.

#### 4.2. Análise da informação recolhida

Tendo em consideração as diferentes áreas de trabalho das empresas contactadas, foi grande a diversidade de informações recolhidas, contudo **todos os entrevistados já tinham uma ideia, mais ou menos definida do tema a ser abordado, isto é, do que são as tecnologias imersivas e do facto de estas serem úteis para a Indústria 4.0.** Quanto à utilização de tecnologias imersivas, **três das empresas entrevistadas não apresentaram qualquer caso de utilização**, contudo, uma das empresas referiu estar a estudar opções de utilização e a preparar casos de uso de estudo da aplicação, e uma **outra empresa apresentou dois casos de utilização nos quais já utiliza um dispositivo ocular de Realidade Virtual, sendo um deles relacionado com “remote mindedness”,** na qual os trabalhadores e engenheiros estão na linha de produção utilizando uns óculos que lhes permite a possibilidade de telemanutenção, isto é, **o trabalhador comunica com um técnico que se encontra a uma longa distância e, através da utilização dos óculos, o técnico é capaz de identificar o problema da máquina, referir qual a solução e validar o trabalho de manutenção que o trabalhador está a fazer;** o segundo caso de utilização apresentado relaciona-se com a **formação dos trabalhadores**, na qual os formandos se encontram dentro de uma sala e um dos trabalhadores (o formador) encontra-se na linha de produção utilizando uns óculos imersivos, através dos quais grava a forma como trabalha com a máquina e os formandos, por sua vez, e sem a necessidade de estarem no chão de fábrica, recebem a transmissão das gravações, aprendendo, desta forma, o manuseamento da máquina.

No que corresponde à utilização das tecnologias e, conseqüentemente, às necessidades informacionais dos trabalhadores, é possível concluir, tendo em conta as respostas recolhidas, que os dispositivos imersivos a serem utilizados deveriam conter e mostrar ao trabalhador a **informação necessária para que este possa realizar a sua tarefa**, ou seja, o passo a passo da sua tarefa, podendo esta informação ser apresentada em **formato de texto ou em formato de imagem**. Isto é dizer que a empresa deve garantir a digitalização de **manuais de instruções de maquinaria, listas de operações dos processos de produção**, indicações dos passos a serem dados pelos trabalhadores durante o processo de produção e, inclusivamente, manter uma política de conhecimento implícito dos trabalhadores. Quanto a esta última opção, é considerado de extrema importância que se mantenha e passe o **conhecimento dos trabalhadores** que, pela experiência de trabalho, são capazes de desenvolver novas técnicas de trabalho. Este tipo de informação pode ser **registado via vídeos nos quais o trabalhador realiza a sua função enquanto, simultaneamente, explica os passos que dá** de forma a conseguir, no final do processo, ter o produto montado.

Foram ainda colocadas questões acerca do tipo de preocupações que a empresa encontrava quanto à implementação de tecnologias imersivas, bem como a forma como esta implementação deveria ser feita. Como seria de esperar, cada empresa, tendo em conta a sua área de trabalho e a forma como trabalha, apresentou a sua perceção, sendo que uma das empresas referiu, por exemplo, que o tipo de preocupações tidas relativamente à aplicação de tecnologias imersivas, não estavam diretamente relacionadas com o trabalhador que as deveria utilizar, mas sim com o background da empresa, ou seja, o **nível de maturidade de Indústria 4.0 em que a empresa se encontra**, nomeadamente o **nível de digitalização da empresa e dos seus processos**, com a **quantidade de informação que deveria ser disponibilizada e digitalizada** de forma a que o trabalhador no chão de fábrica as pudesse consultar e utilizar, sendo que esta informação deveriam ser **constantemente atualizadas**. Uma outra empresa respondeu a esta mesma questão referindo que uma das maiores preocupações se encontrava na necessidade de **avaliar as equipas de trabalho de forma a entender quais seriam as mais valias deste tipo de tecnologias, de forma a ser possível implementá-las e explicá-las aos trabalhadores**, isto é, preparar um plano detalhado sobre as capacidades das equipas de trabalho e sobre o que é que é preciso ter de forma a que a aplicação seja um sucesso; sendo também necessário perceber quais os objetivos da empresas relativamente à implementação destas novas tecnologias, uma vez que esta implementação deve estar ligada a esses objetivos, isto é, **perceber o que vai ser melhorado e o que vai ser obtido após a implementação que ainda não existia**. Uma

outra preocupação tida pelas empresas diz respeito à **necessidade de formação a ser dada aos trabalhadores para a utilização dos dispositivos** e, como foi referido, que a aplicação deste tipo de tecnologias não corresponderia a um problema da parte dos trabalhadores, uma vez que o principal objetivo desta aplicação seria auxiliar o trabalhador na sua função diária.

Ao longo das entrevistas foi possível perceber que esta **realidade das tecnologias imersivas ainda não está presente nas empresas**, sendo que algumas delas **não demonstraram um especial interesse na aplicação**. Ainda assim, todas concordaram que este tipo de tecnologia **pode ser de grande utilidade e uma mais-valia em alguns processos de produção do chão de fábrica**.

#### 4.3. Cenários de aplicação das tecnologias imersivas na Indústria 4.0

Após a recolha de informações através das entrevistas e da análise das mesmas, conforme descrito no capítulo anterior, coube dar início ao desenho do artefacto, isto é, de um conjunto de cenários que descrevam situações nas quais exista a aplicação de tecnologias imersivas na Indústria 4.0 e a forma como estas tecnologias são utilizadas pelos trabalhadores.

Tendo por base os exemplos estudados aquando da revisão de literatura, foi possível delinear a estrutura e a forma como deveriam ser descritos os cenários de aplicação no contexto industrial, isto é, foi possível perceber que na construção de um cenário é necessário ter-se em conta vários factores além do tipo de tecnologia que se pretende aplicar, sendo exemplo destes factores o ambiente no qual a tecnologia será utilizada, o trabalhador que a irá utilizar, as informações que devem ser disponibilizadas (ao trabalhador) e o objetivo da aplicação deste tipo de tecnologias. Com a realização de entrevistas foi possível perceber, até certo ponto, os processos de produção de diferentes produtos em diferentes áreas de atuação, com mais ou menos detalhe, o que forneceu informações suficientes, e uma ideia básica do funcionamento de um chão de fábrica, para que fosse possível criar cenários o mais semelhantes possível à realidade industrial.

Relativamente ao método de desenho de cenários, tal como é possível verificar no ponto “6.4. Construção de Cenários”, foram estudados três diferentes métodos, sendo que para o presente trabalho foram tiradas inspirações de dois desses métodos: o **método de cenários preditivos** e o **método de cenários exploratórios**. No método de

cenários preditivos e tal como é referido acima, estes têm por objetivo tentar prever o que vai acontecer no futuro o que foi, de facto, algo tido em conta nas descrições destes cenários, ou seja, estes foram descritos como se o futuro fosse, na verdade, o presente, o que permite planear e adaptar situações expectáveis, lidar de forma mais simples com os desafios que possam surgir e aproveitar ao máximo as oportunidades, deixando, desta forma, os trabalhadores alerta para possíveis problemas que possam surgir. Quanto ao método de cenários exploratórios e assim como já foi referido, estes têm por objetivo a exploração de situações ou desenvolvimentos que sejam considerados como sendo possíveis, e tal como também já foi referido, as tecnologias imersivas são, cada vez mais, uma ferramenta extremamente útil e utilizada. Este método procura ajudar na exploração de desenvolvimentos tidos em conta pelo grupo alvo, bem como por serem úteis em questões estratégicas.

#### 4.3.1. Desenho de Cenários de Aplicação de tecnologias imersivas

##### *Cenário 1 - Empresa de montagem de carros de bombeiros (processos de corte de chapa e montagem de chassi)*

Uma empresa industrial dedicada à construção de carros de bombeiros, que trabalha a nível nacional e internacional, recebe a encomenda de um determinado cliente estrangeiro que pretende comprar doze veículos com determinadas especificidades. O departamento de design desta empresa trabalha num esboço, tendo em consideração as necessidades do cliente, apresentando um projeto completo do trabalho, onde além do esboço do veículo a construir, constam todas as medidas, tipos de materiais (chapas, parafusos, soldas, bombas de água e/ou espuma, entre outros), a cor e estampas que devem ser aplicadas, sirenes, conexões via rádio, entre outros.

Após a aprovação do projeto pelo cliente, são elaboradas as ordens de produção, onde também se encontram as especificações das diferentes tarefas e instruções de trabalho até ao produto final. Após o processo de Compra e Gestão de materiais que garante o stock de todos os materiais necessários para as ordens de produção, é realizado o planeamento da produção das ordens de produção relativas à encomenda. No âmbito da produção e montagem dos veículos, a equipa está subdividida em duas equipas, uma dedicada ao corte e preparação da chaparia e uma outra que procede à montagem da mesma. A primeira equipa dá início ao seu trabalho verificando, através de um dispositivo móvel, com conexão Wi-Fi, o projeto no qual além do esboço do veículo, constam todas as informações descritas e necessárias, de entre as quais se

podem encontrar, as medidas de corte da chapa e o tipo de parafusos e/ou soldas utilizados na montagem. Além da possibilidade de aceder ao projeto e à listagem dos materiais necessários, este dispositivo permite, igualmente, aceder ao stock disponível em armazém, bem como a um formulário a ser preenchido de forma a requisitar os materiais ao armazém e as respetivas quantidades, que são, posteriormente, transportados para o local de trabalho da equipa de corte. A adoção deste dispositivo fez com que os trabalhadores fossem mais eficientes nas suas funções, uma vez que já não há a necessidade de se deslocarem ao armazém para verificar a disponibilidade dos materiais.

Tendo já a chapa na zona de trabalho, os trabalhadores utilizam um dispositivo de projeção que se conecta via Bluetooth ao dispositivo móvel (tablet). Através do tablet, os trabalhadores desta secção selecionam a parte da carroçaria que pretendem cortar e criar as marcações que são projetadas pelo projetor, diretamente na chapa mostrando ao trabalhador por onde deve fazer o corte sem que se engane e evitando desperdícios de matérias.

Já com todas as peças da chaparia cortadas e marcadas, as mesmas passam para a segunda equipa de trabalho que se dedica à montagem do chassi. Esta equipa dispõe, igualmente, de um dispositivo móvel, com conexão Wi-Fi, que lhe permite aceder ao projeto e ao esboço do chassi que deve montar, bem como aceder ao stock disponível em armazém e ao formulário de requisição dos materiais que são necessários para aquela tarefa. Posteriormente à requisição e entrega de todos os materiais que a equipa de montagem necessita para montar o chassi (parafusos e soldas), esta dá início à sua montagem utilizando, para tal, um head-mounted display de Realidade Mista que recebe o esboço do dispositivo móvel no qual os trabalhadores acedem ao projeto, que lhes indica através de uma imagem virtual quais as peças que o trabalhador vai necessitar e quais os parafusos e soldas a serem utilizados. Ao pegar em cada peça, o trabalhador verifica se pegou na peça correta através do reconhecimento de código feito pelo dispositivo. O dispositivo indica passo a passo a tarefa que o trabalhador tem que fazer para proceder a montagem através de texto e imagens ilustrativas de cada procedimento, isto é, o trabalhador consegue visualizar qual a posição correta em que a peça deve ser colocada, bem como onde devem ser colocados os parafusos. Com a utilização deste tipo de tecnologia, os trabalhadores são mais competentes e autossuficientes, uma vez que não têm a necessidade de interromper o processo de montagem para perguntar a um superior se está a proceder corretamente à montagem, pois é-lhes mostrado o passo a passo da tarefa.

Este era um processo moroso, anteriormente à implementação destas tecnologias, uma vez que cada trabalhador necessitava de parar a sua tarefa para verificar se a estava a realizar corretamente, bem como para verificar o esboço em papel. Além disso, este tipo de tecnologias previne falhas no corte e na montagem, que anteriormente não havia como prevenir.

### Cenário 2 - Indústria automóvel (linha de montagem de um veículo)

Uma indústria automóvel irá montar um novo modelo de carro nas suas linhas de montagem, para tal, deve informar uma das equipas de qual a marca e modelo em que irão trabalhar, entregando-lhes o processo correspondente ao veículo. A linha de montagem está dividida em seis secções de trabalho distintas, sendo, cada uma delas, responsável por um dos seguintes processos: Corte, Montagem, Pintura, Acabamentos das portas, Testagem e montagem do motor, Finalização do veículo. Assim, os trabalhadores não precisam de se mover da sua zona de trabalho, pois o produto circula na linha de montagem até sair da mesma.

A secção do corte, como o próprio nome indica, é responsável pelo corte das chapas que, posteriormente, serão utilizadas para montar a carroçaria do veículo. Assim, os trabalhadores desta secção começam por aceder, através de um dispositivo móvel, ao projeto do veículo a ser trabalhado na sua linha de montagem. Fazendo uma pequena e rápida pesquisa através de um software interno da empresa, conseguem recuperar, além do esboço do veículo, todas as informações necessárias correspondentes à sua secção de trabalho, isto é, todas as formas e respetivas medidas em que as chapas devem ser cortadas. Após terem ao seu dispor todas as informações necessárias, os trabalhadores utilizam um dispositivo de projeção que, através de uma ligação Bluetooth, se conecta com o dispositivo móvel no qual o trabalhador verifica e seleciona as medidas e formas em que a chapa deve ser cortada, e projeta as delimitações pelas quais o trabalhador deve fazer o corte. Desta forma, os trabalhadores procedem ao corte e à identificação da chapa, sem que ocorram erros de medição ou desperdício de matérias. Posteriormente, as peças passam para a secção de montagem na qual os trabalhadores procedem ao acoplamento e soldagem das peças que formam a carroçaria do veículo. Cada posto de trabalho ao longo da linha tem um conjunto de tarefas a executar. Numa média de dois trabalhadores por posto, cada trabalhador tem um head-mounted display que, através de Realidade Mista, demarca as zonas onde cada trabalhador tem que efetuar cada tarefa indicado através de texto e imagens virtuais a

tarefa a executar (exemplo: colocar e apertar parafusos), permitindo aos trabalhadores que estes possam verificar o passo a passo da montagem da carroçaria.

Com a utilização deste dispositivo, os trabalhadores, enquanto vão procedendo à montagem das peças, conseguem verificar se ocorreu alguma falha no processo, utilizando para tal um sensor de rastreamento ocular, através do qual o head-mounted display consegue detetar para onde os olhos do trabalhador estão focados verificando, desta forma, quaisquer falhas que possam ter ocorrido, isto é, o trabalhador ativa, através de um painel que lhe é mostrado à frente dos seus olhos, esta funcionalidade do dispositivo que está a utilizar, posteriormente seleciona qual a parte da carroçaria do veículo que pretende analisar e aparece uma imagem digital sobreposta ao objeto físico, levando a que, à medida a que o trabalhador analise cuidadosamente a peça que montou, a imagem virtual mude de cor para representar a parte que já foi verificada. Ao detetar falhas, o trabalhador pode corrigi-las, levando a que não haja a necessidade obrigatória de uma secção seguinte que faça esse trabalho, contudo, e por uma questão de maior segurança e controlo de qualidade, é possível que um trabalhador, que não pertença à equipa de montagem, proceda a uma revisão da montagem utilizando um head-mounted display igual ao dos trabalhadores da secção anterior, ative a funcionalidade do rastreador ocular através de um painel que lhe é mostrado à frente dos seus olhos, selecionando, posteriormente, a parte da carroçaria do veículo que pretende analisar, aparecendo uma imagem digital sobreposta ao objeto físico, o que permite a este trabalhador ter uma noção da área que deve verificar e, à medida que o vai fazendo, o dispositivo completa as zonas já verificadas.

Finda a fase de acoplamento da chaparia, a carroçaria passa a secção da pintura, na qual os trabalhadores dão início a todo o processo de tratamento e pintura das chapas. Estando o processo de pintura concluído (estando a carroçaria pintada e seca), a mesma passa para uma secção na qual os trabalhadores desmontam as portas e se dedicam às mesmas, na qual procedem à montagem dos vidros das janelas, dos puxadores, do maquinismo que permite abrir e fechar as janelas, dos airbags e do painel de revestimento das mesmas. Paralelamente a este processo das portas, os restantes trabalhadores desta secção dedicam-se ao interior do veículo, procedendo à montagem dos bancos e estofos, do revestimento do teto do veículo, da montagem dos painéis de instrumentos e dos airbags.

Em seguida, o veículo passa para uma secção na qual o motor é testado e, posteriormente, montado no respetivo lugar, sendo, simultaneamente, montado o ar condicionado, bem como a secção dos acabamentos na qual são montados o para-

brisas, o sistema de transmissão e o sistema de escape, sendo ambos acoplados à carroçaria. Após terminado este trabalho, o veículo sai da linha de montagem e segue para uma secção final de montagem das rodas, pneus e teste final.

A utilização de dispositivos imersivos, nesta linha de montagem, leva a uma maior eficácia e a uma diminuição do tempo despendido na realização de cada tarefa, uma vez que tem por objetivo facilitar o trabalho a ser feito por cada trabalhador.

### Cenário 3 - Processo de manutenção de uma avaria numa máquina

Uma empresa industrial, utiliza, no seu chão de fábrica, máquinas de uma empresa fornecedora estrangeira sendo necessária a revisão e manutenção das mesmas com alguma periodicidade. Este tipo de processo de manutenção era realizado através de um pedido que a empresa necessitava de fazer à empresa que fornece as máquinas, para que esta preparasse e enviasse um dos seus técnicos para a realização do trabalho, o que se traduzia num processo bastante demorado, dependendo da distância entre os países, bem como bastante custoso.

Atualmente, este tipo de processos já é passível de ser resolvido à distância, utilizando-se, para tal, tecnologias imersivas. Desta forma, o trabalhador destacado para a realização da manutenção da máquina necessita, apenas, de um dispositivo imersivo, do tipo head-mounted display, que tenha conexão Wi-Fi, de forma a poder aceder a uma base de dados da empresa na qual se encontram as informações de todas as máquinas e que tenha incorporados um microfone, altifalantes e uma câmara para que seja possível realizar videochamadas.

Através da câmara do dispositivo e de uma ferramenta de leitura de códigos, o trabalhador consegue ler um código de barras único que identifica a máquina, de forma a conseguir recolher toda a informação disponível acerca da mesma. Assim, é-lhe apresentado, através de um pequeno ecrã (que fica à frente dos seus olhos) um painel virtual, amplificado, que lhe permite aceder a informações úteis tais como a funcionalidade da máquina em que irá trabalhar, o ano em que a máquina foi adquirida pela empresa, o tipo de cabos utilizados, o tipo de falhas que são mais suscetíveis de acontecer, entre outras informações.

Após ter recolhido todas as informações necessárias, utilizando um sensor de reconhecimento de mãos, disponível no head-mounted display que usa, o trabalhador,

através dos dedos, consegue mexer no painel de forma a entrar em contacto com um técnico da empresa fornecedora que o ajuda à distância.

É através da câmara que o trabalhador consegue recolher imagens, em vídeo, da máquina e transmiti-las, em tempo real, para o técnico com o qual está a falar por videochamada. O técnico, por sua vez, recebe as imagens da máquina e consegue transmitir imagens animadas para o trabalhador, que lhe são apresentadas sobrepostas à zona da máquina a que se referem, ajudando-o, desta forma, a resolver o problema que havia sido encontrado na máquina. Isto é, o técnico consegue através de uma caneta digital identificar qual o problema (que pode ser, por exemplo, um cabo solto ou fora do sítio correto) mostrando, igualmente, o que deve ser feito para resolver a situação (por exemplo, o parafuso que deve ser apertado ou o local onde o cabo deveria estar conectado). Este processo, através da utilização de um sistema imersivo, pode demorar apenas alguns minutos ou até algumas horas, no entanto, é um processo muito mais célere de resolução de problemas.

#### *Cenário 4 - Empresa fornecedora de cablagens automóveis*

Uma determinada indústria fornecedora, monta, na sua linha de produção, cablagens utilizadas pelas indústrias automóveis, trabalhando, dessa forma, com diferentes marcas e, conseqüentemente, com diferentes tipos de cablagem. Cada linha de montagem fica responsável por um tipo diferente de cablagem, contudo o seu processo de montagem é bastante semelhante, sendo este processo dividido pelos trabalhadores da linha (o trabalhador mantém-se na sua posição e a peça circula na linha até estar completamente montada).

Cada trabalhador da linha de montagem tem ao seu dispor um dispositivo imersivo, do tipo head-mounted display e de Realidade Mista, que estando equipado com uma câmara e de uma ferramenta de leitura de códigos, lê o código do cabo que o trabalhador tem de montar, mostrando-lhe, num painel virtual à frente dos seus olhos, todas as informações correspondentes à montagem daquele tipo de cablagem, ou seja, a marca do cabo, em que tipo de produto é utilizado aquele cabo e como deve ser montado. Após a seleção, pelo primeiro trabalhador da linha, do produto em que a linha está a trabalhar, surgem as diferentes partes do produto para que cada trabalhador selecione apenas o cabo que tem de montar. Desta forma, o trabalhador seleciona, através do painel virtual, qual é a parte do produto final que corresponde à sua função de montagem e as respetivas informações são-lhe mostradas em formato de animações

virtuais e legendas, mostrando-lhe o passo a passo da montagem, o que lhe permite, apenas, seguir as instruções que lhe demonstram claramente que aquele cabo deve ser colocado num determinado lugar e deve ser apertado com um determinado parafuso. Desta forma, o trabalhador garante que não foram cometidos quaisquer erros de montagem, uma vez que seguiu todos os passos tais como lhe foram mostrados. Após a montagem da peça ser feita, utilizando, uma vez mais, o código de barras do cabo que montou, este faz um registo automático da peça, enviando-a, em seguida, para a secção seguinte da linha de montagem e recebendo uma nova peça para montar, repetindo todo o processo.

Este era um processo um pouco diferente antes da implementação destes dispositivos imersivos, já que cada trabalhador tinha ao seu dispor um dossier no qual estavam disponíveis todos os processos de montagem de todo o tipo de cablagem montada na empresa, sendo necessário procurar pelo tipo de cablagem da sua linha e seleccionar o seu processo de montagem. Após a verificação de todo o processo, o trabalhador dava início à montagem da cablagem seguindo as instruções descritas no dossier que necessitava de manter ao seu lado. Após completar a sua função, verificava o seu trabalho e fazendo um registo manual da peça que acabara de montar, enviava-a para a secção seguinte da linha de montagem. Todo este processo de procura e recuperação de informação era extremamente demorado, quer pela quantidade de informação ao dispor do trabalhador, quer pela forma como o processo era feito, sendo que, muitas vezes, a informação recuperada era excessiva para a função que o trabalhador pretendia realizar. Além desse ponto negativo, esta forma de recolha de informação não era prática uma vez que o mesmo teria de deixar de olhar para a peça que estava a montar para ler a instrução seguinte e voltar à peça para a executar.

## 5. Conclusões

Chegando ao final deste trabalho cabe, agora, o momento de refletir sobre o mesmo, de voltar às questões colocadas e aos objetivos pretendidos e de relacionar ambos com os resultados obtidos.

Quanto às questões de investigação colocadas no ponto 3. deste trabalho, e que tinham por objetivo auxiliar na definição dos objetivos, é possível referir que o desenho de cenários de aplicação é uma mais-valia para o planeamento da aplicação de tecnologias imersivas num contexto de trabalho industrial, uma vez que este permite à equipa de gestores analisar todos os tipos de informações necessárias para que a implementação seja um sucesso. Isto é, através do desenho de um cenário de aplicação, os gestores devem conseguir visualizar a ação descrita como algo passível de ser feito, ou seja, a forma como, de facto, os trabalhadores vão utilizar o dispositivo imersivo, de que forma o devem fazer e quais as vantagens dessa utilização como ferramenta de suporte ao trabalho. Um outro ponto importante, presente no desenho dos cenários, é permitir aos gestores que estes consigam identificar e caracterizar, de forma detalhada, as necessidades informacionais do trabalhador, o que leva a que a informação digitalizada e disponibilizada através do dispositivo seja exatamente aquilo de que o trabalhador poderá necessitar, não só para realizar as suas tarefas, como também para solucionar possíveis falhas, não controláveis, sem a necessidade de pedir o auxílio de outros trabalhadores.

Como trabalho paralelo ao desenho dos cenários, e por se considerar uma mais-valia e uma grande vantagem do ponto de vista de um gestor de informação, foi criada uma classificação facetada, com o objetivo de melhor organizar as informações recolhidas acerca dos dispositivos que utilizam tecnologias imersivas. Esta classificação foi, de facto, uma grande vantagem a nível de trabalho, pois permitiu detalhar o máximo possível os cenários, de forma que, quando lidos, seja possível identificar o tipo de dispositivo utilizado pelo trabalhador para determinada função. Como complemento à classificação facetada, a mesma foi organizada, posteriormente, num diagrama de classes cujo objetivo passou pelo armazenamento do sistema de classificação facetada num formato legível, quer por máquinas como por humanos.

Relativamente aos objetivos delineados, apesar de não ter sido possível realizá-los da forma inicialmente pretendida, foram encontrados outros caminhos de resolução, para que fosse, até certo ponto, possível concretizá-los. Como é possível verificar na secção 3 do presente relatório, o primeiro objetivo traduzia-se na identificação e

desenvolvimento de cenários de aplicação de sistemas imersivos que fossem capazes de descrever e caracterizar as tarefas e interações do trabalhador num contexto de trabalho, sendo que este foi possível cumprir com sucesso, dando origem ao artefacto deste trabalho, no qual constam quatro cenários de aplicação. O segundo objetivo pretendia a definição de um modelo de análise e avaliação dos cenários, sendo este modelo a classificação facetada criada tendo em conta as características dos dispositivos e o diagrama de classes como forma de armazenar a classificação facetada. O terceiro, e último, objetivo pretendido para o presente trabalho, correspondia a uma avaliação e validação dos cenários desenvolvidos suportadas num caso real, sendo este o único objetivo que não foi possível realizar. Contudo, foi possível proceder-se a uma validação à classificação facetada, por parte de especialistas na área tecnológica, que através dos seus contributos, permitiram que a mesma fosse mais e melhor desenvolvida, o que se tornou útil para a melhoria das descrições dos cenários.

De uma forma mais geral, é possível afirmar que, tendo em consideração os vários obstáculos encontrados, foi sempre possível encontrar uma nova solução de forma a concluir este trabalho da forma mais completa possível, sendo, claro está, possível encontrar pontos a desenvolver num trabalho futuro.

### **Trabalho Futuro**

Finda a realização do presente trabalho e após a reflexão sobre o mesmo é possível encontrar pontos que são passíveis de um trabalho futuro, de forma que haja uma continuidade e evolução no estudo da aplicação de tecnologias imersivas na Indústria 4.0.

Tendo em conta o trabalho realizado, é possível identificar três pontos que permitem o desenvolvimento do presente trabalho no futuro sendo estes: a validação dos cenários suportada num caso real; a validação dos cenários através de uma grelha de qualidade a ser desenvolvida e, posteriormente, aplicada a investigadores e especialistas na área; e a evolução da classificação facetada, sobretudo num nível mais funcional.

Relativamente à validação dos cenários suportada num caso real, seria de grande interesse um novo contacto com as empresas que se disponibilizaram aquando das entrevistas para recolha de informação, uma vez que, até certo ponto, foram modelos de chão de fábrica que serviram de inspiração para o desenho dos cenários que

compõem o artefacto, sendo que seria de igual interesse contactar empresas fornecedoras de sistemas imersivos de forma a poder ser possível a recolha de feedbacks de empresas que trabalhem com este tipo de tecnologia. Quanto à validação dos cenários através de uma grelha de qualidade a ser desenvolvida e, posteriormente, aplicada a investigadores e especialistas na área, este é um processo que permite a avaliação e validação (por parte de especialistas) da qualidade dos cenários desenhados numa vertente mais técnica (se o artefacto está bem contruído, se é passível de ser aplicado com sucesso, se há necessidade de melhorar a descrição dos processos, entre outras possibilidades de avaliação). Por fim, no que respeita à evolução da classificação facetada, o estudo da mesma é passível de ser mais aprofundado a nível funcional, sendo possível adicionar mais facetas correspondentes a funções dos dispositivos e das próprias tecnologias.

## 6. Referências

- 10 BEST Augmented Reality Glasses (Smart Glasses) In 2021. (2021, June 28). Software Testing Help. <https://www.softwaretestinghelp.com/best-augmented-reality-glasses/>
- A new vision for the workplace. (n.d.). Dynabook. Retrieved July 26, 2021, from <https://us.dynabook.com/smartglasses/>
- Apple. (n.d.). Retrieved June 16, 2021, from <https://www.apple.com/>
- Application scenarios. (2021). D-LABS GmbH. [https://d-labs.com/en/methods/application\\_scenarios.html](https://d-labs.com/en/methods/application_scenarios.html)
- AR/MR Devices. (n.d.). Augmented Minds. Retrieved June 16, 2021, from <https://www.augmented-minds.com/en/augmented-reality/ar-hardware-devices/>
- Azuma, R. T. (1997a). A Survey of Augmented Reality. In Presence: Teleoperators and Virtual Environments (Vol. 6). <http://www.cs.unc.edu/~azumaW>:
- Azuma, R. T. (1997b). A Survey of Augmented Reality. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 6, 355–385. <http://www.cs.unc.edu/~azumaW>:
- Azurduy, J. (2020, June 5). Realidad Virtual y Aumentada: Ventajas y Desventajas. Avantica. <https://www.avantica.com/es/blog/realidad-virtual-y-aumentada-ventajas-y-desventajas>
- Bem-vindo à Epson Portugal. (n.d.). Retrieved June 16, 2021, from <https://www.epson.pt/>
- Blanco-Novoa, Ó., Fernández-Caramés, T. M., & Fraga-Lamas, P. (2018). A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard. Special Section on Human-Centered Smart Systems and Technologies. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=8281493>
- Blanco-Novoa, O., Fernandez-Carames, T. M., Fraga-Lamas, P., & Vilar-Montesinos, M. A. (2018). A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard. IEEE Access, 6, 8201–8218. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2802699>

- Börjeson, L., Höjer, M., Dreborg, K. H., Ekvall, T., & Finnveden, G. (2006). Scenario types and techniques: Towards a user's guide. *Futures*, 38(7), 723–739. <https://doi.org/10.1016/J.FUTURES.2005.12.002>
- Bottani, E., & Vignali, G. (2019a). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. *IISE Transactions*, 51(3), 284–310. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1493244>
- Bottani, E., & Vignali, G. (2019b). Augmented reality technology in the manufacturing industry: A review of the last decade. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1493244>, 51(3), 284–310. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1493244>
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., & Rosenberg, M. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *World Academy of Science, Engineering and Technology. International Journal of Information and Communication Engineering*, 1. <http://waset.net>
- Broughton, V. (n.d.). The need for a faceted classification as the basis of all methods of information retrieval. <https://doi.org/10.1108/00012530610648671>
- Bryson, S. (1996a). Immersing the user in the Virtual Reality in Scientific Visualization. *COMMUNICATIONS OF THE ACM*, 39(5).
- Bryson, S. (1996b). Virtual Reality in Scientific Visualization. In *COMMUNICATIONS OF THE ACM* (Vol. 39, Issue 5).
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., & Ivkovic, M. (2011). Augmented reality technologies, systems and applications. *Multimedia Tools and Applications*, 51(1), 341–377. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., Damiani, E., Ivkovic, M., Carmigniani, J., Furht, B., Anisetti, M., Ceravolo, P., & Damiani, E. (n.d.). Augmented reality technologies, systems and applications. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- Carvalho, E. dos S. de S., & Filho, N. F. D. (2018, April 10). Proposta de um sistema de aprendizagem móvel com foco nas características e aplicações práticas da indústria PDF Free Download. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação*. <https://docplayer.com.br/127394386-Proposta-de-um-sistema->

de-aprendizagem-movel-com-foco-nas-caracteristicas-e-aplicacoes-praticas-da-industria-4-0.html

Choi, S., Jung, K., & Noh, S. Do. (2015). Virtual reality applications in manufacturing industries: Past research, present findings, and future directions. *Concurrent Engineering Research and Applications*, 23(1), 40–63. <https://doi.org/10.1177/1063293X14568814>

Covarrubias, C. (n.d.). What is Immersive Technology? ADVRTAS. Retrieved December 31, 2020, from <https://advrtas.com/immersive-technology/>

de Sá Carvalho, E. dos S., & Filho, N. F. D. (2018, June 1). Proposal for a mobile learning system focusing on the characteristics and applications practical of industry 4.0. *RISTI - Revista Iberica de Sistemas e Tecnologias de Informacao*, 2018(27), 36–51. <https://doi.org/10.17013/risti.27.36-51>

Drude, S. (2007). Requirements and Application Scenarios for Body Area Networks. *IST Mobile and Wireless Communications Summit*. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4299336>

Durak, U., Topçu, O., Siegfried, R., & Oğuztüzün, H. (2014). Scenario Development: A Model-Driven Engineering Perspective. *Proceedings of the 4th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications*, 117–124. <https://doi.org/10.5220/0005009501170124>

Envisioning the future with Windows Mixed Reality - YouTube. (2016a). In YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=2MqGrF6JaOM>

Envisioning the Future with Windows Mixed Reality - YouTube. (2016b). In Windows. [https://www.youtube.com/watch?v=2MqGrF6JaOM&ab\\_channel=Windows](https://www.youtube.com/watch?v=2MqGrF6JaOM&ab_channel=Windows)

Fell, T. (2020, July 17). Five Benefits of Immersive Technology for Business – Immersive Learning News. <https://www.immersivelearning.news/2020/07/17/five-benefits-of-immersive-technology-for-business/>

Ferraguti, F., Pini, F., Gale, T., Messmer, F., Storchi, C., Leali, F., & Fantuzzi, C. (2019). Augmented reality based approach for on-line quality assessment of polished surfaces. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 59, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.04.007>

Fite-Georgel, P. (2011). Is there a Reality in Industrial Augmented Reality? <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6162889>

- Georgel, P. F. (2011). Is there a Reality in Industrial Augmented Reality? <http://www.atelierpfister.ch/atelier-pfister/iphone-app/>
- Gilchrist, A. (2016a). Industry 4.0: The Industrial Internet of Things.
- Gilchrist, A. (2016b). Industry 4.0: The Industrial Internet of Things. Apress. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2047-4>
- Handa, M., Aul, E. G., & Bajaj, S. (2012a). Immersive Technology – uses, challenges and opportunities. *International Journal of Computing & Business Research*. <http://researchmanuscripts.com/isociety2012/12.pdf>
- Handa, M., Aul, E. G., & Bajaj, S. (2012b). Immersive Technology – Uses, Challenges and opportunities. *International Journal of Computing & Business Research I*. <http://www.researchmanuscripts.com/isociety2012/12.pdf>
- He, D., Chen, C., Chan, S., Bu, J., & Vasilakos, A. V. (2012a). A distributed trust evaluation model and its application scenarios for medical sensor networks. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 16(6), 1164–1175. <https://doi.org/10.1109/TITB.2012.2199996>
- He, D., Chen, C., Chan, S., Bu, J., & Vasilakos, A. V. (2012b). A Distributed Trust Evaluation Model and Its Application Scenarios for Medical Sensor Networks. *IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION TECHNOLOGY IN BIOMEDICINE*, 16(6). <https://doi.org/10.1109/TITB.2012.2199996>
- Henver, A. (2007). A Three Cycle View of Design Science Research. *Scandinavian Journal of Information Systems*. [https://www.researchgate.net/publication/254804390\\_A\\_Three\\_Cycle\\_View\\_of\\_Design\\_Science\\_Research](https://www.researchgate.net/publication/254804390_A_Three_Cycle_View_of_Design_Science_Research)
- Hevner, A. (2007, January). A Three Cycle View of Design Science Research. *Scandinavian Journal of Information Systems*. [https://www.researchgate.net/publication/254804390\\_A\\_Three\\_Cycle\\_View\\_of\\_Design\\_Science\\_Research](https://www.researchgate.net/publication/254804390_A_Three_Cycle_View_of_Design_Science_Research)
- HUAWEI Portugal. (n.d.). Retrieved June 16, 2021, from <https://consumer.huawei.com/pt/>
- Hussain, M., Tapinos, E., & Knight, L. (2017). Scenario-driven roadmapping for technology foresight. Elsevier. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0040162517305851?token=4C9EF99AB7CD44DB4F0D63586452B0E2726B4865F5C5C5258D58D6EB8ADB625B>

6FBA28FDD217B67DB430A0E834F44674&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210726092103

Industria 4.0: Qué es Ventajas e Inconvenientes. (2017). Aldakin.  
<http://www.aldakin.com/industria-4-0-que-es-ventajas-e-inconvenientes/>

Industria 4.0 Qué es, ventajas e inconvenientes. (2017). Aldaki.  
<http://www.aldakin.com/industria-4-0-que-es-ventajas-e-inconvenientes/>

Industry Grade AR Headsets And Smart Glasses. (n.d.). Rewo. Retrieved December 31, 2020, from <https://www.rewo.io/industry-grade-ar-headsets-and-smart-glasses/>

Introducing Microsoft Dynamics 365 Remote Assist. (2018a). In YouTube.  
<https://www.youtube.com/watch?v=V732PXZHLiU>

Introducing Microsoft Dynamics 365 Remote Assist. (2018b). In Microsoft Dynamics 365.  
[https://www.youtube.com/watch?v=V732PXZHLiU&ab\\_channel=MicrosoftDynamics365](https://www.youtube.com/watch?v=V732PXZHLiU&ab_channel=MicrosoftDynamics365)

Khatib, M., Al Khudir, K., & De Luca, A. (2020). Human-robot contactless collaboration with mixed reality interface. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67, 1–13. <https://doi.org/10.1016/J.RCIM.2020.102030>

Khatib, M., Al Khudir, K., & De Luca, A. (2021). Human-robot contactless collaboration with mixed reality interface. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.102030>

Kosow, H., & Gaßner, R. (2008). *Methods of Future and Scenario Analysis: Overview, Assessment, and Selection Criteria*. Studies / Deutsches Institut Für Entwicklungspolitik, May 2014, 133.

Kosow, H., & Gaßner, R. (2018). *Methods of Future and Scenario Analysis. Overview, Assessment, and Selection Criteria*.  
[https://www.researchgate.net/publication/258510126\\_Methods\\_of\\_Future\\_and\\_Scenario\\_Analysis\\_Overview\\_Assessment\\_and\\_Selection\\_Criteria](https://www.researchgate.net/publication/258510126_Methods_of_Future_and_Scenario_Analysis_Overview_Assessment_and_Selection_Criteria)

Krevelen, D. W. F. van, & Poelman, R. (2010). A Survey of Augmented Reality: Technologies, Applications and Limitations. *The International Journal of Virtual Reality*.  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.454.8190&rep=rep1&type=pdf>

- Kumar, R. P., Pelanis, E., Bugge, R., Brun, H., Palomar, R., Aghayan, D. L., Fretland, Å. A., Edwin, B., & Elle, O. J. (2020). Use of mixed reality for surgery planning: Assessment and development workflow. *Journal of Biomedical Informatics: X*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.yjbinx.2020.100077>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Lee, J.-M., Lee, K.-H., Kim, D.-S., & Kim, C.-H. (2010). Active inspection supporting system based on mixed reality after design and manufacture in an offshore structure †. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 24, 197–202. <https://doi.org/10.1007/s12206-009-1129-2>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2014a, January 1). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Elsevier*, 3, 23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2014b). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Elsevier*, 3, 18–23. <https://doi.org/10.1016/J.MFGLET.2014.12.001>
- Lu, Y., Liu, C., Wang, K. I. K., Huang, H., & Xu, X. (2020). Digital Twin-driven smart manufacturing: Connotation, reference model, applications and research issues. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 61. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101837>
- Lukac, D. (2016a). The fourth ICT-based industrial revolution “industry 4.0” - HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8. 2015 23rd Telecommunications Forum, TELFOR 2015, 835–838. <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2015.7377595>
- Lukac, D. (2016b). The fourth ICT-based industrial revolution “industry 4.0” - HMI and the case of CAE/CAD innovation with EPLAN P8. 2015 23rd Telecommunications Forum, TELFOR 2015, 835–838. <https://doi.org/10.1109/TELFOR.2015.7377595>
- Luzon, J. A., Stimec, B. V., Bakka, A. O., Edwin, B., & Ignjatovic, D. (2020). Value of the surgeon’s sightline on hologram registration and targeting in mixed reality. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 15(12), 2027–2039. <https://doi.org/10.1007/s11548-020-02263-3>

- Magic Leap 1. (n.d.). Retrieved June 16, 2021, from <https://www.magicleap.com/en-us/magic-leap-1>
- Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A. E., Fiorentino, M., Carraba, E., & Donato, M. Di. (2017). Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality. Elsevier. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2351978917304651?token=DB11BAE40CEFD769C8E38F95375C6739985558279A9E938B71A7570C499D0DCC581FBF8E1B7919499691A8833875E8C2&originRegion=eu-west-1&originCreation=20210726094248>
- Masoni, R., Ferrise, F., Bordegoni, M., Gattullo, M., Uva, A. E., Fiorentino, M., Carrabba, E., & Di Donato, M. (2017). Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality. *Procedia Manufacturing*, 11, 1296–1302. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.257>
- Microsoft HoloLens: Partner Spotlight with thyssenkrupp. (2017). In YouTube. [https://www.youtube.com/watch?v=IgtHnCJJUMU&feature=emb\\_logo](https://www.youtube.com/watch?v=IgtHnCJJUMU&feature=emb_logo)
- Microsoft HoloLens | Tecnologia de Realidade Mista para Empresas. (2021). Microsoft. <https://www.microsoft.com/pt-pt/hololens>
- Microsoft HoloLens Partner Spotlight with ThyssenKrupp. (2017). In Eelite Elevators. [https://www.youtube.com/watch?v=Lkly7t6DA80&ab\\_channel=EliteElevators](https://www.youtube.com/watch?v=Lkly7t6DA80&ab_channel=EliteElevators)
- Migram, P., & Kishino, F. (1994, December). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*. [https://www.researchgate.net/publication/231514051\\_A\\_Taxonomy\\_of\\_Mixed\\_Reality\\_Visual\\_Displays](https://www.researchgate.net/publication/231514051_A_Taxonomy_of_Mixed_Reality_Visual_Displays)
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994, December). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and System*. [https://www.researchgate.net/publication/231514051\\_A\\_Taxonomy\\_of\\_Mixed\\_Reality\\_Visual\\_Displays](https://www.researchgate.net/publication/231514051_A_Taxonomy_of_Mixed_Reality_Visual_Displays)
- Mundim, A. P. F., Rozenfeld, H., Amaral, D. C., Silva, S. L. da, Gerrero, V., & Horta, L. C. da. (2002). Aplicando o cenário de desenvolvimento de produto em um caso prático de capacitação profissional (Issue 1). <https://pdfs.semanticscholar.org/8663/1e5927662d653d0f3b84d84562f263e1341f.pdf>

- Muñoz, A., Mahiques, X., Solanes, J. E., Marti, A., Garcia, L., & Tornero, J. (2019). Mixed reality-based user interface for quality control inspection of car body surfaces. *Journal of Manufacturing Systems*. <https://pdf.zlibcdn.com/dtoken/abab373124dd0d9f45e888a0a4e3582b/jjmsy.2019.08.004.pdf>
- ODG. (n.d.). Retrieved June 16, 2021, from <https://www.odginstruments.com.br/>
- Optoma Europe. (n.d.). Retrieved June 16, 2021, from <https://www.optomaeurope.com/products/projectors>
- Peixoto, J. A., & Pereira, L. M. (2018a). Industria 4.0 na auto-organização dos sistemas produtivos. <http://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/1557/342>
- Peixoto, J. A., & Pereira, L. M. (2018b, June 21). Vista do Indústria 4.0 na auto-organização dos sistemas produtivos. <http://revista.uergs.edu.br/index.php/revuergs/article/view/1557/342>
- Porter, M. E. (1985a). Competitive Strategy: The Core Concepts. In *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance* (pp. 1–30).
- Porter, M. E. (1985b). Competitive Strategy: The Core Concepts. In *Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance* (pp. 1–30).
- Prattico, F. G., & Lamberti, F. (2020). Mixed-Reality Robotic Games: Design Guidelines for Effective Entertainment with Consumer Robots. *IEEE Consumer Electronics Magazine*. <https://doi.org/10.1109/MCE.2020.2988578>
- Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Anwer, N., Liu, A., Wei, Y., Wang, L., & Nee, A. Y. C. (2019). Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001>
- Qué son las tecnologías inmersivas en la industria 4.0. (2020a, December 28). Redacción España. [https://agenciab12.com/noticia/que-son-tecnologias-inmersivas-industria-4-0?utm\\_medium=social&utm\\_source=facebook&utm\\_campaign=inmersivasfb](https://agenciab12.com/noticia/que-son-tecnologias-inmersivas-industria-4-0?utm_medium=social&utm_source=facebook&utm_campaign=inmersivasfb)
- Qué son las tecnologías inmersivas en la industria 4.0. (2020b, December 28). Agencia B12: Tech4Business. <https://agenciab12.com/noticia/que-son-tecnologias-inmersivas-industria-4-0>

- Realidad Virtual y Aumentada: Ventajas y Desventajas. (2020, June 5). Encora. <https://www.encora.com/es/blog/realidad-virtual-y-aumentada-ventajas-y-desventajas>
- RealWear - Hands Free Wearable Tablet Computers. (2020). <https://realwear.com/>
- Ringland, G. (1998a). Scenario planning: managing for the future. John Wiley & Sons. <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/30191>
- Ringland, G. (1998b). Scenario Planning: Managing for the Future. [http://www.lapropective.fr/dyn/francais/memoire/texte\\_fondamentaux/scenario-planning-managing-for-the-future-ringland-schwartz.pdf](http://www.lapropective.fr/dyn/francais/memoire/texte_fondamentaux/scenario-planning-managing-for-the-future-ringland-schwartz.pdf)
- Robinson, B. L., Mitchell, T. R., & Brenseke, B. M. (2020). Evaluating the Use of Mixed Reality to Teach Gross and Microscopic Respiratory Anatomy. *Medical Science Educator*, 30(4), 1745–1748. <https://doi.org/10.1007/s40670-020-01064-2>
- Rodrigues, G. P., & Porto, C. de M. (1969). Realidade Virtual: conceitos, evolução, dispositivos e aplicações. *Interfaces Científicas - Educação*, 1(3), 97–109. <https://doi.org/10.17564/2316-3828.2013V1N3P97-109>
- Rodrigues, G. P., & Porto, C. de M. (2013). Vista do Realidade Virtual: conceitos, evolução, dispositivos e aplicações (No. 03). <https://periodicos.set.edu.br/educacao/article/view/909/414>
- Rodriguez-Castro, B., Glaser, H., & Carr, L. (2010). How to Reuse a Faceted Classification and Put It on the Semantic Web. <http://www.ecs.soton.ac.uk>
- Samsung US. (n.d.). Retrieved June 16, 2021, from <https://www.samsung.com/us/>
- Sarpong, D., & Amankwah-Amoah, J. (2015). Scenario planning: “Ways of knowing”, methodologies and shifting conceptual landscape. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 10(2–4), 75–87. <https://doi.org/10.1504/IJFIP.2015.074397>
- Sarpong, D., & Amoah, J. A. (2015). Scenario planning: “Ways of knowing”, methodologies and shifting conceptual landscape. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 10(2–4), 75–87. <https://doi.org/10.1504/IJFIP.2015.074397>
- Schiavoni, J. E. (2018a). Realidade Virtual e lógica do espaço. *Galaxia (São Paula, Online)*, 39, 165–176. <https://doi.org/10.1590/1982-255436140>

- Schiavoni, J. E. (2018b). Realidade Virtual e lógica do espaço. *Galaxia*, 165–176. <https://doi.org/10.1590/1982-255436140>
- Schoeb, D. S., Schwarz, J., Hein, S., Schlager, D., Pohlmann, P. F., Frankenschmidt, A., Gratzke, C., & Miernik, A. (2020a). Mixed reality for teaching catheter placement to medical students: a randomized single-blinded, prospective trial. *BMC Medical Education*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02450-5>
- Schoeb, D. S., Schwarz, J., Hein, S., Schlager, D., Pohlmann, P. F., Frankenschmidt, A., Gratzke, C., & Miernik, A. (2020b). Mixed reality for teaching catheter placement to medical students: a randomized single-blinded, prospective trial. *BMC Medical Education* 2020 20:1, 20(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/S12909-020-02450-5>
- Schoemaker, P. (1995). Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking. [https://www.researchgate.net/publication/220042263\\_Scenario\\_Planning\\_A\\_Tool\\_for\\_Strategic\\_Thinking](https://www.researchgate.net/publication/220042263_Scenario_Planning_A_Tool_for_Strategic_Thinking)
- Schoemaker, P. J. H. (1995). Scenario Planning: A Tool for Strategic Thinking. *MITSloan: Management Review*, 36(2). <http://mitsmr.com/1nJl6Qi>
- Siegfried, R., Durak, U., Topçu, O., & Oguztüzün, H. (2014). Scenario Development: A Model-Driven Engineering Perspective. 117–124. <https://doi.org/10.5220/0005009501170124>
- Ślusarczyk, B., Haseeb, M., & Hussain, H. I. (2019). Fourth industrial revolution: A way forward to attain better performance in the textile industry. *Engineering Management in Production and Services*, 11(2), 52–69. <https://doi.org/10.2478/emj-2019-0011>
- Sutter, M. B., Carvalho, D. E. de, Polo, E. F., & Whright, J. T. C. (2012). Construção de Cenários: Apreciação de Métodos mais Utilizados na Administração Estratégica. *Espacios*. [https://www.researchgate.net/publication/280805150\\_Construcao\\_de\\_Cenarios\\_Apreciacao\\_de\\_Metodos\\_mais\\_Utilizados\\_na\\_Administracao\\_Estrategica](https://www.researchgate.net/publication/280805150_Construcao_de_Cenarios_Apreciacao_de_Metodos_mais_Utilizados_na_Administracao_Estrategica)
- The Best Projectors for Immersive Installations. (2021, April 14). ARTnews. <https://www.artnews.com/art-news/product-recommendations/best-projectors-for-installations-1234589554/>
- ThirdEye X2 MR Glasses. (n.d.). ThirdEye. Retrieved June 16, 2021, from <https://www.thirdeyegen.com/>

- Thomas, M. D. (2019). Intelligent Realities For Workers Using Augmented Reality, Virtual Reality and Beyond. IIC Journal of Innovation. [https://www.researchgate.net/publication/284761944\\_Change\\_Through\\_Digitization-](https://www.researchgate.net/publication/284761944_Change_Through_Digitization-)
- Toczé, K., Lindqvist, J., & Nadjm-Tehrani, S. (2020). Characterization and modeling of an edge computing mixed reality workload. *Journal of Cloud Computing*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s13677-020-00190-x>
- Tori, R., Kirner, C., & Siscoutto, R. (2006). *Fundamentos e Tecnologia de Realidade Virtual e Aumentada*.
- Turner, C. J., Hutabarat, W., Oyekan, J., & Tiwari, A. (2016). Discrete Event Simulation and Virtual Reality Use in Industry: New Opportunities and Future Trends. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 46(6), 882–894. <https://doi.org/10.1109/THMS.2016.2596099>
- Van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R. (2010). A Survey of Augmented Reality Technologies, Applications and Limitations. *International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1–20. <https://doi.org/10.20870/ijvr.2010.9.2.2767>
- Vickery, B. (2008). Faceted Classification for the Web. *Axiomathes*, 2(18), 145–160. <https://doi.org/10.1007/S10516-007-9025-9>
- Vuzix. (n.d.). Retrieved June 16, 2021, from <https://www.vuzix.com/>
- Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158–168. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2015.12.017>
- Weidenhaupt, K., Pohl, K., Jarke, M., & Haumer, P. (1998). *Scenario Usage in System Development: A Report on Current Practice*.
- Welcome To ViewSonic North America. (n.d.). Retrieved June 16, 2021, from <https://www.viewsonic.com/us/>
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>



## 7. Anexos

### 7.1. Anexo A: Grelha de análise de dispositivos

	Fornecedor	Tecnologia imersiva	Quantidade de ecrãs	Resolução	Memória	Câmara incorporada	Microfone incorporado
Microsoft HoloLens 2	Microsoft	Realidade Mista	2	2048x1080 px	--	Sim (8MP)	Sim
Magic Leap One	Magic Leap	Realidade Virtual	--	1300 px	--	--	--
Google Glass Enterprise Edition 2	Google	Realidade Aumentada	--	--	--	0	Sim
ThirdEye Generation	ThirdEye	Realidade Mista	--	1280x720 px	--	Sim (13MP)	Sim
Toshiba dynaEdge	Toshiba	Realidade Aumentada	--	1280x720 px	--	Sim (5MP)	Sim
Vuzix Blade AR	Vuzix	Realidade Aumentada	--	640x360 px	--	Sim (8MP)	Sim
ODG R7	ODG	Realidade Aumentada	--	720 px	--	Sim (4MP)	--
ODG R8 and R9	ODG	Realidade Aumentada	2	720 px (R8) // 1080px (R9)	--	Sim	--
RealWear HMT-1	RealWear	Realidade Aumentada	1	854x480 px	--	Sim (16MP)	Sim (2)
iPhone 12 Pro	Apple	Realidade Aumentada	--	--	128 GB (memória interna)	3 traseiras (12 MP) + 1 frontal	Sim
Galaxy S21 Ultra 5G	Samsung	Realidade Aumentada	--	--	512GB (memória interna) + 16GB (memória RAM)	4 traseiras (108 MP + 10 MP + 10 MP + 12 MP) + 1 frontal (40 MP)	Sim

	Fornecedor	Tecnologia imersiva	Quantidade de ecrãs	Resolução	Memória	Câmara incorporada	Microfone incorporado
HUAWEI Mate X2	Huawei	Realidade Aumentada	--	--	128GB (memória interna) + 6GB (memória RAM) + NNC até 256GB	3 traseiras (40 MP + 20 MP + 8 MP) + 1 frontal (24 MP)	Sim
iPad Pro	Apple	Realidade Aumentada	--	--	128GB (armazenamento) + 8GB (memória RAM)	2 traseiras (12 MP + 10 MP) + 1 frontal (7MP)	Sim
Galaxy Tab Serie	Samsung	Realidade Aumentada	--	--	128GB (armazenamento) + 6GB (memória RAM)	2 traseiras (13 MP + 5 MP) + 1 frontal (8MP)	Sim
Media T3 10	Huawei	Realidade Aumentada	--	--	128GB (armazenamento) + 6GB (memória RAM)	1 traseira (13 MP) + 1 frontal (8 MP)	Sim
Epson PowerLite 2250U	Epson	--	--	--	--	--	--
Projektor VIEWSONIC PX727-4K	Viewsonic	--	--	--	--	--	--
Optoma S334e	Optoma	--	--	--	--	--	--

	Sistema de som	Duração da bateria	Sensores	Preço	Ano de lançamento	Peso	Outros
Microsoft HoloLens 2	--	2- 3 horas	Rastreamento dos olhos, mãos e cabeça; Sensor de profundidade; Acelerómetro; Giroscópio; Magnetómetro; Controlo de voz;	3 899,00€	2019	565g	Conexão Wi-Fi
Magic Leap One	Sim	3,5 horas	2 acelerómetros; Magnetómetro	~ 1879,55€ (\$2,295)	2018	316g	--
Google Glass Enterprise Edition 2	Sim	8 horas	Acelerómetro; Giroscópio; Magnetómetro; Sensor térmico; Sensor de humidade	~ 818,20€ (\$999)	2017	46g	Conexão Wi-Fi
ThirdEye Generation	--	8 horas	Sensor térmico; Giroscópio; Controlo de voz	2 324,00€	2019	170g	--
Toshiba dynaEdge	Sim	6 horas	Sensor de proximidade; Sensor de luz; Giroscópio; Acelerómetro;	~1 555,31€ (\$1 899)	2018	47g	6 tipos de sensores

	Sistema de som	Duração da bateria	Sensores	Preço	Ano de lançamento	Peso	Outros
			Bússola; GPS				
Vuzix Blade AR	--	2 horas	Rastreamento de movimentos da cabeça	~ 818,20€ (\$999)	2019	90g	Touchpad Control; Rastreamento de movimento da cabeça
ODG R7	--	--	Acelerómetro; Giroscópio; Magnetómetro; Sensor de altitude; Sensor de humidade; Sensor de luz	~2 252,29€ (\$2 750)	2015	182	Vários sensores; Conexão Wi-Fi
ODG R8 and R9	--	--	Acelerómetro; Giroscópio; Magnetómetro; Sensor de altitude; Sensor de humidade; Sensor de luz	~1 474,23€ (\$1 800)	2017	113,4g (R8) / 170g (R9)	Captura de vídeo em 3D
RealWear HMT-1	Sim	9 horas	GPS; Acelerómetro; Magnetómetro; Giroscópio	~ 2 047,54€ (\$2 500)	2017	380g	Grava vídeos em 1080p

	Sistema de som	Duração da bateria	Sensores	Preço	Ano de lançamento	Peso	Outros
iPhone 12 Pro	Sim	--	Face ID; Sensor LiDAR; Barómetro ; Giroscópio triaxial; Acelerómetro; Sensor de proximidade; Sensor de luz	1 253,60€	2020	189g	Inteligência Artificial; Reconhecimento facial
Galaxy S21 Ultra 5G	Sim	--	Acelerómetro; Barómetro ; Sensor Giroscópio ; Sensor Geo Magnético; Sensor de Proximidade; Sensor de luz; Sensor Hall	1 279,00€	2021	228g	Sensor de Impressão Digital; Inteligência Artificial; Reconhecimento facial
HUAWEI Mate X2	Sim	--	Sensor de gravidade; Luz ambiente; Proximidade; Giroscópio ; Bússola; Hall; Laser; Infravermelhos	749,99	2018	232g	Sensor de Impressão Digital; Inteligência Artificial; Reconhecimento facial
iPad Pro	Sim	--	Face ID; Sensor LiDAR; Giroscópio ; Acelerómetro;	1 229,00€	2020	643g	3 altifalantes incorporados; 5 microfones ; resolução de ecrã de

	Sistema de som	Duração da bateria	Sensores	Preço	Ano de lançamento	Peso	Outros
			Barómetro ; Sensor de luz				2048x273 2px
Galaxy Tab Serie	Sim	--	Impressão digital; Reconhecimento facial	759,99	2017	498g	4 altifalantes ; resolução de ecrã de 2560x1600px; autonomia de 15 horas de vídeo
Media T3 10	Sim	--	Giroscópio ; Acelerómetro	649,99	2019	460g	4 altifalantes ; resolução de ecrã de 2560x1600px; GPS
Epson PowerLite 2250U	--	--	--	1 230,35€	--	4600g	--
Projetor VIEWSONIC PX727-4K	Sim	--	--	1 129,00€	--	4200g	Conexão Bluetooth; USB; HDMI
Optoma S334e	Sim	--	--	484,81€	--	3500g	VGA; HDMI; UBS

## 7.2. Anexo B: Guião de entrevista

Bom dia/Boa tarde. O meu nome é Ana Domingues, sou aluna do segundo ano do mestrado em Ciência da Informação, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, atualmente a desenvolver o meu projeto de Dissertação no Centro de Engenharia de Sistemas Empresariais - INESC-TEC, cujo título é: Cenários de aplicação de tecnologias imersivas na Indústria 4.0: necessidades informacionais do trabalhador em contexto de trabalho.

De uma forma sucinta, as **tecnologias imersivas** são um dos tipos de tecnologias emergentes, e que têm a **capacidade de estender ou criar uma realidade em torno do utilizador**, através da utilização de elementos como óculos ou luvas, permitindo-lhe manter-se dentro dessa mesma realidade independentemente da direção para a qual o utilizador se volte. São vários os exemplos de tecnologias imersivas existentes, no entanto as mais conhecidas e, também, as que são objeto de estudo são a **Realidade Virtual** (interface de utilizador avançada, que apresenta características de visualização e movimentação em ambientes 3D), a **Realidade Aumentada** (conjunto de ferramentas que permitem a visão de um ambiente real aumentado através de elementos ou objetos gerados por um computador) e a **Realidade Mista** (mistura do mundo físico com o mundo digital, através dos avanços da visão computacional, do poder de processamento gráfico, da tecnologia de exibição e dos sistemas de entrada).

Assim, ser-lhe-ão colocadas um conjunto de questões, de forma a ser possível a recolha de informações que permitam, posteriormente, o desenho de cenários de aplicação de diferentes tecnologias imersivas na indústria de produção em Portugal. A presente entrevista encontra-se dividida em quatro partes, consoante o tipo de perguntas colocadas.

### **Parte 1- Conhecimento sobre tecnologias imersivas e suas aplicações na empresa**

- O que entende serem tecnologias imersivas e onde julga que estas possam ser aplicadas?

### **Parte 2 - Aplicação das tecnologias imersivas nos processos de produção**

- Quais os processos de produção que mais beneficiariam com a aplicação de tecnologias imersivas na empresa? Poderia falar de um exemplo concreto?

- Julga que a utilização de tecnologias imersivas poderia melhorar os processos de produção da (nome da empresa)? Se sim, de que forma?
- A (nome da empresa) já deu início a algum tipo de aplicação de tecnologias imersivas?
  - Se sim, o que já foi feito e o que ainda se poderá fazer?
  - Se não, até que ponto, julga que esta aplicação é exequível no contexto industrial da empresa?

**Questões a serem colocadas apenas caso os gestores de produção não consigam exemplificar os processos de produção.**

Existem três processos de produção de extrema importância numa empresa industrial, a gestão de operações e qualidade, a manutenção de máquinas e a formação dos trabalhadores. Desta forma no que respeita à:

**Parte 2.1 – Gestão de operações**

- Que tipo de falhas de fabrico são mais comuns e que consequências podem apresentar?
- De que forma a aplicação de tecnologias imersivas poderia ser útil na prevenção de falhas de fabrico e na garantia da qualidade dos produtos?

**Parte 2.2 – Manutenção de máquinas**

- Qual a frequência e o tempo despendido com a manutenção de máquinas? E de que forma é que as manutenções são programadas?
- Até que ponto a avaria de uma máquina prejudicará a taxa de produção estipulada para um dia de trabalho? Que consequências financeiras podem ocorrer dessa avaria?
- De que forma a aplicação de tecnologias imersivas poderia ser útil na programação de manutenções das máquinas ou, inclusivamente, permitir que um trabalhador conseguisse resolver um pequeno problema de funcionamento?

**Parte 2.3 – Formação de trabalhadores**

- De que forma são passadas informações acerca do funcionamento das máquinas aos trabalhadores?

- Qual a periodicidade de oferta de formação para os trabalhadores? Que tipo de resultados são apresentados?
- De que forma a aplicação de tecnologias imersivas seria útil na formação dos trabalhadores e na disponibilização de informações importantes?

### **Parte 3 - Utilização das tecnologias imersivas**

- Até que ponto a aplicação de uma nova tecnologia poderá apresentar dificuldades, no que respeita à sua utilização, pela parte do trabalhador?
- Quais tipo de informação julga que seria fundamental estar integrada na tecnologia a utilizar pelo trabalhador de forma que este a pudesse utilizar com sucesso? (Por exemplo, quais os materiais e dimensões dos mesmos devem ser utilizados para aquela peça).

### **Parte 4 - Desenho de cenários de aplicação**

- Na sua opinião, a quantidade de informação da empresa digitalizada é suficiente?
- Que tipo de preocupações existem, por parte da empresa, no que respeita à implementação de tecnologias imersivas?
- De que forma julga que esta aplicação deveria ser feita?
- Que passos fundamentais devem ser dados, no que respeita às informações acerca da utilização deste tipo de tecnologias?
- Que tipo de informação é que acha que vai ser gerada pelas tecnologias imersivas? De que forma é que o acesso deve ser gerido? Devem, todos os utilizadores, ter acesso às mesmas informações?

### 7.3. Anexo C: Protocolo de Consentimento

#### **Cenários de aplicação de tecnologias imersivas na Indústria 4.0: necessidades informacionais do trabalhador em contexto de trabalho**

Protocolo de Entrevista para o projeto de Dissertação

Ana Domingues (INESC TEC e Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto)

#### **Introdução**

Com os sucessivos avanços no mundo da tecnologia, bem como com a chegada da denominada Indústria 4.0 (i4.0), é possível assistir às mais diversas mudanças, incluindo nas vertentes paradigmáticas, sendo uma destas a crescente importância do papel do trabalhador em contextos de processos intensivos de conhecimento de produção cada vez mais complexos e exigentes. É com o objetivo de auxiliar os trabalhadores nestes processos que se torna relevante investigar e contribuir para o desenvolvimento e implementação das tecnologias imersivas no contexto da i4.0. Contudo, a aplicação de novas tecnologias, no contexto industrial apresenta sempre novos desafios. No presente contexto, a aplicação de tecnologias imersivas, concentra-se na maior parte das vezes em apoiar o trabalhador humano em vários processos associados à indústria de manufatura (por exemplo: operações, qualidade, manutenção e assistência técnica, desenvolvimento do produto). Desta forma, um dos desafios que se identifica é o de desenvolver aplicações que respondam às reais necessidades do trabalhador humano, nomeadamente às suas necessidades de informação.

Assim, este trabalho de dissertação, pretende contribuir para este desafio abordando temas como as dificuldades que os trabalhadores sentem relativamente à informação que necessitam para fazer o seu trabalho, bem como o desenho de cenários que permitam estudar a implementação das tecnologias imersivas, e, sobretudo, permitam identificar as necessidades de informação e o comportamento informacional do trabalhador com a aplicação das mesmas. Assim, espera-se que este trabalho contribua, através da criação de cenários, para uma aplicação mais eficaz das tecnologias imersivas, para o aumento das capacidades do trabalhador no processo de tomada de decisão, bem como para melhorias significativas que esta implementação poderá trazer no que respeita às condições e segurança de trabalho e saúde para o trabalhador.

**Perfil dos entrevistados:** Os entrevistados são gestores de produção e/ou digitalização

**Duração prevista da entrevista:** 45-60 minutos (gravada em formato de áudio)

### Dados gerais recolhidos antes da entrevista

Nome da empresa	
Ano de fundação	
Número de empregados	
Multinacional	<input type="checkbox"/> Sim <input type="checkbox"/> Não
Cargo de entrevistado	
Tipo de Indústria	

### *Aplicação de tecnologias imersivas n i4.0*

As tecnologias imersivas chegaram para ficar e podem tornar-se uma mais-valia na Indústria 4.0, quando bem aplicadas. Sabendo que este é ainda um tema recente e sobre o qual não há muita informação, torna-se fulcral a realização de estudos que permitam perceber de que forma a aplicação de tecnologias imersivas pode impactar o trabalhador em contexto de trabalho. No que respeita à utilização de cenários de aplicação, é possível referir que estes permitem que o planeamento da aplicação de tecnologias imersivas seja mais eficiente, prevenindo falhas, uma vez que têm por objetivo esquematizar todos os pontos que devem ser verificados aquando da aplicação de algum tipo de tecnologia. Desta forma, são questões importantes para esta investigação:

- Já foram aplicadas tecnologias imersivas na empresa? Se sim, que forma? Se não, em que medida seria essa aplicação exequível?
- Quais os processos mais críticos do departamento em que trabalha?

### *Necessidades informacionais do trabalhador*

- Que possíveis problemas poderiam ser encontrados pelos trabalhadores na aplicação e utilização de tecnologias imersivas?
- Que tipo de falhas são ou podem ser encontradas nos processos de produção da empresa? De que forma são essas falhas reportadas pelos trabalhadores?

- Quais as informações que seriam necessárias fornecer aos trabalhadores, para a utilização de tecnologias imersivas?
- Quais as vantagens de manter as informações fulcrais de utilização de máquinas e novas tecnologias sempre acessíveis?
- As tecnologias imersivas podem corresponder a uma mais-valia para a performance da empresa?

Muito obrigada pela sua participação!

## 7.4. Anexo D: Classificação Facetada

### Grupo da Características Técnicas

- Tipo Tecnologia imersiva
  - Realidade Virtual
  - Realidade Aumentada
  - Realidade Mista
- Tipo de dispositivo
  - HMD (head-mounted display)
    - HMD Monocular
    - HMD Binocular
    - Optical head-mounted display
  - Projetores
  - Tablets
  - Smartphones
- Número de ecrãs
  - 0
  - 1
  - 2
- Sensores
  - Rastreamento
    - Ocular
    - De mãos
    - De cabeça
  - Biométricos
    - Voz

- Face ID
- Impressão Digital
- Movimento
  - Acelerómetro
  - Giroscópio
  - Bússola
  - GPS
  - Infravermelhos
- Medição
  - Profundidade
  - LiDAR (Light Detection And Ranging)
- Deteção
  - Temperatura
  - Humidade
  - Luz
    - Sensor de imagem
  - Proximidade
- Preço
  - 0€ - 1000€
  - 1000€ - 2000€
  - 2000€ - 3000€
  - > 3000€
- Mecanismos de Comunicação In/out
  - Câmara
  - Microfone

- Altifalante
- Duração bateria
  - 0h - 3h
  - 3h - 6h
  - 6h - 9h

### **Grupo da Características Funcionais**

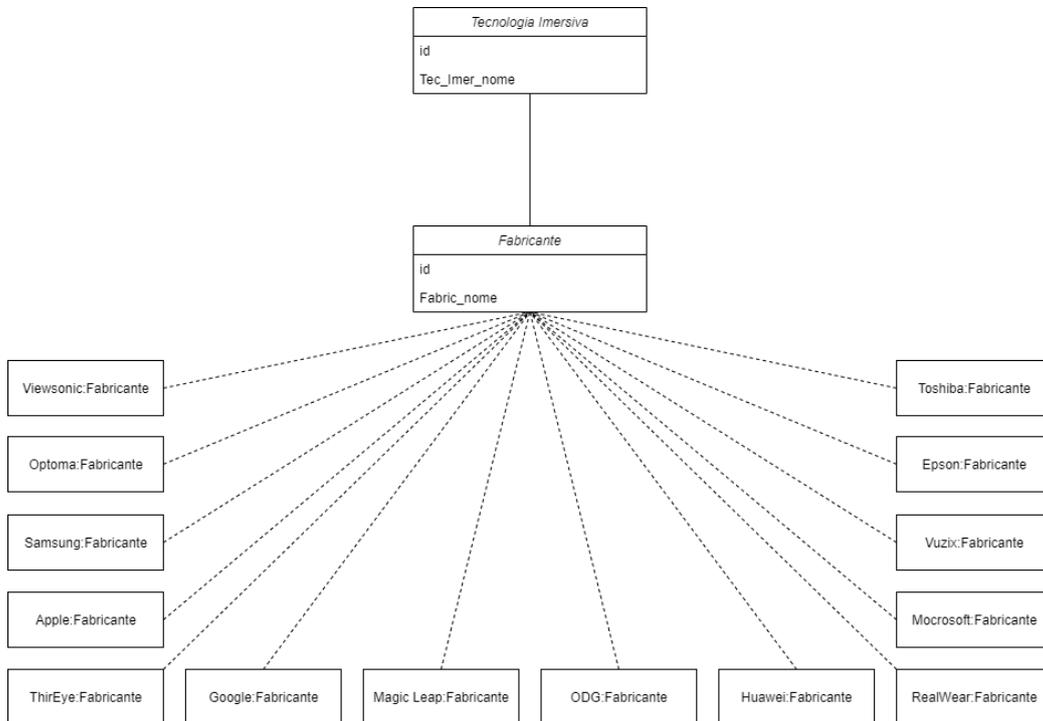
- Meio de Utilização
  - Vestível (Wearable)
  - Não Vestível (Not Wearable)
- Tipo de aplicação/ Processo industrial
  - Manutenção
  - Suporte às Operações
    - Corte
    - Montagem
    - Acabamentos
  - Formação
    - Captação e transmissão de imagens
    - Transmissão do processo
    - Formação em contexto de trabalho (training on the job)
  - Qualidade
    - Detecção visual de falhas
    - Testagem do produto
- Funcionalidades de sensorização
  - Rastreamento

- Controlo biométrico
  - Reconhecimento
    - Facial
    - Digital
    - De voz
  - Controlo de movimento
- Medição
  - Distância entre objetivo
- Deteção
  - Movimento
  - Posição
  - Proximidade
  - Quantidade
    - De humidade
    - De luz
    - De variações na temperatura
- Ferramentas de leitura de códigos
  - Sensor infravermelhos
  - Código RFID
  - Código QR
- Ferramentas de Comunicação
  - Chamadas para outros utilizadores
  - Videochamadas para outros utilizadores
  - Caneta Digital
  - Desenho através do reconhecimento dos dedos

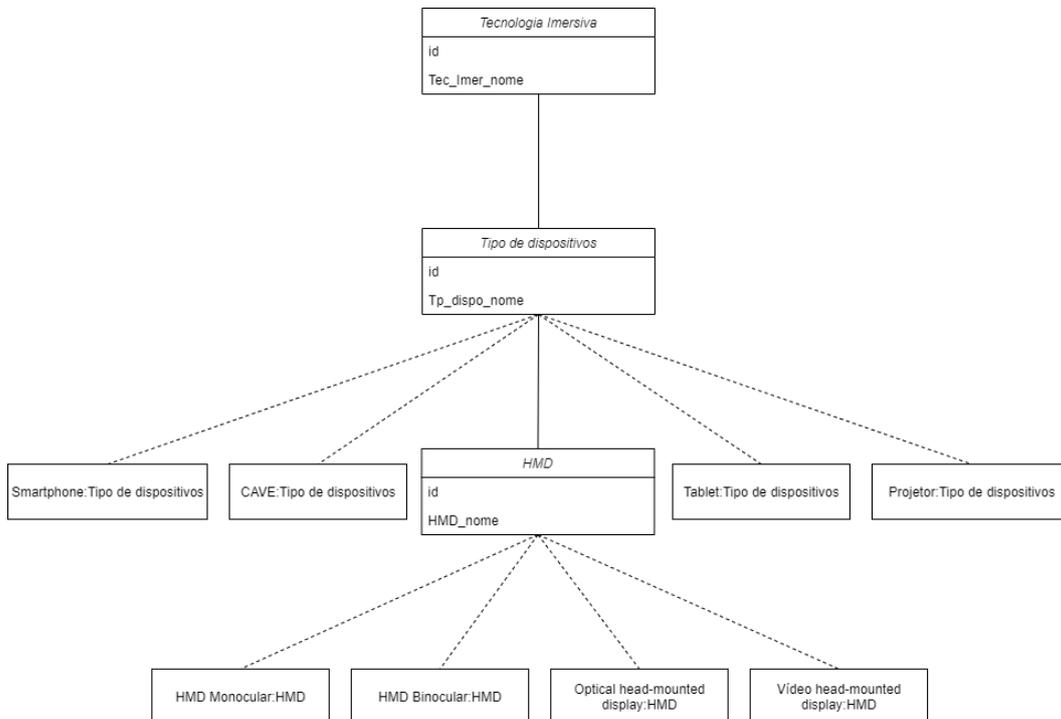
- Conexão
  - Wi-Fi
  - Bluetooth

## 7.5. Anexo E: Diagrama de Classes

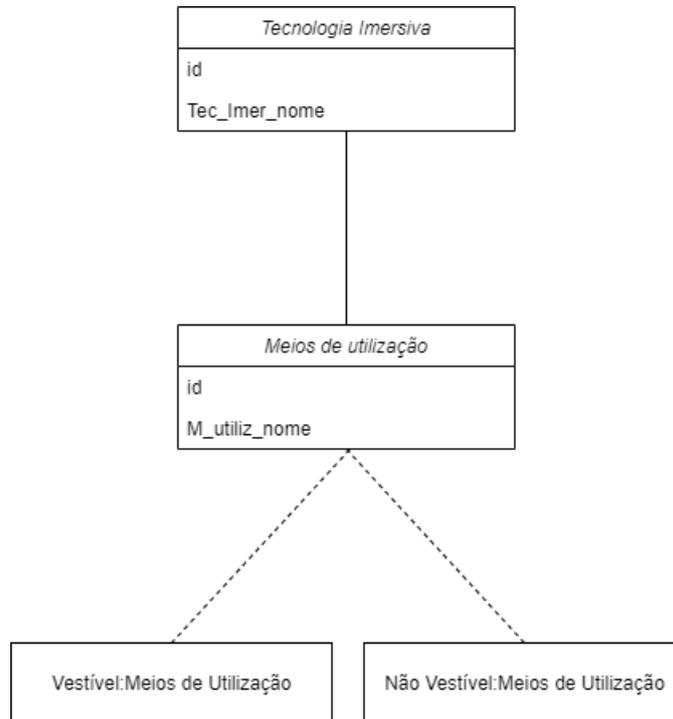
### Classe: Fabricante



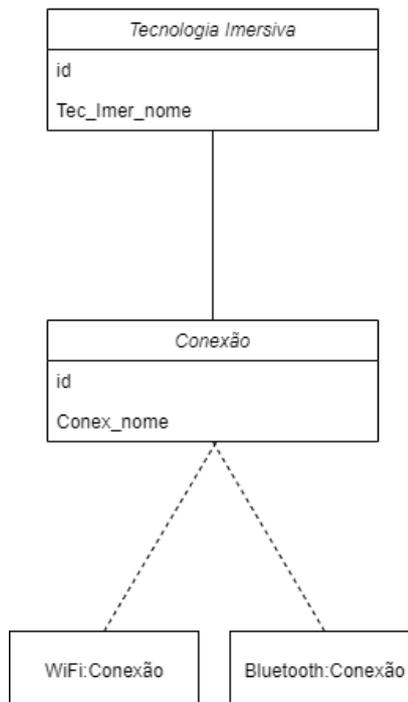
### Classe: Tipo de Dispositivos



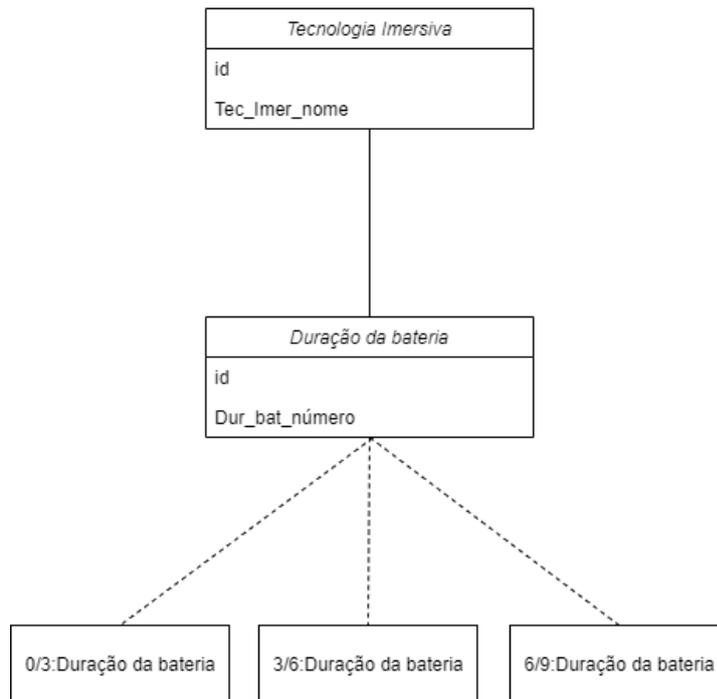
### Classe: Meios de Utilização



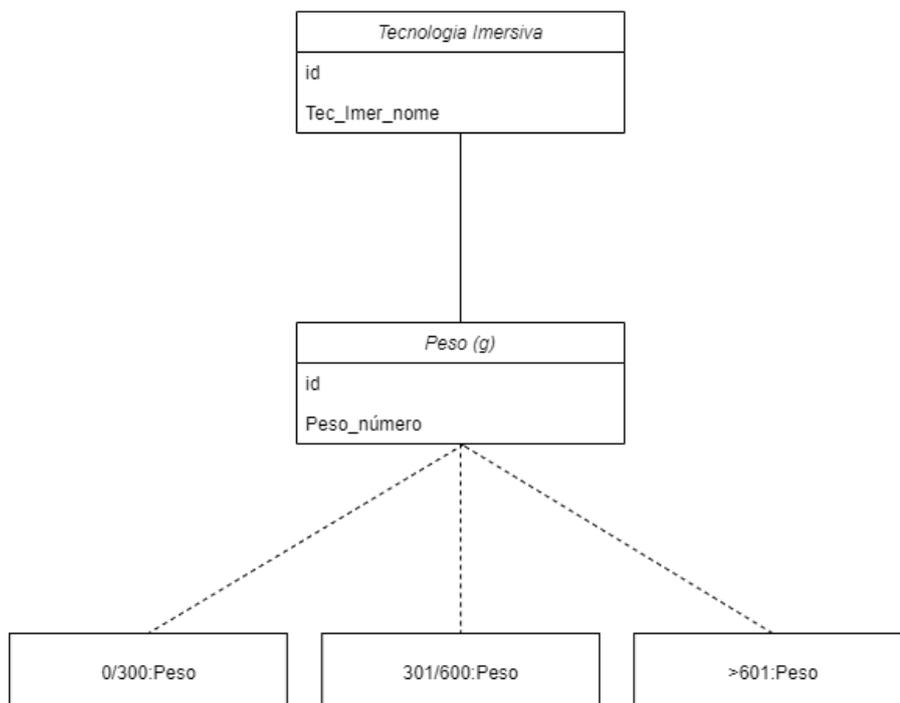
### Classe: Conexão



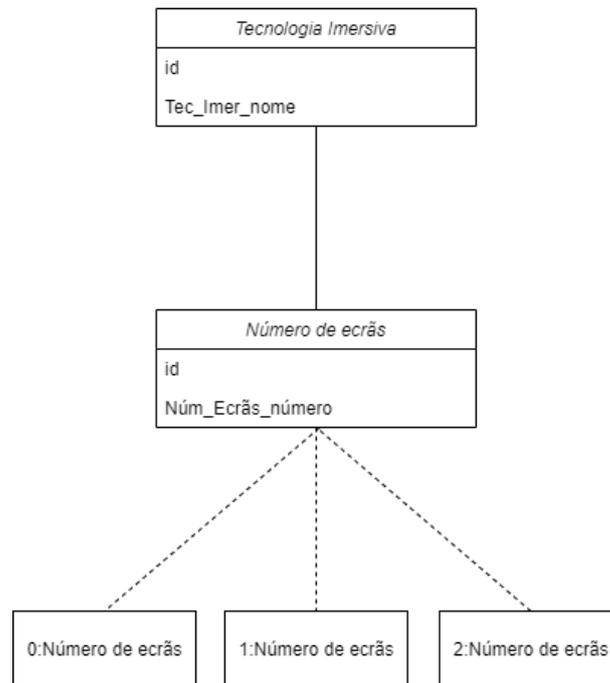
### Classe: Duração da bateria



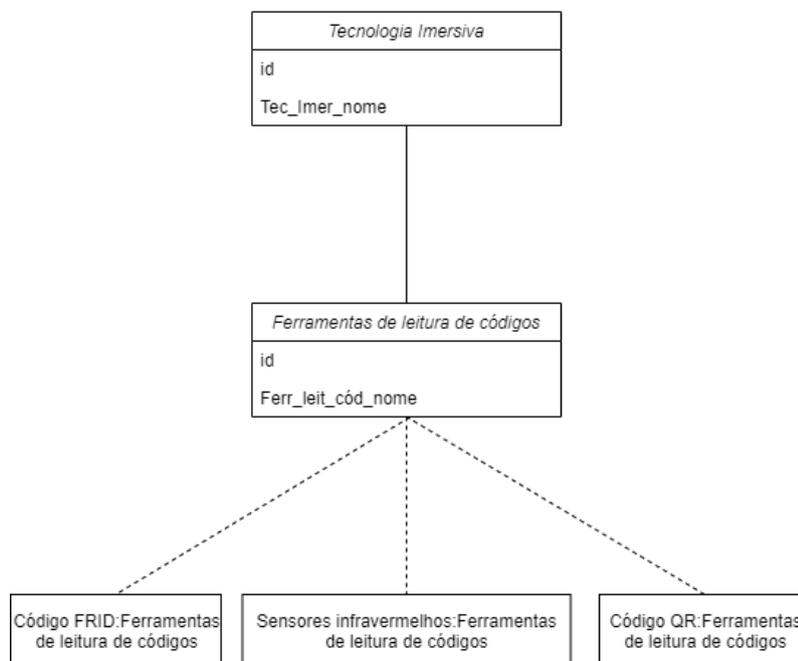
### Classe: Peso



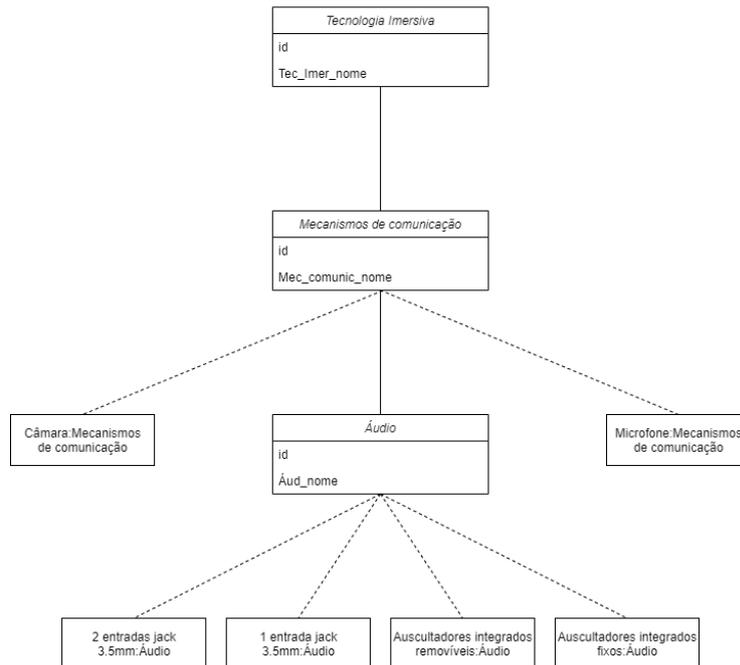
### Classe: Número de Ecrãs



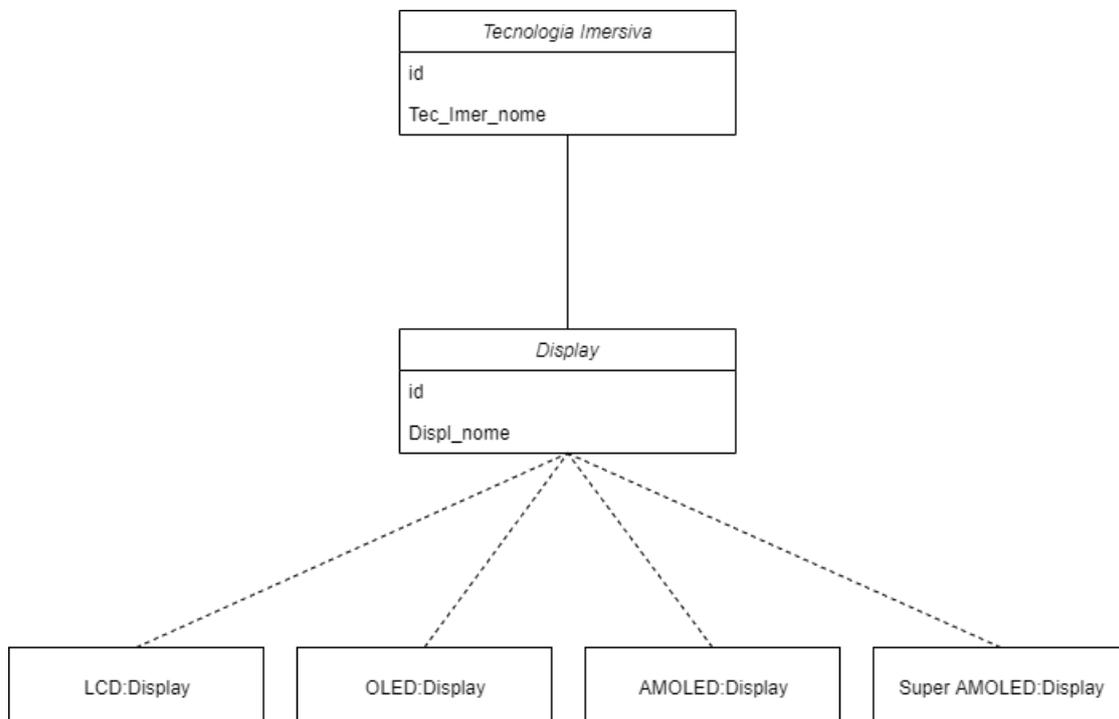
### Classe: Ferramentas de leitura de códigos



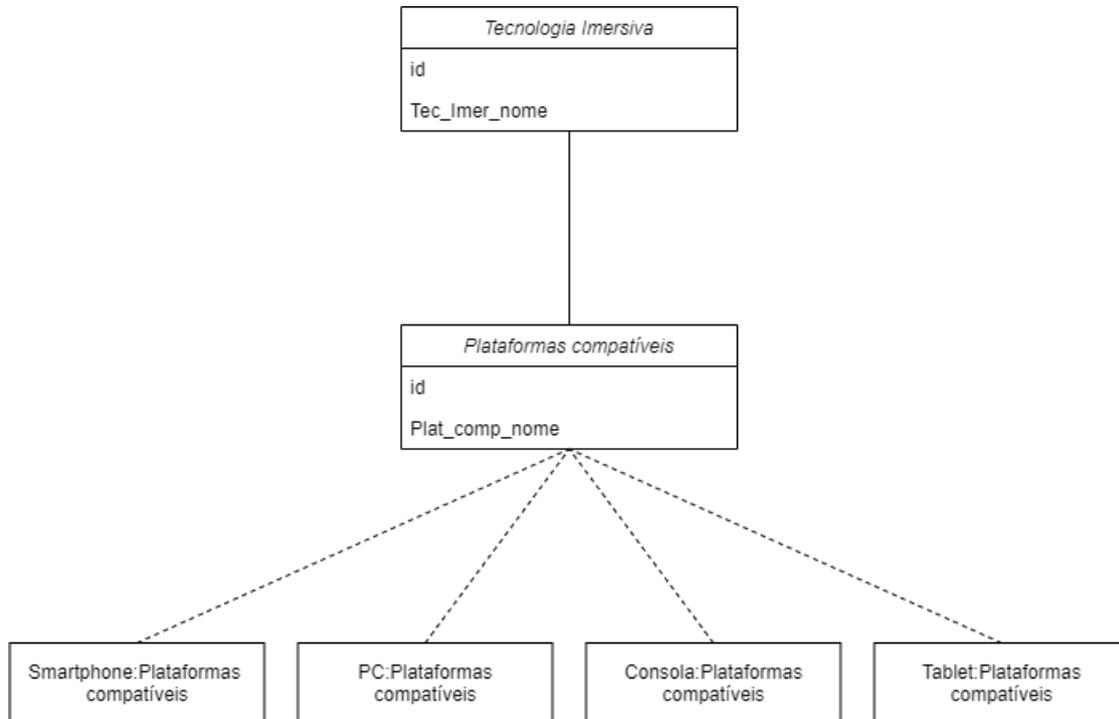
## Classe: Mecanismos de Comunicação



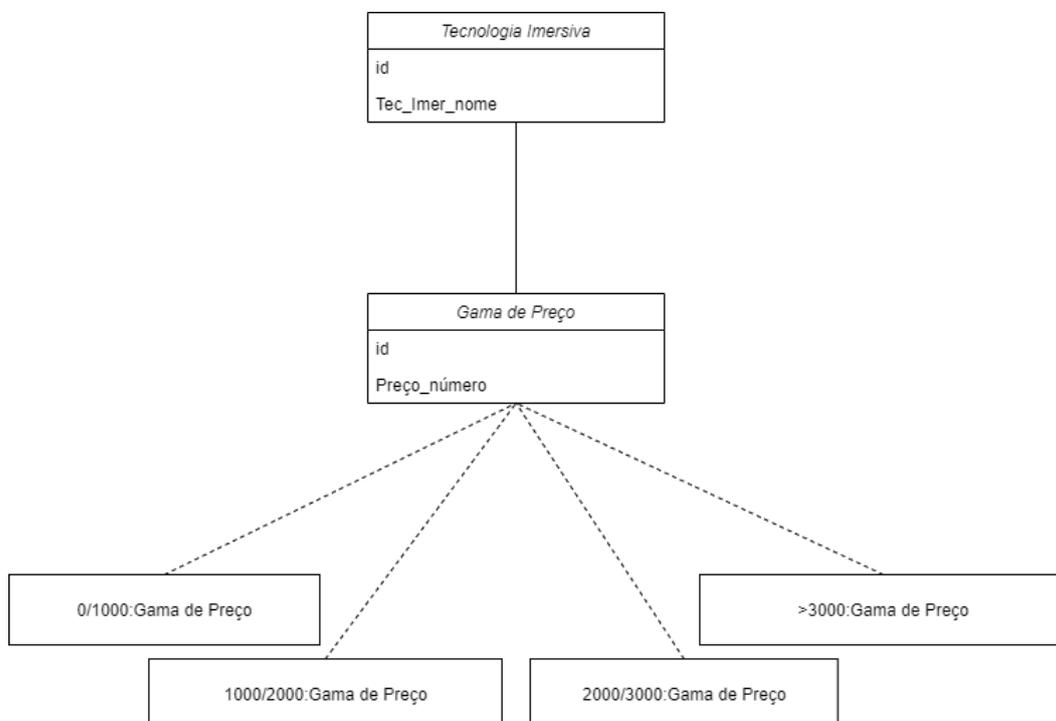
## Classe: Display



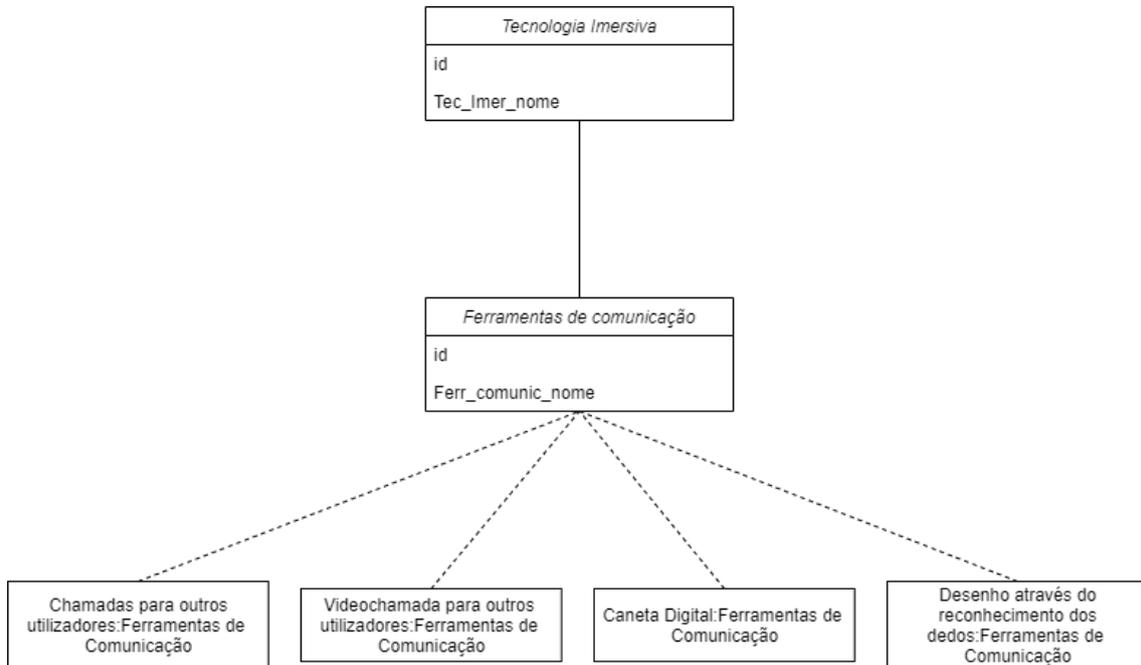
### Classe: Plataformas compatíveis



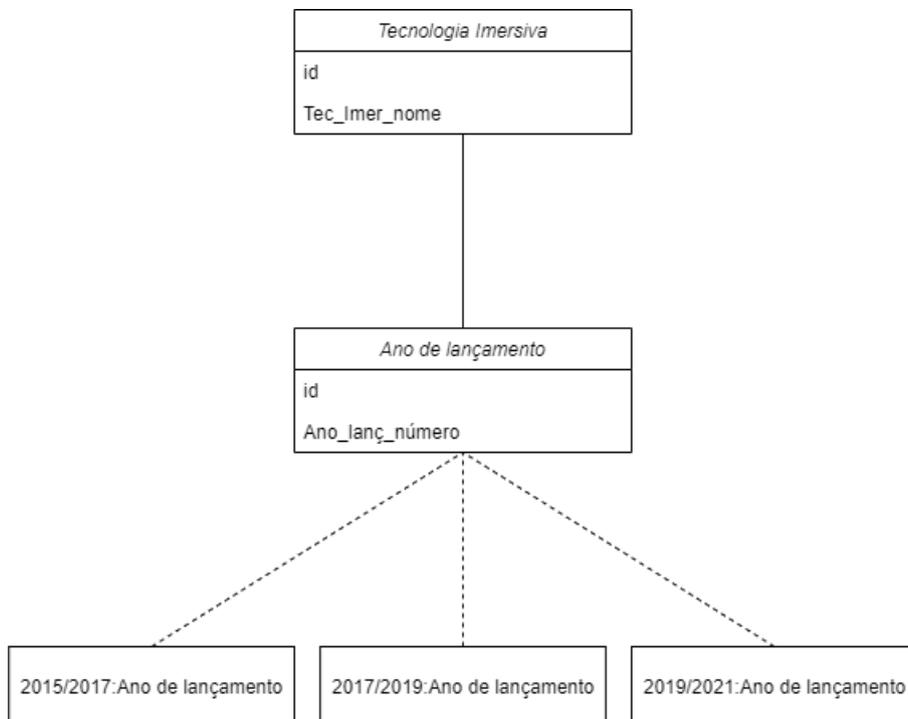
### Classe: Gama de Preço



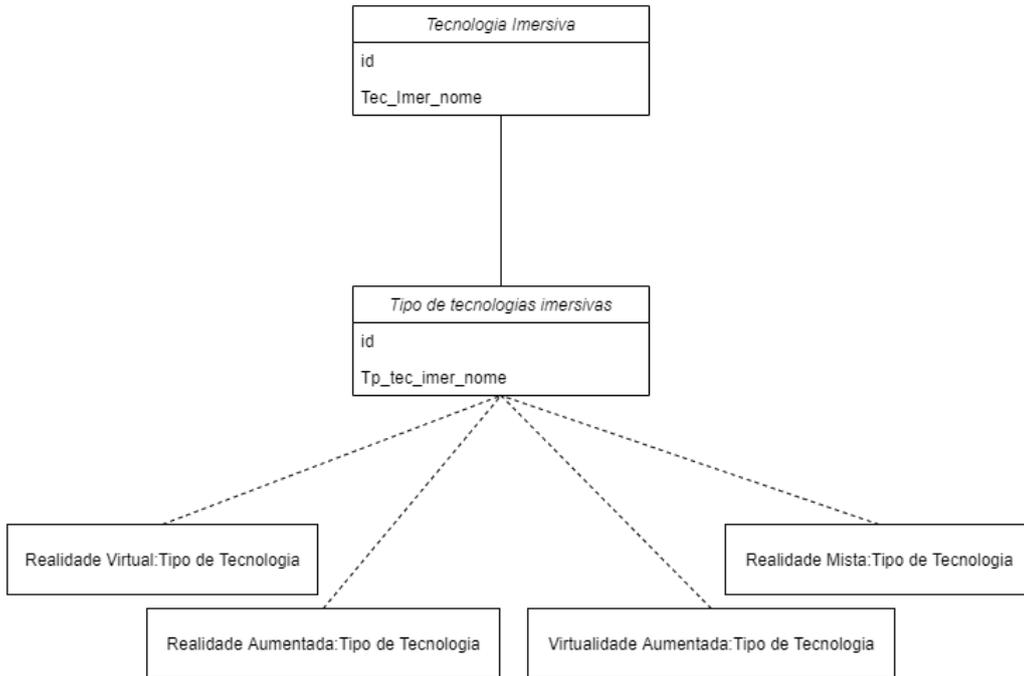
### Classe: Ferramentas de comunicação



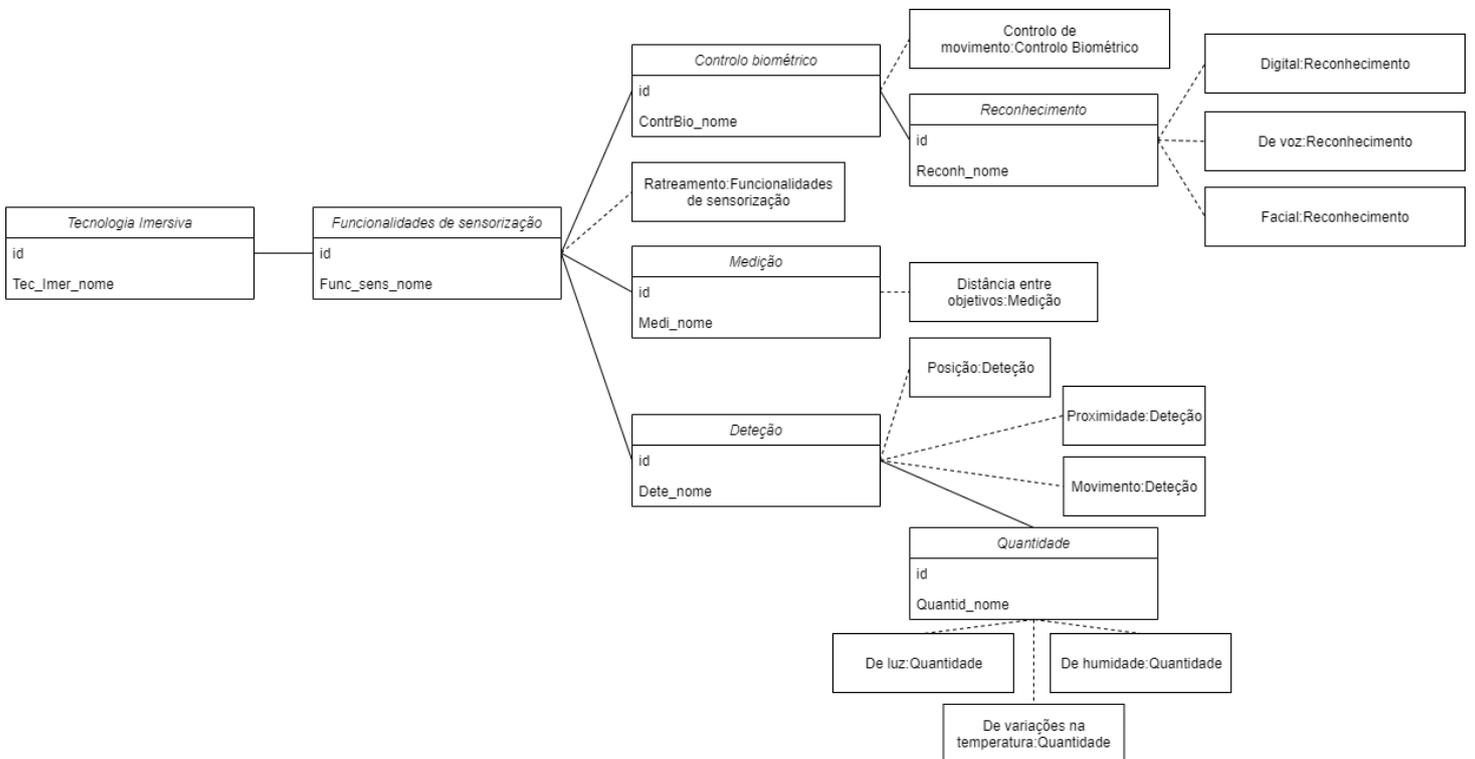
### Classe: Ano de lançamento



### Classe: Tipo de tecnologias imersivas



### Classe: Funcionalidades de sensorização



## Classe: Sensores

