



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR  
Engenharia

# **Análise Exploratória da Aplicabilidade da Realidade Aumentada em Diferentes Ambientes**

**Tiago Daniel Costa Cruz**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia e Gestão Industrial**  
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos

**Covilhã, setembro de 2019**



# Dedicatória

Dedico esta dissertação aos meus pais, António e Graça e à minha irmã, Sofia.



# Agradecimentos

Quero agradecer à minha mãe, Graça, ao meu pai, António por toda a paciência que demonstraram ao longo da execução desta dissertação.

Agradeço à minha irmã, Sofia por me ter apoiado e me ter dito que era possível acabar este trabalho.

Agradecer ao Prof. Fernando Santos por ter aceite o desafio de ser meu orientador e por todo o tempo disponibilizado para que esta entrega fosse possível.

Agradecer ao Roxo por me ter ajudado na parte prática do projeto.

A todos os meus amigos que estiveram comigo nas horas passadas na sala de estudo.

Aos colegas de Eletromecânica, que estiveram na primeira metade da minha formação, desde o primeiro dia de caloiro até ao dia da entrega do projeto final de licenciatura e agora aos colegas de Eng. e Gestão Industrial por terem feito parte deste último capítulo.

Enfim, a todos aqueles que de uma forma ou de outra estiveram comigo nesta dura caminhada o meu bem hajam.

“O difícil não é entrar, é sair”.



## Resumo

Nos dias de hoje, é importante olhar para o mundo da indústria como uns dos setores mais importantes para qualquer economia. Para clarificar esta ideia de setor importante ir-se-á estudar nesta dissertação a Indústria 4.0 que, para alguns autores, é considerada a nova revolução industrial. Irão ser abordados os principais objetivos, benefícios, desafios e algumas ferramentas que esta implica na produção.

Uma das ferramentas utilizadas na I 4.0 é a Realidade Aumentada que é uma tecnologia que faz a interligação entre a realidade e o mundo virtual através da sobreposição do mundo virtual sobre o mundo real. Este é o principal foco desta dissertação, saber no que consiste, na sua história, as suas aplicações práticas e identificar os problemas que possam existir na sua implementação.

Também será apresentado um caso prático que pretende mostrar de que forma é que esta tecnologia pode ser aplicada, nomeadamente, no setor do ensino, onde é desenvolvida uma aplicação que permita ao utilizador ver meios de transporte em 3D a partir de imagens com a ajuda da interface de Realidade Aumentada.

## Palavras-chave

Indústria 4.0, Realidade Aumentada, Ferramentas 4.0, Aplicação da Realidade Aumentada



# Abstract

Nowadays, it is important look at the industry world like one of the most important sectors of any economy. So, for clarify that idea of important sector, in this master thesis, will be discussed about 4.0 Industry, that for some authors is the fourth industrial revolution. Will be addressed the main goals, benefits, challenges and some work tools that I4.0 applies on production.

One of these tools is the Augmented Reality that is a technology that connect the virtual world and the real world, so we can see virtual objects in real world. This is the main goal of master thesis, know what consist, in your history, your practice applications and look for some problems that could exist in your implementation.

Besides that, will be present a case study that aims to show how this technology could be applied, namely, education system, where going to be shown one application where the user can see means of transport in 3D with the help of images and the interface of Augmented Reality.

# Keywords

4.0 Industry, Augmented Reality, 4.0 Tools, Augmented Reality Applications



# Índice

|   |      |
|---|------|
| Dedicatória.....  | iii  |
| Agradecimentos .....  | v    |
| Resumo .....  | vii  |
| Abstract.....   | ix   |
| Lista de Figuras.....   | xiii |
| Lista de Acrónimos.....   | xv   |
| 1. Introdução .....   | 1    |
| 1.1 Enquadramento .....   | 1    |
| 1.2 Motivação .....   | 3    |
| 1.3 Objetivos .....   | 3    |
| 1.4 Metodologia .....   | 4    |
| 1.5 Estrutura da dissertação.....   | 5    |
| 2. Indústria 4.0 .....  | 7    |
| 2.1 Definição .....   | 7    |
| 2.2 Estratégia e objetivos.....   | 7    |
| 2.3 Benefícios .....  | 8    |
| 2.4 Desafios.....   | 9    |
| 2.4.1 Rede Inteligente .....  | 9    |
| 2.4.2 Mobilidade .....  | 9    |
| 2.4.3 Flexibilidade e interoperabilidade entre sistemas .....                 | 10   |
| 2.4.4 Integração dos clientes.....  | 10   |
| 2.4.5 Modelos de negócio inovadores .....                                     | 10   |
| 2.5 Conceitos fundamentais .....  | 11   |
| 2.6 Controlo de produção 4.0 .....  | 13   |
| 2.6.1 Interface humano/máquina de acordo com a Indústria 4.0.....             | 13   |
| 2.6.1.1 Operador + Exoesqueleto = Operador com Super Força .....              | 14   |
| 2.6.1.2 Operador + Realidade Aumentada = Operador Realidade Aumentada .....   | 14   |
| 2.6.1.3 Operador + Realidade Virtual = Operador Virtual .....                 | 16   |
| 2.6.1.4 Operador + Tracker de saúde = Operador de Saúde.....                  | 16   |
| 2.6.1.5 Operador + Assitente pessoal inteligente = Operador Inteligente ..... | 18   |
| 2.6.1.6 Operador + Robot colaborativo = Operador colaborativo .....           | 18   |
| 2.6.1.7 Operador + Rede Social = Operador Social.....                         | 19   |
| 2.6.1.8 Operador + Análise de Big Data = Operador analítico.....              | 20   |
| 3. Realidade Aumentada .....  | 21   |
| 3.1 Definição .....   | 21   |
| 3.2 História da Realidade aumentada.....                                      | 22   |
| 3.3 Algumas aplicações da realidade aumentada.....                            | 23   |
| 3.3.1 Realidade aumentada na educação e formação .....                        | 23   |

|  |    |
|--|----|
| 3.3.2 Realidade aumentada no design de produto .....       | 27 |
| 3.3.3 Realidade aumentada na produção .....                | 30 |
| 3.3.4 Realidade aumentada na manutenção.....               | 31 |
| 3.3.5 Realidade aumentada na validação e documentação..... | 32 |
| 3.4 Potenciais problemas da Realidade aumentada.....       | 32 |
| 4. Caso prático .....                                      | 35 |
| 4.1 Características do caso prático .....                  | 35 |
| 4.2 Discussão do caso prático .....                        | 38 |
| 5. Conclusões .....  | 39 |
| 5.1 Principais conclusões .....                            | 39 |
| 5.2 Propostas de trabalhos futuros.....                    | 40 |
| Referências bibliográficas.....                            | 41 |

# Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1-Quantidade de artigos do termo "4.0 industry" publicados ao longo dos anos .....  | 1  |
| Figura 2-Quantidade de artigos com o termo "augmented reality" publicados ao longo dos anos.<br>.....  | 2  |
| Figura 3-Objetivos da dissertação .....  | 3  |
| Figura 4-Estrutura da dissertação.....   | 5  |
| Figura 5-Exemplos das interdependências da cadeia de abastecimento no contexto da Indústria<br>4.0: adaptado de (Geisberger & Broy, 2012).....   | 12 |
| Figura 6- Diferentes tipos de Operador 4.0: Adaptado de (Romero et al. 2016) .....   | 13 |
| Figura 7- Projeto do exoesqueleto da "Robo-Mate" (Venn, 2016) .....  | 14 |
| Figura 8- Exemplo de realidade aumentada com dois estudantes a observar o "livro mágico"<br>(Courtesy Dieter Schmalstieg, Vienna)(R. Azuma, Behringer, Feiner, Julier, & Macintyre, 2001)<br>.....         | 15 |
| Figura 9-Aparelhos de Realidade virtual concebidos pela Sony (Sony, 2019) .....  | 16 |
| Figura 10-Exemplo de alguns <i>tracker</i> que existem e que permitem a monitorização do estado<br>de saúde do operador. ( Imagem adaptada de Mishra 2019).....  | 17 |
| Figura 11-CoBot InSa (InSA, 2019) .....  | 19 |
| Figura 12-Exemplos de redes sociais que podem ser utilizadas por este tipo de operadores 4.0.<br>.....   | 20 |
| Figura 13- Máquina de café "Nespresso" apresentada a partir de uma aplicação de realidade<br>aumentada. (Youtube - Augmented Reality for Retail - 2018).....   | 21 |
| Figura 14- Estudante a usar a realidade aumentada para interagir com objetos reais e virtuais.<br>(Shelton e Hedley 2014) .....  | 23 |
| Figura 15- Imagens que podem ser vistas neste sistema SMART utilizando raquetes que servem<br>de rastreadores. (Freitas 2015) .....  | 24 |
| Figura 16- Imagem retirada da aplicação "Google Skymaps" onde se podem ver, a partir da<br>camara do telemóvel, alguma estrelas e astros do sistema solar.....   | 25 |
| Figura 17- Exemplo do sistema falado em cima. (Fjeld e Voegtli 2002). .....  | 25 |
| Figura 18- Aplicação "Virtuali-T" que utiliza uma camisola como rastreador e onde é possível,<br>através de uma camara apontada visualizar o corpo humano por dentro. (Curioscape 2016) .                  | 26 |
| Figura 19- Exemplo de um estudante a utilizar o "Construct 3D" com os óculos de Realidade<br>Aumentada. (Kaufmann 2014) .....  | 27 |
| Figura 20- Exemplo da pesquisa de Chae e Ko (2008) onde tentam, a partir da realidade<br>aumentada, descobrir a distância entre os marcadores. ....  | 27 |
| Figura 21- Exemplo de uma imagem utilizada na aplicação onde conseguimos ver pontos<br>amarelos que são os pontos onde a camara utilizada vai associar ao modelo 3D ao usar a<br>Realidade Aumentada. .... | 35 |
| Figura 22- Imagens utilizadas como rastreadores na aplicação de Realidade Aumentada. ....  | 36 |

|  |    |
|--|----|
| Figura 23-Estas primeiras linhas de código servem para saber quais as livrarias que vão ser utilizadas no código. ....   | 36 |
| Figura 24-Aqui podemos encontrar as variáveis públicas que permitem adicionar no editor quais serão os objetos a utilizar no script. ....                                    | 36 |
| Figura 25-Esta secção serve apenas para saber se o script está a ser chamado no início da aplicação. ....  | 37 |
| Figura 26-Esta secção vai apenas servir para dar erros caso esteja algo em falta, pode vir a ser útil quando o script está a ser chamado em múltiplos objetos. ....          | 37 |
| Figura 27-Caso o botão exista procura o componente VirtualButtonBehaviour e regista este script como o responsável por lidar com os eventos de clique. ....                  | 37 |
| Figura 28- Função que é chamada quando o botão é pressionado (Chamado pelo VirtualButtonBehaviour) e de seguida pede à fonte de som para tocar o que lhe tem associado. .... | 37 |
| Figura 29- Função que é chamada quando o botão é libertado. ....   | 37 |
| Figura 30-Imagem do Unity já com o programa completo. ....   | 38 |

## Lista de Acrónimos

|        |   |
|--------|---|
| CPS    | Cyber Physical Systems                        |
| RA     | Realidade Aumentada                           |
| TI     | Tecnologias de Informação                     |
| IoT    | Internet of Things                            |
| 5G     | Quinta Geração                                |
| D2D    | Device to Device                              |
| PLCs   | Controladores Lógicos Programáveis            |
| SCADA  | Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados   |
| MES    | Manufacturing Execution Systems               |
| ERP    | Enterprise Resource Planning                  |
| RV     | Realidade Virtual                             |
| 3D     | Terceira Dimensão                             |
| CAD    | Desenho Assistido por Computador              |
| GPS    | Sistema de Posicionamento Global              |
| API    | Assistente Pessoal Inteligente                |
| CoBots | Robots Colaborativos                          |
| E-SNS  | Serviço da Rede Social da Empresa             |
| SMART  | Sistemas de Realidade Aumentada para o Ensino |
| SSAT   | Escolas Especiais e Academias Trust           |
| HMD    | Head-Mounted Display                          |
| KARMA  | Knowledge-Based AR for Maintenance Assistance |
| PDA    | Personal Digital Assistant                    |
| I4.0   | Indústria 4.0                                 |



# 1.Introdução

No capítulo 1 faz-se o enquadramento do tema da dissertação, fala-se sobre a indústria 4.0 em termos históricos e analisa-se o enquadramento da realidade aumentada nesta temática. Pretende-se mostrar também o que significa o termo realidade aumentada e quais são as suas origens. Será explicada ainda a metodologia usada na realização desta dissertação e as principais barreiras encontradas para a investigação.

## 1.1 Enquadramento

O desenvolvimento industrial tem sido uma realidade ao longo dos séculos tendo conduzido ao atual conceito de indústria 4.0. Este conceito foi proposto pela economia alemã em 2011. De acordo com Lukac (2016) a primeira revolução industrial iniciou-se no final do século XVIII e foi representada pela produção elétrica a partir da água e de vapor. A segunda revolução industrial começou no início do século XX com a vertente da produção em massa baseada em energia elétrica. A terceira revolução industrial começou nos anos 70 sendo que a sua principal diferença foi a produção automática baseada em componentes eletrónicas e a internet. Neste momento temos a indústria 4.0 que, para alguns autores, é considerada a quarta revolução industrial e baseia-se em diferentes tecnologias ligadas à recolha e gestão da informação. Esta recolha de informação baseia-se nos *cyber physical systems* (CPS) que são sistemas de automação industrial que integram funcionalidades inovadoras que permitem a conexão entre as operações físicas com as computacionais e a comunicação de infraestruturas. Os CPS consistem em microcontroladores que controlam sensores e atuadores e são fundamentais para a agilização da produção e para a melhoria da eficiência de toda a indústria. (Lu, 2017)

Para se compreender melhor a importância do termo “*industry 4.0*” ao longo dos anos é apresentada a figura 1 que evidencia graficamente a quantidade de artigos científicos com o termo “*industry 4.0*” no título tendo por referência a base de dados da SCOPUS:

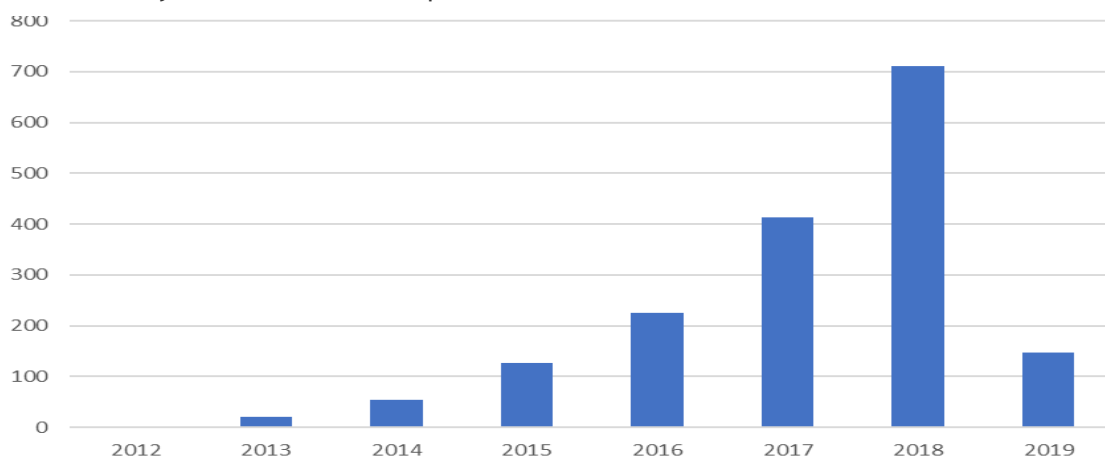


Figura 1-Quantidade de artigos do termo “4.0 industry” publicados ao longo dos anos

A partir da análise do gráfico pode dizer-se que o primeiro artigo foi publicado no ano de 2012 e que ao longo dos últimos anos a quantidade de artigos publicados tem vindo a aumentar sendo, o ano de 2018, aquele onde foram publicados mais artigos (711). O artigo mais citado é "A cyber-Physical Systems architecture for industry 4.0- based manufacturing systems" de Lee, K., Bagheri, B.,Kao,H.-A. de 2015 com 823 citações.

Uma das ferramentas da indústria 4.0 é a realidade aumentada (RA). A realidade aumentada, segundo Romero et al. (2016), é uma tecnologia que melhora a relação entre o ambiente de fábrica real com o operador, ao sobrepor informação digital à sua área de atuação. Sendo assim a RA pode ser considerada uma tecnologia chave para melhorar a transferência de informação do mundo digital para o mundo físico do operador de forma não intrusiva.

A RA, segundo Johnson et al. (2010), "tem um potencial forte para providenciar um experiência de aprendizagem no local e descobrir e explorar a natureza da informação no mundo real". Esta tecnologia tem sido aplicada experimentalmente, nas últimas décadas, em escolas e ambientes industriais. Atualmente com o avanço das tecnologias dos telemóveis, tablets entre outras inovações eletrónicas é previsível que a RA no futuro venha a ter uma grande expansão, nomeadamente na educação e formação. (Gan et al. 1998).

Segundo uma pesquisa feita em motores de busca de artigos científicos, o número de artigos que abordam a temática da realidade aumentada tem crescido, ver figura 2:

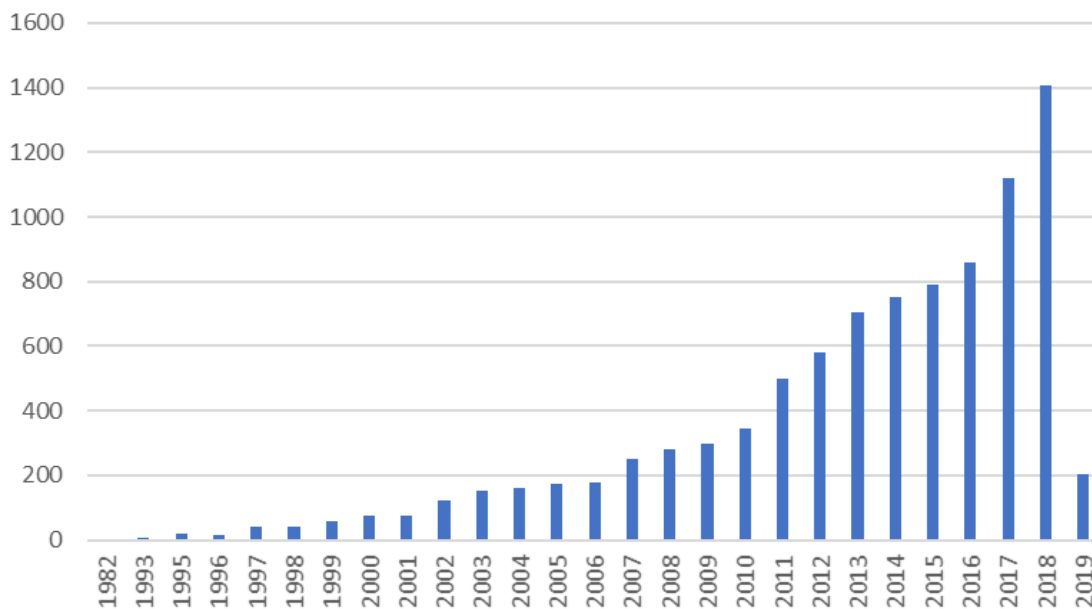


Figura 2-Quantidade de artigos com o termo "augmented reality" publicados ao longo dos anos.

Analisando o gráfico pode-se dizer que o primeiro artigo sobre este tema foi publicado em 1982 e que ao longo dos anos tem vindo a aumentar consideravelmente. No ano de 2018 atingiu-se o número máximo de publicações sobre este assunto com um total de 1407 artigos. O artigo mais citado é o "A survey of augmented reality" de Azuma, R.T. 1997 com 3039 citações.

Sendo esta uma temática atual como fica demonstrado pelo interesse crescente sobre o tema este trabalho vai ter por base uma pesquisa bibliográfica e um trabalho experimental para tentar aplicar a RA em ambientes controlados.

## 1.2 Motivação

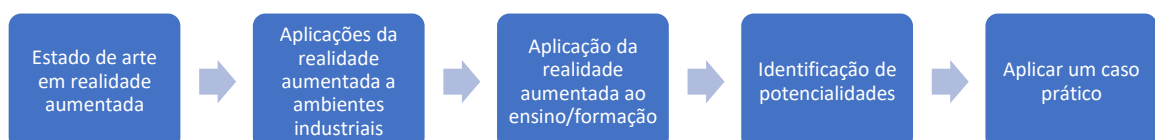
O que levou à escolha deste tema para a dissertação foi o interesse e potencial que esta tecnologia tem ao nível dos ambientes industriais e dos serviços. Esta tecnologia, associada a outras é apontada como uma temática que está a revolucionar a indústria moderna. A RA é uma tecnologia que permite o desenvolvimento de ferramentas que melhoram a produtividade na indústria. Sendo a Realidade Aumentada uma ferramenta muito útil em diferentes vertentes tais como prever, organizar, orientar, ensinar, formar, etc, faz todo o sentido que no âmbito da formação em Engenharia e Gestão Industrial, curso direcionado para otimização de sistemas produtivos se analise com mais detalhe esta tecnologia.

## 1.3 Objetivos

O objetivo geral desta dissertação é fazer um levantamento do estado de arte sobre a aplicação de sistemas de Realidade Aumentada em diferentes ambientes, como a indústria e o ensino. A partir deste objetivo geral foram gerados objetivos específicos sendo eles:

- Objetivo 1- Estado de arte em Realidade Aumentada;
- Objetivo 2 - Aplicação da realidade aumentada a ambientes industriais;
- Objetivo 3 - Aplicação da realidade aumentada ao ensino/formação;
- Objetivo 4 - Identificação de potencialidades.
- Objetivo 5 - Aplicar um caso prático

A figura seguinte mostra de forma esquematizada os objetivos propostos para esta dissertação:



*Figura 3-Objetivos da dissertação*

## 1.4 Metodologia

Para se realizar uma boa pesquisa são necessários alguns atributos pessoais no pesquisador. Segundo Silva & Menezes (2005) é necessário que este tenha conhecimento sobre o assunto, seja curioso, criativo, tenha integridade intelectual e sensibilidade social. Também diz que a humildade é necessária para haver uma atitude autocorretiva.

A pesquisa numa visão mais filosófica, segundo o mesmo autor, é considerada como uma “atividade básica das ciências na sua indagação e descoberta da realidade. É uma atitude e uma prática teórica de constante busca que define um processo intrinsecamente inacabado e permanente. É uma atividade de aproximação sucessiva da realidade que nunca se esgota, fazendo uma combinação particular entre teoria e dados.”

A pesquisa a ser feita nesta dissertação vai ser uma pesquisa científica que depende de um “conjunto de procedimentos intelectuais e técnicos” (Gil, 2009).

De acordo com Bhattacharjee (2012) a investigação científica assume duas formas, a dedutiva e a indutiva. Na investigação dedutiva a finalidade é testar conceitos e modelos conhecidos da teoria ao usar novos dados experimentais. Na investigação indutiva, o objetivo é compreender concepções e modelos teóricos do material observado.

Estas duas formas de investigação são caminhos importantes para o desenvolvimento da ciência pois contribuem para melhores explicações dos fenômenos e melhores teorias. (Bhattacharjee, 2012)

Nesta dissertação vai ser majoritariamente utilizada a investigação indutiva pois esta é aquela que permite compreender os padrões dos dados observados e conseguir desenvolver e/ou expandir uma teoria já existente podendo também ser classificada como uma investigação exploratória pois, segundo Gil (2009), visa proporcionar uma maior familiaridade com o problema com a finalidade de o tornar explícito ou construir hipóteses. É necessário para isso desenvolver uma pesquisa bibliográfica e estudos de caso.

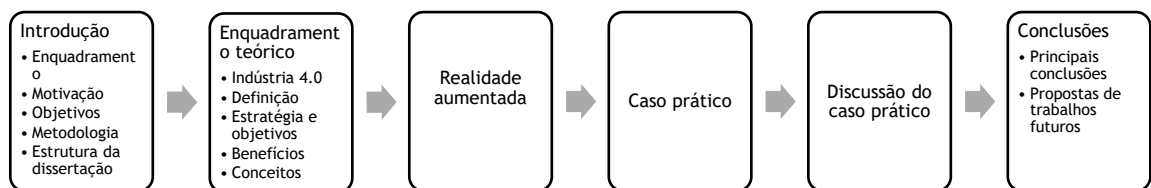
Para cumprir com este método de investigação foi realizada uma revisão bibliográfica, onde foram consultados livros, artigos científicos, relatórios, teses e dissertações. Também foi elaborada uma pesquisa em termos nominais para tentar perceber o desenvolvimento do conhecimento e do interesse em certos temas pela sociedade e pela redação de artigos sobre esses mesmos temas.

Também será realizada um caso prático.

## 1.5 Estrutura da dissertação

A dissertação apresentada divide-se em 5 capítulos. No capítulo 1 é apresentada a introdução, o enquadramento do tema, os objetivos propostos, a metodologia de investigação e a apresentação da estrutura. No capítulo 2 é feito um enquadramento teórico, nomeadamente sobre a indústria 4.0 e alguns conceitos fundamentais. No capítulo 3 é iniciada a temática da realidade aumentada. Aqui o objetivo é conseguir fornecer um suporte teórico acerca das temáticas abordadas nomeadamente um estudo acerca da evolução histórica, principais características e algumas funcionalidades e aplicações da RA. No capítulo 4 é proposto contextualizar e executar um caso prático de forma a fornecer uma maior familiaridade com a AR. No capítulo 5 serão apresentados os resultados do caso prático, a maneira como foi feito, e as ferramentas utilizadas. Será também feita a discussão desses resultados e da forma como foram alcançados os objetivos propostos. Irá ser fornecida uma proposta de melhoria a partir das conclusões obtidas com base no caso prático e também serão feitas as considerações finais retirando as principais conclusões e propondo trabalhos futuros.

A figura seguinte fornece um esquema da estrutura desta dissertação de forma a clarificar e de ser mais perceptível:



*Figura 4-Estrutura da dissertação*



## 2. Indústria 4.0

Neste capítulo será apresentado a definição de Indústria 4.0, algumas ferramentas, e como é que esta se interliga com a Realidade Aumentada.

### 2.1 Definição

O termo indústria 4.0 representa a quarta revolução industrial onde se controla todo o fluxo de valor ao longo do ciclo de vida do produto. Este ciclo é baseado na personalização dos desejos dos clientes, no desenvolvimento, na produção e por fim na entrega ao cliente final. Para este ciclo ser sempre cumprido é fundamental a disponibilidade de todas as informações relevantes em tempo real, através de uma rede onde se encontram todas as instâncias envolvidas na criação de valor, bem como a capacidade de derivar o melhor fluxo de valor possível a partir dos dados disponibilizados em todos os momentos necessários. A partir da ligação entre pessoas, objetos e sistemas é possível criar uma dinâmica, que se auto-organiza, que se interliga entre organizações e que consegue ser otimizada em tempo real de acordo com uma série de critérios que são previamente impostos no sistema. (Flemming 2016)

### 2.2 Estratégia e objetivos

O relatório final da Ciência Alemã e da União de Investigação Industrial na Indústria 4.0 de Abril de 2013 (Zukunft and Industrie 2013), enuncia algumas recomendações de implementação, explica o que é necessário investigar e identifica oito áreas de ação que são apresentadas de seguida:

- **Padronização:** Criar padrões base que servem como referência e que permitem ter uma interorganização através da cadeia de valores;
- **Controlo de sistemas complexos:** Usar modelos para a automação de atividades e integrá-los no mundo digital e real;
- **Infraestrutura de banda larga para a indústria:** Permite assegurar os requisitos da Indústria 4.0 para a troca de informação em termos de volume, qualidade e tempo;
- **Segurança:** Garantir a segurança operacional e a privacidade da informação;
- **Organização do trabalho e design do posto de trabalho:** Esclarecimento das implicações do planeamento e tomadas de decisão para os trabalhadores em cenários da Indústria 4.0;
- **Formação:** Formulação de conteúdo e abordagens inovadoras para a formação de pessoas;
- **Condições legais do enquadramento:** Criar as condições legais necessárias para que a Indústria 4.0 seja uniforme e o mais extensa possível ao longo de toda a Europa seguindo todas as normas legais;

- **Eficiência de recursos:** Controlo responsável de todos os recursos, tanto humanos como materiais e financeiros para que sejam um fator de sucesso na produção industrial.

Para ser feita uma implementação da Indústria 4.0 é necessário seguir, segundo Oesterreich and Teuteberg, (2016) algumas características chave:

- **Integração horizontal ao longo da cadeia de valor:** A integração dos sistemas TI, partilha de processos e informação entre diferentes empresas, como por exemplo, clientes, fornecedores e outros parceiros exteriores, permite que exista uma colaboração maior entre estes.
- **Integração digital *end-to-end*:** Permite que haja uma integração digital da engenharia ao longo de toda a cadeia de valor com o objetivo de facilitar a execução de produtos customizados, resultado na redução de custos internos na operação. Portanto, a integração digital da cadeia de valores utilizando *cyber-physical systems* é necessária.
- **Integração vertical e sistemas de produção em rede:** Integração de sistemas TI, processos e fluxos de informação da empresa, desde o desenvolvimento do produto até à sua execução, logística e vendas, tudo interligado de forma a colaborarem entre si, resultando num ambiente de *smart factory*.

Nem só estes aspetos são importantes para a adoção da Indústria 4.0 pois também temos de ter em conta a Internet das coisas (IoT) e serviços, *Big Data* e computação em nuvem.

## 2.3 Benefícios

A Indústria 4.0 traz vários benefícios ao longo de toda a cadeia de valor. Como consegue responder a todos os pedidos do cliente de forma individual e produzir apenas pequenas quantidades do produto irá haver mais lucro. A flexibilidade torna-se maior porque, existe um design dinâmico, um processo de negócio via internet que permite maior ligação entre cliente/produtor e uma engenharia capaz de responder a todos os processos. A informação criada pela Indústria 4.0 juntamente com a Big Data, redes sociais e computação em nuvem permitem tomar decisões ótimas, soluções de design rápidas e flexibilidade quando existem paragens, bem como otimização de recursos em todas as localizações.

A eficiência da produção irá aumentar em conjunto com a produtividade e um uso dos recursos mais eficiente.

Haverá um novo potencial associado a novas formas de criação de valor e a novos empregos, por exemplo, serviços posteriores que oferecem um complemento ao produto atual depois deste sair da produção normal.

Em termos de mudanças demográficas, também existem benefícios na estruturação da maneira como as pessoas trabalham. Os conceitos da Indústria 4.0 conseguem acrescentar valor à pessoa

tanto a nível físico como a nível mental. De forma a reter o conhecimento e a experiência dos funcionários com alto nível de formação, a Indústria 4.0 consegue criar flexibilidade e diversos modelos de carreira em conjunto com a flexibilidade de produção e do planeamento de horários. Com isto a capacidade de produção vai ser otimizada e os recursos serão usados de forma mais eficaz. Tudo isto traz consigo uma resposta mais rápida aos desejos dos clientes. Por último, os funcionários serão capazes de conjugar melhor a sua vida pessoal com a vida profissional. (Zukunft & Industrie, 2013)

## 2.4 Desafios

Neste subcapítulo serão explicados alguns desafios que se enfrentam ao aplicar a indústria 4.0, segundo Barreto et al. (2017).

### 2.4.1 Rede Inteligente

Sistemas de logística interna, rede de fornecedores bem como sistemas e equipamentos automatizados são operados com a ajuda das tecnologias *cyber*, tais como os serviços de comunicação sem fios, sensores inteligentes e tecnologias de telecomunicação 5G. Estas tecnologias facilitam a acessibilidade aos recursos usados e ao controlo inteligente, aumentando o desempenho do sistema. Uma rede inteligente nas fábricas inteligentes requer que haja capacidade de processamento, a interface dos sensores ser heterogénea e uma segurança cibernética bem estruturada. A rede de software bem definida é um elemento essencial para a implementação de uma rede inteligente. Para além disso, uma rede industrial sem fios assistida pela *cloud* pode ser adequada para a adoção do conceito de fábrica inteligente, bem como a implementação da internet das coisas nos serviços desejáveis.

### 2.4.2 Mobilidade

Smartphones e tablets têm vindo a efetuar alterações na automação industrial. Eles conseguem fornecer acesso temporário ou permanente aos processos e serviços dos sistemas automáticos, introduzindo mecanismos eficientes no diagnóstico, manutenção e operação destes sistemas. A mobilidade permite usar aplicações do sistema base, planeamento *end-to-end* e colaboração horizontal. Com estes sistemas, as indústrias podem ficar integradas de uma forma mais eficiente com os parceiros da cadeia de valor, incluindo os fornecedores e clientes chave, e aumentar significativamente a eficiência e a redução de inventários. Ao usar a comunicação *Device-to-Device* (D2D), é possível rastrear o produto permitindo um melhor desempenho do inventário e redução de custos de logística. Normalmente, cada empresa desenvolve um sistema baseado na *cloud* para ligar as máquinas e dispositivos, que permite facilitar transações, operações, logística e de recolher e analisar informação.

### **2.4.3 Flexibilidade e interoperabilidade entre sistemas**

No desenvolvimento de sistemas automatizados, é possível selecionar a melhor oferta de componentes e serviços num largo número de fornecedores. A Big Data consegue dar maior facilidade de acesso à informação, não só em sistemas automáticos, mas também na manutenção, diagnóstico e desenvolvimento. Adicionalmente, a integração dos diversos sistemas de organização faz com que haja uma maior interoperabilidade, o que significa que as máquinas, dispositivos, sensores e as pessoas estão conectadas e conseguem comunicar entre elas.

Com o passar do tempo, vai existir um amadurecimento da Internet das coisas (IoT), o que forçará as empresas a adotarem modelos padronizados de soluções industriais que facilitem a conectividade e interoperabilidade entre dispositivos. Os aparelhos industriais são comumente baseados em design que não usam protocolos de comunicação padrão. Assim sendo, estas configurações industriais tendem a ser extremamente inflexíveis e consequentemente vai limitar a implementação do IoT.

### **2.4.4 Integração dos clientes**

As empresas estão a desenvolver cada vez mais a capacidade dos clientes conseguirem customizar os produtos que pretendem. Os consumidores vão estar no centro das cadeias de valor, na conceção e definição dos produtos e serviços. Ao integrar novos métodos de recolha de informação e análise, as empresas conseguirão gerar informação sobre o uso do produto e consequentemente redefini-los para irem ao encontro das necessidades do consumidor final. O paradigma da Indústria 4.0 foca-se em conseguir o perfeito alinhamento entre as empresas e os clientes através do e-comércio, marketing digital e redes sociais, bem como monitorizar de perto as opiniões dos consumidores acerca do produto. As empresas que se focam nesse aspeto irão ganhar vantagem no serviço ao cliente, flexibilidade, eficiência e redução de custos. Este objetivo de negócio não pode ser totalmente alcançado senão existir a integração completa da cadeia de abastecimento, nomeadamente ligar os fornecedores, a logística da produção, armazéns, e clientes, convenientemente conduzidos por um centro de comando baseado em *cloud* que confere acesso contínuo ao desempenho e ao *feedback* de cada membro da cadeia de abastecimento e do seu armazém. O objetivo principal da digitalização da cadeia de abastecimento é fornecer o produto correto, no local correto o mais rápido possível. Adicionalmente, ao seguir de forma rápida e viável, irá certamente aumentar o desempenho e eficiência e irá reduzir custos através da automação.

### **2.4.5 Modelos de negócio inovadores**

Com o aumento e desenvolvimento do uso da *word-wide-web* existiu um aumento das transações online que permitiu uma maior flexibilidade na distribuição da organização dos

produtos e serviços. De facto, as organizações estão a conduzir os seus negócios online com o uso das plataformas do *e-commerce*, para conseguir oferecer aos seus clientes, serviços inovadores e que consigam alcançar novos mercados. A tendência é oferecer produtos que sejam configuráveis e modulados de forma a que respondam a certos requisitos. O objetivo destes desafios tecnológicos é computorizar o máximo possível da produção sem ser necessário envolvimento humano. Os investimentos financeiros na tecnologia têm levado a uma maior automação, ou seja, as cadeias de abastecimento e linhas de produção tornam-se mais sofisticadas, o que faz com que as máquinas consigam otimizar-se sozinhas, configurarem-se sozinhas e a inteligência artificial consegue fazer com que elas façam tarefas complexas que permitem reduzir custos e obter produtos e serviços de maior qualidade. A internet das coisas (IoT) e os *cyber physical systems* como por exemplo, o aumento de sensores que conseguem obter informação, permitem aos operários e produtores responder de forma rápida ao que está a acontecer. Na prática, as cadeias de abastecimento e as linhas de produção conseguem ser prontamente controladas quando a informação está em todos os níveis da produção e entrega.

O controlo computorizado faz com que exista uma maior e mais consistente produtividade e como resultado, aumentar os lucros e alcançar outros mercados. Mas com a chegada destas inovações aparecem alguns riscos associados, especialmente no domínio da segurança, como por exemplo, na segurança de toda a informação adquirida. A integração destes sistemas na empresa e o aumento do acesso aos mesmos pode trazer falhas de segurança, sendo assim, as empresas têm de conseguir identificar os seus bens mais valiosos, os recursos necessários para operar normalmente e depois disso, identificar os mecanismos de segurança adequados a serem implementados para garantir a qualidade e estabilidade das comunicações, bem como garantirem a confidencialidade, integridade e acesso aos seus sistemas automatizados.

## 2.5 Conceitos fundamentais

Existem vários termos fundamentais quando se fala em Indústria 4.0. De acordo com Lasi e Kemper (2014), os conceitos a ter em conta são:

- **Fábrica Inteligente:** A fabricação vai ser completamente equipada com sensores, atuadores e sistemas autónomos. Ao usar “tecnologia inteligente” relacionada com modelos da fábrica e dos seus produtos e a aplicação de várias tecnologias de computação relacionando homem e máquina é possível desenvolver fábricas inteligentes controladas autonomamente. (Lucke, Constantinescu, & Westkämper, n.d.)
- **Cyber-physical Systems:** Os níveis físico e digital juntam-se. Ao aplicar este conceito ao nível da produção e do produto, torna-se impossível diferenciar o sistema físico do sistema digital. Um exemplo disso pode ser observado na área da manutenção preventiva. Os parâmetros do desgaste das peças mecânicas ao longo do processo

produtivo são gravados digitalmente o que leva a que a real condição do sistema seja obtida através desses do objeto em si e dos seus parâmetros a nível digital.

- **Auto-Organização:** Os sistemas existentes de fabricação estão a ficar cada vez mais descentralizados. Isto vem com a mudança da produção clássica e faz com que seja necessário existir uma auto-organização.
- **Novos sistemas no desenvolvimento de produtos e serviços:** Desenvolvimento do produto e do serviço será feito a nível individual. Sendo assim, é de extrema importância a existência de inovação sem barreiras e um *smart product* para que se consiga fazer a personalização e gravar todas as alterações.
- **Novos sistemas na distribuição e compras:** A distribuição e compras vão ser cada vez mais individualizadas. Vão existir vários processos conectados que são controlados a partir de diferentes canais.
- **Adaptação à necessidade humana:** Novos sistemas de fabricação devem ser concebidos para seguir as necessidades humanas e não o contrário.
- **Responsabilidade social:** Sustentabilidade e responsabilidade social devem ser o foco do design dos processos de fabricação industrial. Estes fatores são fundamentais para um produto de sucesso.

Na figura seguinte serão apresentadas as consequências de uma integração extensiva das diferentes componentes da cadeia de abastecimento da Indústria 4.0:

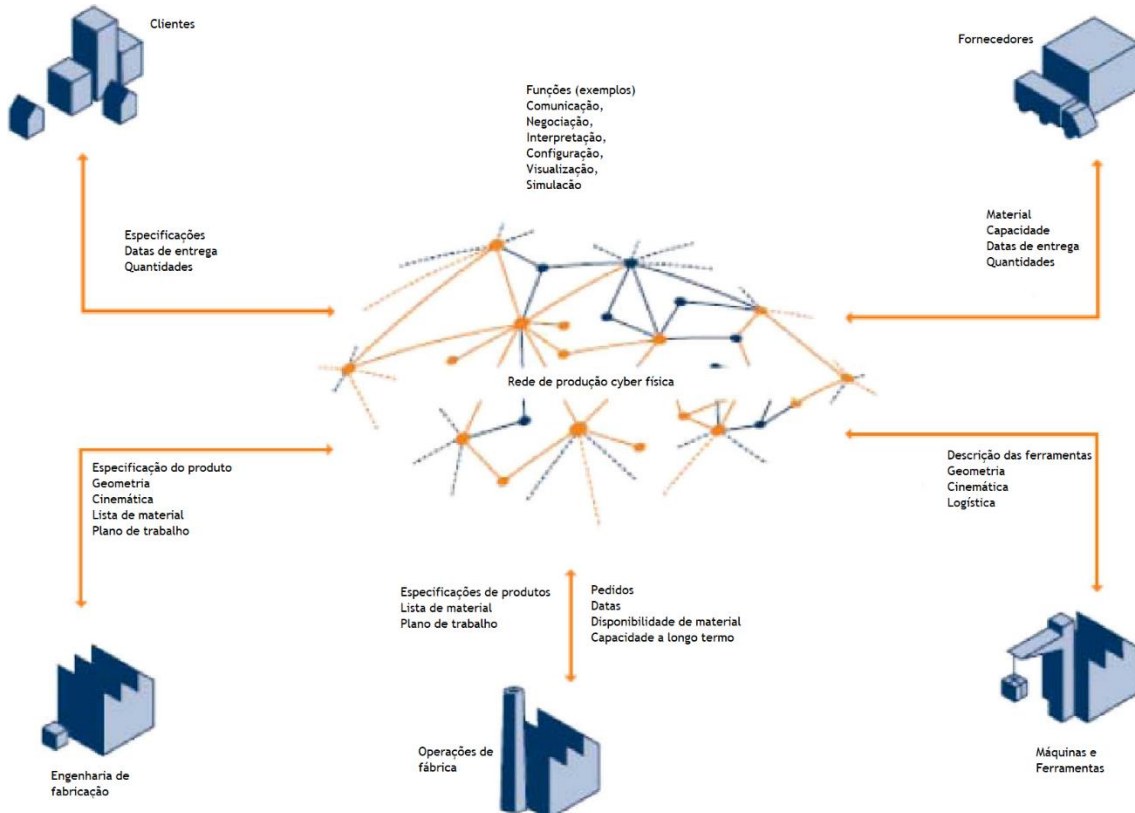


Figura 5-Exemplos das interdependências da cadeia de abastecimento no contexto da Indústria 4.0: adaptado de (Geisberger & Broy, 2012)

## 2.6 Controlo de produção 4.0

Os principais aspetos ligados à Indústria 4.0 são um alto nível de computadorização da engenharia de produção e logística interligado com um grande desenvolvimento da relação máquina/máquina e humano/máquina. (Lukac, 2016)

Dando continuidade a todos os conceitos de Indústria 4.0 já apreendidos anteriormente é necessário agora explicar como funciona a interface humano/máquina de acordo com a mesma.

### 2.6.1 Interface humano/máquina de acordo com a Indústria 4.0

Uma das principais características da Indústria 4.0 é o grande desenvolvimento da interface máquina/máquina e humano/máquina. Um requisito chamado “Produção 2020” requer que haja condições onde a pessoa e o robot consigam cooperar de forma versátil, segura e sem restrições. (Lukac, 2016)

Existe uma tipologia, denominada “Operador 4.0”, que retrata como é que a Indústria 4.0 pode ajudar os operadores a tornarem-se “Operadores Inteligentes” nos seus postos de trabalho de futuro. Na figura seguinte serão apresentados vários tipos de operador 4.0 onde se pode ver a interface humano/máquina: (Romero et al. 2016)

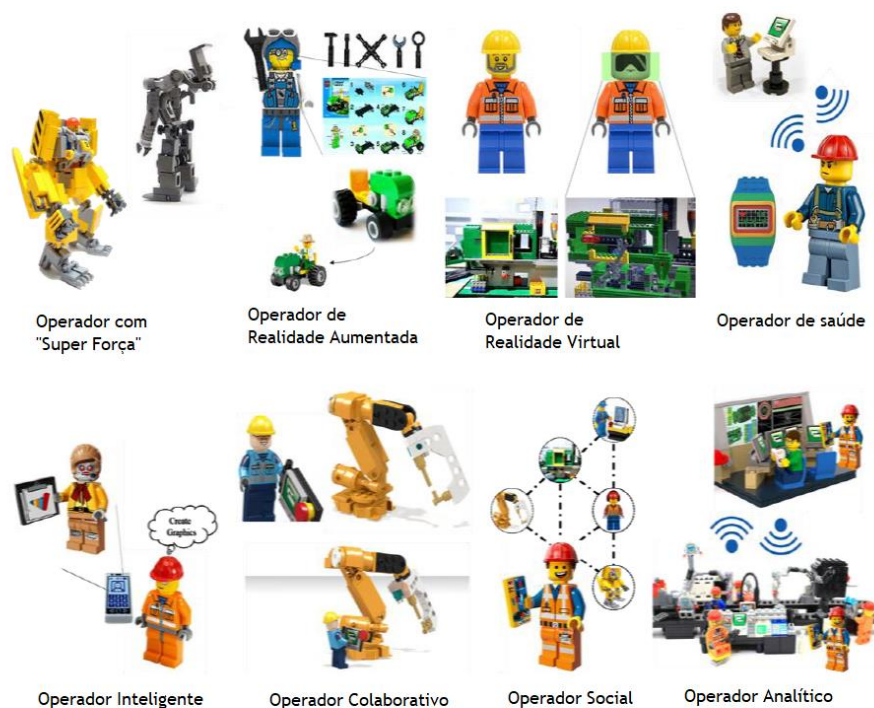
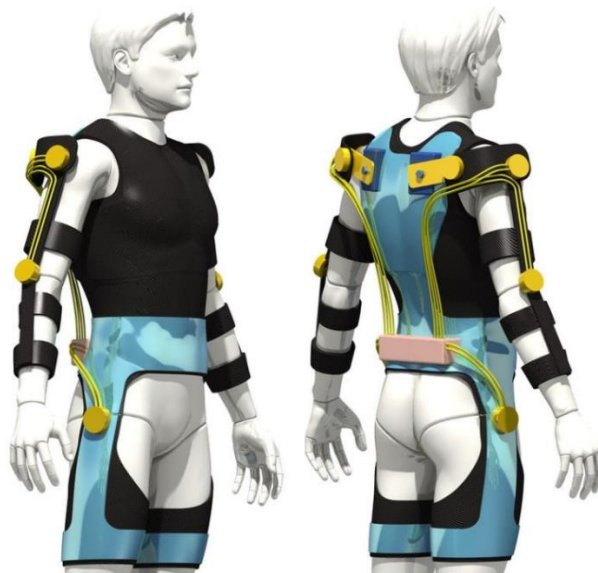


Figura 6- Diferentes tipos de Operador 4.0: Adaptado de (Romero et al. 2016)

### 2.6.1.1 Operador + Exoesqueleto = Operador com Super Força

Este tipo de operador utiliza um exoesqueleto que é leve, flexível e móvel, que representa um tipo de sistema biomecânico onde o exoesqueleto é composto por motores, pneumáticos, hidráulicos que trabalham em cooperação com o operador para ele poder executar tarefas que necessitem força extrema ou alta resistência. Por exemplo, ao utilizar os exoesqueletos, é possível fazer com que o trabalho seja simplificado e reduzir o cansaço provocado pelo uso excessivo da força, faz com que o sistema torne mais eficiente e produtivo ao auxiliar os processos de levantar e mover objetos pesados, melhora a capacidade física para o operador conseguir estar numa certa posição a utilizar a força e certos materiais. Por outro lado, também contribuem para a sustentabilidade da força de trabalho pois são ergonômicos nas operações manuais, ajudando a reduzir lesões e acidentes devido ao trabalho pesado, aumentando assim a produtividade e a qualidade do trabalho. Um exemplo deste tipo de operador é o sistema “Robo-Mate” que se define como “um exoesqueleto robótico humano, leve e de fácil uso para trabalhos manuais”. (Venn, 2016)

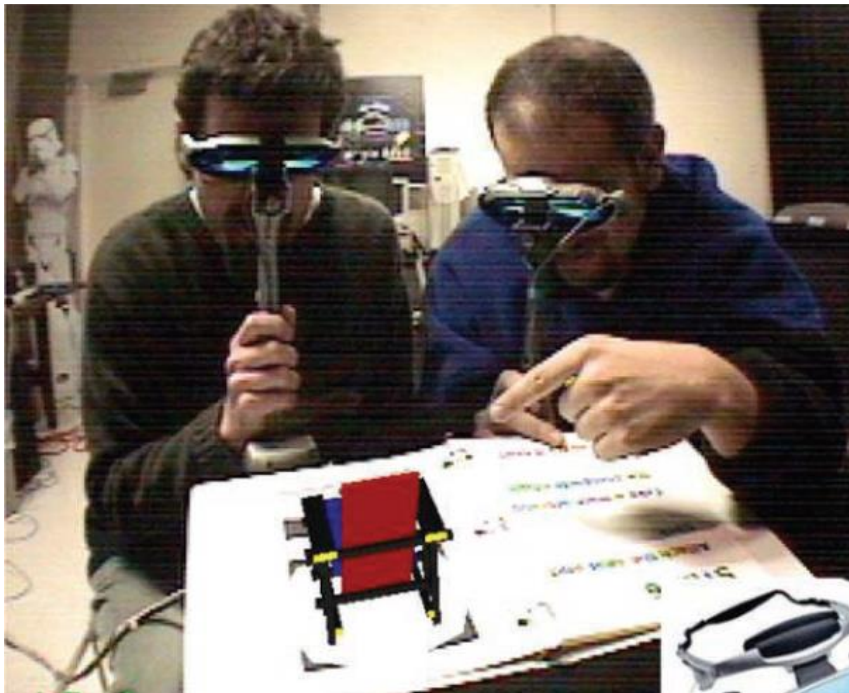


*Figura 7- Projeto do exoesqueleto da "Robo-Mate" (Venn, 2016)*

### 2.6.1.2 Operador + Realidade Aumentada = Operador Realidade Aumentada

Realidade aumentada (RA) é uma tecnologia que consegue juntar o ambiente real com o ambiente virtual através de informação e mídia digital. (Romero et al. 2016) Esta temática será abordada de forma mais minuciosa mais à frente nesta dissertação. Esta tecnologia pode ser considerada a chave para a recolha e transferência de informação entre o mundo físico e digital de uma forma não intrusiva para o operador.

A RA pode oferecer vantagens significativas no que diz respeito ao suporte ao operador em tempo real ao fazer com que as operações por ele executadas sejam menos propícias a erros humanos e ao mesmo tempo reduzir a necessidade e dependência de folhas com instruções, ecrãs de computador e da própria memória do operador, que neste caso, necessita de ter mais conhecimento para conseguir ler a informação. A tecnologia RA consegue, por exemplo, utilizar os sistemas digitais “poka-yokes” (mecanismo que permite ao operador evitar erros) para trabalhos intensivos reduzindo os defeitos, trabalho repetido e inspeção redundante ao oferecer informação intuitiva e combinando a capacidade de operador com a flexibilidade dos sistemas à prova de erros aumentando a eficiência do trabalho manual e também a qualidade do trabalho. Para além disto, a tecnologia RA consegue incorporar uma nova interface humano/máquina e aumentar a qualidade das aplicações TI e na informação sobre a empresa, ao mostrar o *feedback* em tempo real dos processos de fabricação e das máquinas permitindo ao operador melhorar a sua tomada de decisão. (Romero et al. 2016) Pode ser Implementado ao nível das máquinas usando controladores lógicos programáveis tradicionais (PLCs) e sistemas de supervisão e aquisição de dados ( SCADA ) e com a ajuda das tecnologias da Internet das coisas (IoT) na parte da monitorização. A RA também pode ser implementada ao nível médio das operações como os sistemas de execução e fabricação (MES), novas simulações na linha de produção e um nível grande de controlo de qualidade, usando os sistemas de planeamento de recursos empresariais (ERP). (Romero et al. 2016)



*Figura 8- Exemplo de realidade aumentada com dois estudantes a observar o "livro mágico" (Courtesy Dieter Schmalstieg, Vienna)(R. Azuma, Behringer, Feiner, Julier, & Macintyre, 2001)*

### 2.6.1.3 Operador + Realidade Virtual = Operador Virtual

A realidade virtual (RV) é uma tecnologia multimídia imersiva e simulada informaticamente que consegue replicar um design, montagem ou sistema de fabricação que permite ao operador interagir com certas ferramentas com baixo risco e com um *feedback* em tempo real.

A tecnologia de realidade virtual consegue combinar uma realidade interativa e simulações avançadas de cenários realistas para otimizar tomadas de decisão e formar novos operadores. Por exemplo, na fase do design de produto e da engenharia, a RV consegue transformar plantas em modelos 3D onde aparecem todas as regras de apresentação, linhas de orientação e metodologias para, assim, se tomarem decisões de engenharia e do impacto do produto no seu tempo de vida. Na fase de montagem do produto, os modelos feitos em CAD, podem ser transformados em simulações virtuais interativas que permitem a formação de operadores em operações complexas de montagem. Na parte da fabricação do produto, a RV “dá vida” à fábrica virtual integrada num sistema onde se encontram todos os sub sistemas da fábrica para que se consiga avaliar todos os layouts possíveis do chão de fábrica, como a disposição das máquinas, do equipamento, dos operadores, para assim otimizar o plano de produção usando métodos de análise, sistemas de apoio à decisão e métodos de estimativa. (Romero et al. 2016)



*Figura 9-Aparelhos de Realidade virtual concebidos pela Sony (Sony, 2019)*

### 2.6.1.4 Operador + Tracker de saúde = Operador de Saúde

Os rastreadores de saúde são dispositivos desenhados para medir a atividade física, stress, batimentos cardíacos e outras componentes de saúde bem como a localização GPS e outros dados pessoais. Com uma grande variedade de soluções no mercado tais como o Apple *Watch*, *Fit-bit* e o *Android wear*, muitas pessoas já têm este sistemas em casa. Aplicações militares vão dar um passo em frente e usar análise de dados na bio-data para prevenir possíveis

problemas antes deles acontecerem. Atualmente já foram dados os primeiros passos para levar isto para o próximo nível, com a potencialidade de conseguir rastrear a natureza complexa do cérebro humano durante diferentes atividades. Isto pode levar décadas a ser aplicável na indústria mas já indica alguma potencialidade. Sem entrar em problemas de privacidade, estes *trackers* podem trazer mudanças positivas e aumentar a produtividade, bem estar e medidas de segurança às forças de trabalho. Um operador, por exemplo, pode usar as suas análises pessoais para planear o seu plano de trabalho de forma a otimizar os seus parâmetros de saúde, pode monitorizar o seu esforço mental e físico de forma a configurar alertas que permitam aliviar o seu stress e saber quando está no seu limite de esforço.

Ligado às informações pessoais de cada operador podem ser analisadas também as informações de cada estação de trabalho e assim prever alguma ameaça urgente em termos de segurança e também qualidade na produção ao avisar os trabalhadores que tomam decisões, por exemplo, que os níveis de stress dos seus operadores está demasiado alto o que pode levar a erros humanos que podem ser prevenidos.

Um exemplo prático do uso deste tipo de operador na Indústria 4.0 inclui o uso dos *smart watches* para obter informações biométricas dos trabalhadores para que estes consigam tomar melhores decisões de forma a resguardar a sua capacidade mental e física. Contudo é necessário sempre existir uma capacidade analítica elevada para que exista progresso. (Romero et al. 2016)

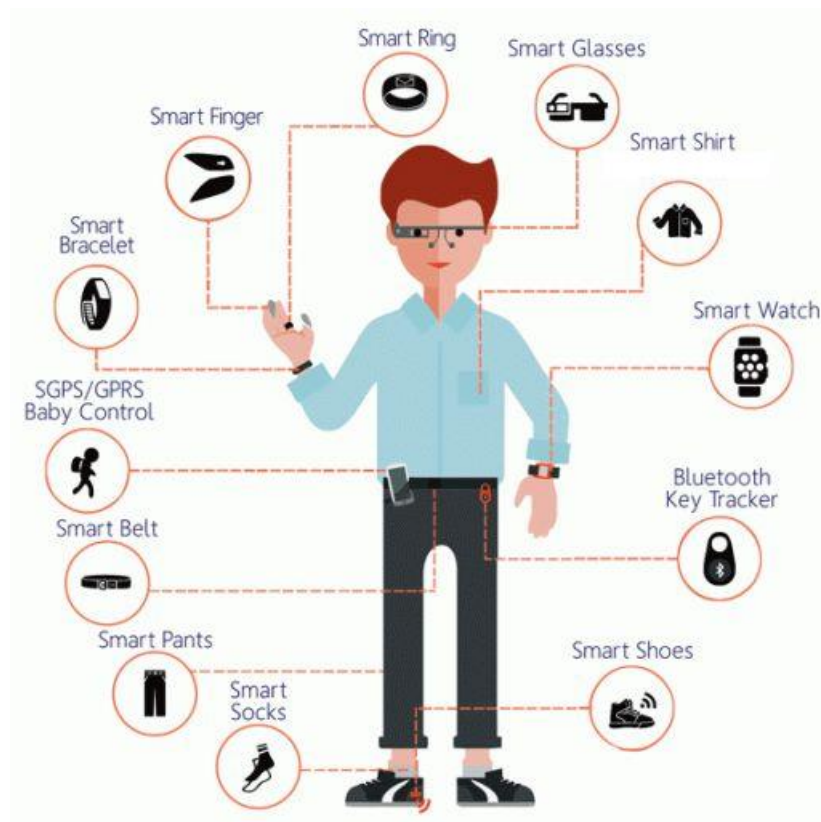


Figura 10-Exemplo de alguns trackers que existem e que permitem a monitorização do estado de saúde do operador. ( Imagem adaptada de Mishra 2019)

### **2.6.1.5 Operador + Assitente pessoal inteligente = Operador Inteligente**

Um assistente pessoal inteligente (API) é um agente de software ou também conhecido como inteligência artificial que foi desenvolvida para ajudar o operador na interface com as máquinas, computadores, bases de dados e outros sistemas de informação bem como organizar tempos de execução e tarefas de desempenho.

Um das principais funções do API é a capacidade que tem de oferecer uma interação de voz com o operador, que induz a uma maior produtividade e eficiência operacional ao permitir que o operador tenha as mãos livres para realizar certas tarefas. Alguns cenários onde o API pode dar vantagem para o operador e oferecer ajuda pessoal são: na procura e recolha de informação de uma biblioteca digital, baseada na voz, para reparar e/ou fazer a manutenção de uma máquina enquanto são lidas as instruções para executar a tarefa, na calendarização das tarefas onde podem ser colocados lembretes em ações críticas, organização de inventários, planeamento de atividades onde o operador pode ser creativo e aplicar o API na resolução de problemas ao mostrar ao seu staff o seu planeamento, fazer o interface com dispositivos conectados através de comandos de voz.

Um exemplo deste tipo de Operador 4.0 são a Siri da Apple, o “Hey Google” da Android ou a Alexa da Amazon. Esta última consegue fazer com que os criadores de software consigam aceder e que criem aplicações e serviços adicionais usando as funcionalidades já existente. Este assistente consegue encontrar receitas de cozinha e escrever até listas de compras. (Romero et al. 2016)

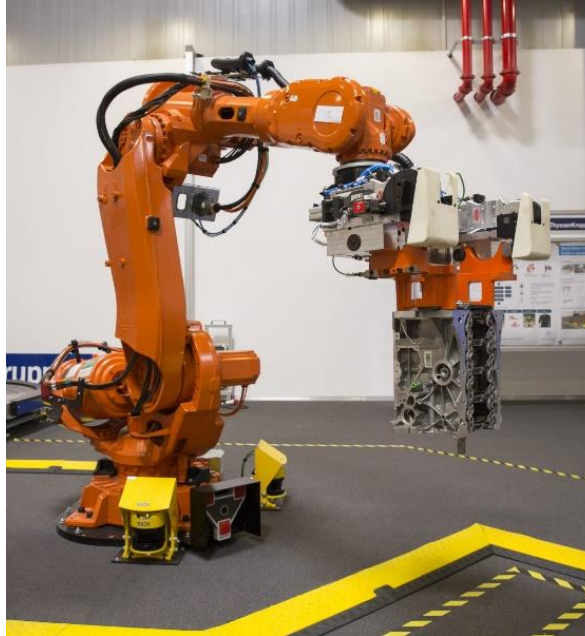
### **2.6.1.6 Operador + Robot colaborativo = Operador colaborativo**

Os robots colaborativos (CoBots) são robots industriais capazes de desempenhar uma variedade de funções repetitivas e não ergonómicas e são especialmente desenhadas para trabalhar em cooperação com o operador de forma segura e intuitiva.

Os Cobots permitem que existam interações entre os humanos e o seu trabalho sem que hajam as convencionais barreiras de proteção. Isto possibilita a criação de benefícios como aproveitar o espaço retirado pelas barreiras de segurança e poupar os custos associados a essa implementação, aumenta a produtividade do operador e a satisfação no trabalho ao realizar a sua operação de forma mais eficiente e que consiga realizar operações que sejam vulneráveis e que levem ao tédio como por exemplo, a colocação de objetos, transporte de materiais pesados feito repetitivamente, e trabalhar com materiais que sejam considerados perigosos.

Outro efeito positivo da colaboração entre robot e operador no local de trabalho é o aumento da aceitação da ajuda do robot nomeadamente no domínio dos cuidados de saúde que se estima

que seja muito importante devido às mudanças demográficas em certas áreas. Uma aplicação atual deste tipo de operador 4.0 é o projeto INSA onde se faz o desenvolvimento de um avançado reconhecimento de imagem para criar locais de trabalho seguros onde exista colaboração entre humano e robot. (Romero et al. 2016)



*Figura 11-CoBot InSa (InSA, 2019)*

### **2.6.1.7 Operador + Rede Social = Operador Social**

Os serviços de rede social da empresa (E-SNS) focam-se no uso de métodos móveis e sociais para conectar os operadores do chão de fábrica com os recursos da fábrica em si. Estas conexões incluem relações sociais, entre trabalhadores e uma base de dados onde se podem trocar ideias e criar informação que permita apoiar nas tomadas de decisão.

Esta conexão entre operadores permite que exista comunicação em tempo real, que pode contribuir para a maturação do operador em relação a um produto e a alguns processos de inovação que ajudam na inovação nos produtos e que facilitam a resolução de problemas pois juntam as pessoas certas que têm diferentes visões acerca do mesmo problema e faz com que existam várias visões para a sua resolução. A criação de conhecimento e o seu controlo é sempre desafiador e ainda não existe um caminho ideal para proceder. Investigação e prática industrial sugere que haja uma partilha de informação para que exista um maior sucesso para atingir um conhecimento técnico melhor estruturado. As redes sociais existentes nas empresas permitem que sejam utilizadas de forma a armazenar conhecimento e também estimulam a parte social dos utilizadores da rede.

Um exemplo deste tipo de Operador 4.0, podem ser os fóruns internos onde só os operadores da empresa têm acesso e podem partilhar informação. Algumas empresas também usam as

redes sociais já existentes como o Facebook ou o LinkedIn para comunicarem. Este último pode trazer algum risco associado pois a informação está guardada em bases de dados fora da empresa. (Romero et al. 2016)



*Figura 12-Exemplos de redes sociais que podem ser utilizadas por este tipo de operadores 4.0.*

### **2.6.1.8 Operador + Análise de Big Data = Operador analítico**

A análise de Big Data é o processo de recolha, organização e análise de grandes quantidades de informação (Big Data) para descobrir informação importante e antecipar eventos importantes.

Esta análise pode ajudar os operadores a atingirem melhores previsões, entender o desempenho da empresa, ter sempre melhoria continua, melhora a visibilidade de informação podendo ser acedida de forma interativa e alertas em tempo real baseados em análise antecipadas para que a informação seja acedida rapidamente para prever erros, identificar problemas e tomar as decisões corretas para aumentar a eficiência operacional.

A análise de informação e a aprendizagem das máquinas tem várias aplicações na fabricação e já está aplicada em grande parte das empresas. Contudo, com o aumento significativo do acesso à informação através de sensores mais baratos, da IoT e também do progresso rápido dos métodos não supervisionados como a aprendizagem online vai trazer soluções ainda mais poderosas para o futuro.

O operador analítico está conectado com diferentes aplicações de análise de dados avançada. Este tipo de operador 4.0 pode recorrer a uma variedade de ferramentas de controlo e monitorização que são usadas na aprendizagem e recolha de dados para aumentar a qualidade do produto e diminuir tempos de entrega. (Wuest & Irgens, 2014)

## 3. Realidade Aumentada

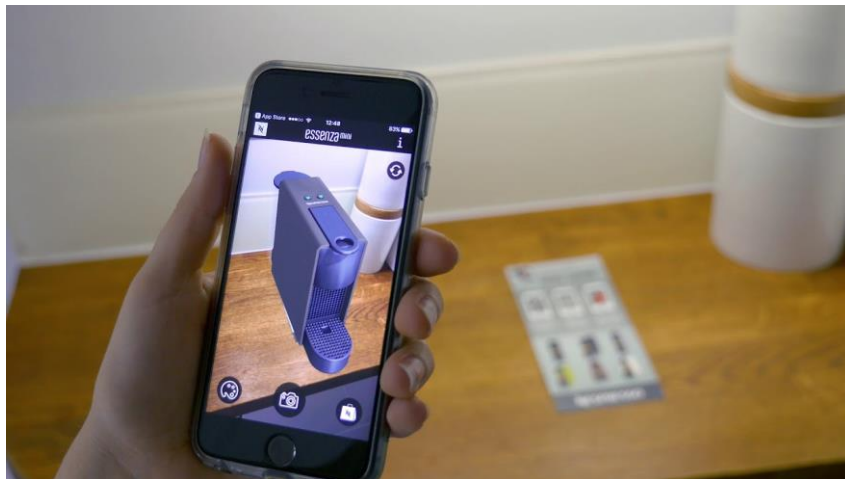
Neste capítulo irá ser abordado o tema de Realidade aumentada nomeadamente a sua definição, a sua história e algumas aplicações práticas.

### 3.1 Definição

A realidade aumentada (RA) é uma variação da realidade virtual. As tecnologias de realidade virtual fazem com que o utilizador entre num mundo completamente digital. Quando este se encontra dentro desse mundo, ele não consegue ver o que está à sua volta no mundo real. Por outro lado, a realidade aumentada permite ao utilizador ver o mundo real juntamente com objetos sobrepostos ao que está a ver permitindo assim fazer uma junção dos dois mundos. A RA complementa a realidade em vez de a trocar completamente. Sendo assim esta pode ser definida como se fosse o meio termo entre a realidade virtual e o mundo real. (R. T. Azuma, 1997)

Para definir a RA em todos os sistemas, esta deve seguir as seguintes características:

- Combinar o mundo real com o virtual;
- Ser interativa em tempo real;
- Ser registada em 3 dimensões.



*Figura 13- Máquina de café "Nespresso" apresentada a partir de uma aplicação de realidade aumentada. (Youtube - Augmented Reality for Retail - 2018)*

## 3.2 História da Realidade Aumentada

A primeira vez que se falou na Realidade aumentada (RA) foi nos anos de 1950 quando Morton Heilig, um cinematografo, pensou que o cinema deveria ser uma atividade onde houvesse a capacidade do utilizador conseguir com que as suas sensações fossem todas utilizadas de uma forma efetiva. Em 1962, Heilig construiu um protótipo da sua visão e descreveu-o como o “cinema do futuro” dando-lhe o nome de Sensorama que precedeu à computação digital.

Passado alguns anos, em 1966, Ivan Sutherland inventou um display que se encaixava na cabeça. Em 1968, Sutherland foi o primeiro a conseguir criar um sistema de RA utilizando um sistema ótico montado na cabeça com um display. Em 1974, Myron Krueger criou uma sala chamada de “Videoplace” onde era possível os utilizadores interagirem com os objetos virtuais pela primeira vez. Mais tarde, Tom Caudell e David Mizell (1990) utilizaram a expressão realidade aumentada enquanto ajudavam os trabalhadores a montar cabos e fios para uma aeronave. Também começaram a discutir as vantagens da Realidade Aumentada em vez da Realidade Virtual (RV), tais como a necessidade de menos energia pois eram necessários menos pixels. L.B Rosenberg(1992) desenvolveu um dos primeiros sistemas funcionais de RA, denominado “*Virtual Fixtures*” e demonstrou os seus benefícios para o desempenho humano enquanto Steven Feiner, Blair MacIntyre e Doree Seligmann(1993) desenvolveram o primeiro artigo sobre um protótipo de RA denominado “*Karma*”. A sequência de realidade virtual só é definida em 1994 por Paul Milgram e Fumio Kishino como uma sequência que se estende desde o ambiente real até ao ambiente virtual. RA e RV estão localizadas algures entre a RA estar perto do ambiente real e a RV estar perto do ambiente virtual. Em 1997, Ronald Azuma escreveu a primeira pesquisa em RA que forneceu uma definição amplamente reconhecida de RA ao identificar esta como sendo uma combinação entre o mundo real e virtual enquanto os dois são registados em 3D e em tempo real. O primeiro jogo RA mobile desenvolvido foi o ARQuake, criado por Bruce Thomas em 2000. Em 2005, o livro Horizon Report previu que as tecnologias RA iriam passar a ser muito comuns passados 4 ou 5 anos, e, para confirmar esta previsão, sistemas com câmaras que conseguem analisar ambientes físicos em tempo real e relacionar posições de objetos no mesmo ambiente, foram desenvolvidas. Este tipo de sistema foi a base da integração dos objetos virtuais com o mundo real em sistemas de Realidade Aumentada. Nos anos seguintes, cada vez mais aplicações RA foram desenvolvidas, nomeadamente no campo mobile, tais como a “Wikitude AR Travel Guide” lançada em 2008, mas também existiram novas aplicações no campo da medicina, em 2007. Hoje em dia, com os novos avanços da tecnologia e o aumento significativo dos sistemas e aplicações RA prevê-se que esta seja bastante utilizada no futuro.(Carmigniani, Furht, & Anisetti, 2011)

### 3.3 Algumas aplicações da Realidade Aumentada

Neste subcapítulo serão abordadas algumas aplicações práticas da realidade aumentada em diferentes ambientes.

#### 3.3.1 Realidade Aumentada na educação e formação

De acordo com Johnson et al. (2010), “a realidade aumentada tem um forte potencial para fornecer aprendizagem e experiência no local e uma exploração benéfica da conexão da informação no mundo real.”

A RA tem sido aplicada experimentalmente em ambientes escolares e industriais, apesar de ainda não ser tão aplicada como os métodos tradicionais durante as últimas 2 décadas. Adicionado ao facto das tecnologias RA estarem cada vez mais desenvolvidas é possível criar e desenvolver experiências que podem ser utilizadas através dos computadores pessoais ou dos telemóveis. Estes dispositivos têm acesso à tecnologia de RA tornando esta temática muito viável tanto na educação como na formação. (Lee, 2012)

Na escola, os profissionais e investigadores têm aplicado esforços no sentido de aplicar a RA nas salas de aula em disciplinas como, química, matemática, biologia, física, entre outras, onde adotam livros com RA e guias para estudantes. Contudo, Shelton e Hedley (2004), estimaram que a RA não tinha sido adotada no meio académico devido ao pouco financiamento dos governos e a pouca preocupação desta temática na educação.

Nas empresas, a RA é usada de uma forma colaborativa com a capacidade de ensinar, explicar e guiar os operadores, gestores e clientes. As empresas têm também um ambiente mais propício à RA pois consegue suportar melhor os custos das aplicações. Muitas empresas estão interessadas em aplicar RA para o design e reconhecimento dos produtos. De acordo com Shelton e Hedley (2004), as empresas conseguem criar um design dum carro em três dimensões e também fazer mudanças imediatas quando necessárias e criar comentários virtuais que podem explicar ao técnicos o que precisa de ser consertado.



*Figura 14- Estudante a usar a realidade aumentada para interagir com objetos reais e virtuais. (Shelton e Hedley 2014)*

Freitas (2015) desenvolveu o SMART (Sistema de realidade aumentada para o ensino) que é um sistema educacional que utiliza a RA. Este sistema utiliza a RA para ensinar conceitos do 2º ano de escolaridade como por exemplo os tipos de animais. Este sistema mostra modelos de três dimensões e protótipos como um carro, camião ou avião em tempo real para toda a turma. Como muitas crianças utilizam muito do seu tempo a jogar videojogos, este sistema é muito apelativo para eles pois é algo que gostam de fazer. De acordo com o mesmo autor, foi realizada uma experiência com 54 alunos de 3 escolas diferentes em Portugal e os resultados indicaram que o sistema SMART ajudou no aumento da motivação nos estudantes e teve um impacto positivo na sua aprendizagem, especialmente nos alunos com mais dificuldades.



*Figura 15- Imagens que podem ser vistas neste sistema SMART utilizando raquetes que servem de rastreadores. (Freitas 2015)*

Na educação mais avançada como no secundário ou na universidade também é possível verificar que a RA é uma ferramenta útil e pode melhorar o seu conhecimento e destreza especialmente em teorias complexas e alguns mecanismos. Por exemplo, Liarokapis et al. (2004), demonstrou que a RA consegue tornar mecanismos e teorias complicadas em matérias mais simples e com maior aceitação e compreensão pelos estudantes interligados com a tecnologia. O mesmo autor mostrou uma visão de RA com um estudante a examinar um modelo 3D de um eixo de comando de válvulas interligado com um modelo real das componentes de um motor.

Existem diferentes matérias onde a RA pode ser aplicada tais como:

- **Astronomia aumentada:** Na disciplina de astronomia os estudantes aprendem a relação entre a terra e o sol. Para os estudantes compreenderem melhor os professores podem implementar a tecnologia RA de forma a renderizar a terra e o sol. Shelton e Hedley

(2004) fizeram um estudo onde manipulavam com as mãos um sol e uma terra virtual onde conseguiam mudar a orientação de acordo com a perspectiva do estudante. Este consegue controlar o ângulo de visão de forma a compreender certos elementos que não se conseguem ver com aqueles que já foram vistos previamente. Outro exemplo da aplicação da RA na astronomia, é o “Google’s SkyMap” (Johnson et al., 2010) que é uma aplicação que utiliza a tecnologia RA. Esta aplicação coloca a informação acerca das estrelas e constelações e permite aos utilizadores, através da câmara do telemóvel, procurarem no céu cada uma dela.



*Figura 16- Imagem retirada da aplicação "Google Skymaps" onde se podem ver, a partir da camara do telemóvel, alguma estrelas e astros do sistema solar.*

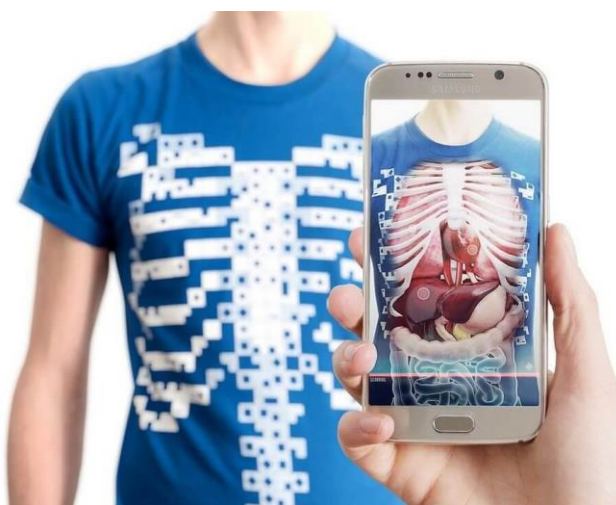
- **Química aumentada:** A química aumentada pode ser uma temática interativa que mostra aos estudantes como e no que é que consiste um átomo e uma molécula através da RA. 3 Elementos são necessários para a execução desta aplicação, um folheto, uma pinça e um cubo. De acordo com Fjeld e Voegtli (2002), os componentes dos folhetos devem ter imagens e nomes. Uma mão consegue navegar no folheto utilizando a pinça que tem um botão e consegue conectar um átomo com um modelo molecular. Os mesmos autores dizem que os utilizadores devem colocar a pinça perto do elemento e



*Figura 17- Exemplo do sistema falado em cima. (Fjeld e Voegtli 2002)*

ao clicar no botão da pinça obter a informação acerca do elemento. Depois os utilizadores movem a pinça para perto do cubo, chamando a plataforma, que tem a molécula. Ao rodar o cubo com a outra mão, o utilizador consegue determinar onde e como é que o elemento se conecta com a molécula.

- **Biologia aumentada:** A RA pode ser utilizada para estudar a anatomia e a estrutura do corpo em biologia. As Escolas Especiais e Academias Trust (SSAT) demonstraram que os professores podem utilizar a RA para mostrar em que consistem os órgãos humanos e como é que eles se parecem ao mostrarem modelos 3D gerados pelo computador nas suas aulas. Os alunos também conseguem, a partir das câmaras dos seus telemóveis e com a informação RA acerca das estruturas biológicas do corpo humano, estudar cada órgão do corpo humano de forma independente.



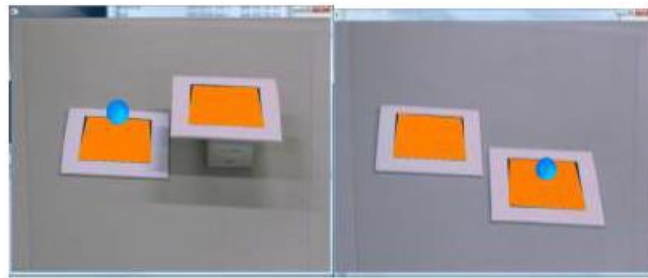
*Figura 18- Aplicação "Virtuali-T" que utiliza uma camisola como rastreador e onde é possível, através de uma camara apontada visualizar o corpo humano por dentro. (Curioscape 2016)*

- **Matemática e geometria:** Com a tecnologia RA, professores e estudantes podem colaborar entre si ao interagirem uns com os outros acerca de alguns problemas com formas e arranjos. De acordo com Kaufmann (2014), uma aplicação RA, chamada Construct3D, foi especialmente desenhada para as disciplinas de matemática e geometria com modelos geométricos a três dimensões. Esta aplicação permite ter vários utilizadores que partilham um ambiente virtual e que conseguem construir formas geométricas colaborativamente ao usarem displays na cabeça para conseguirem ver as imagens virtuais no mundo real. Mais tarde, o mesmo autor, determinou que a RA pode ser usada de uma forma muito dinâmica de várias maneiras. Por exemplo, esta aplicação pode ser usada pelos professores e alunos para perceberem de forma intuitiva alguns aspetos da figura geométrica.



*Figura 19- Exemplo de um estudante a utilizar o "Construct 3D" com os óculos de Realidade Aumentada. (Kaufmann 2014)*

- **Física:** A física é outra área onde a RA pode ser utilizada para demonstrar várias propriedades cinemáticas. Segundo Lee (2012) é possível avaliar um objeto que varia no tempo, com
- o a velocidade e a aceleração. Os resultados reais e estimados podem ser visualizados ao usar técnicas de RA que são mais interessantes do que modelos já existentes de ensino, que permitem uma melhor aprendizagem. A pesquisa de Chae e Ko (2008) demonstrou uma simulação das propriedades físicas ligadas a objetos.



*Figura 20- Exemplo da pesquisa de Chae e Ko (2008) onde tentam, a partir da realidade aumentada, descobrir a distância entre os marcadores.*

### **3.3.2 Realidade Aumentada no design de produto**

A RA não é usada exclusivamente para a arquitetura do produto, mas também para facilitar o desenvolvimento do produto como os carros ou aviões. Por exemplo na indústria automóvel, Ohshima et al. (2006), propôs avaliar o design de um automóvel a partir do interior do seu esqueleto (banco, volante, comandos de bordo). Estar dentro do esqueleto do veículo e utilizar o RA melhora a capacidade para o designer conseguir entender melhor todo o design e conseguir ter uma melhor perceção. O utilizador consegue assim seleccionar diferentes designs e assim escolher aquele que melhor se adequa. Parecido com este processo, Klinker, Dutoit, and Bauer (2002) colocaram um modelo de um carro em RA com diferentes óticas para avaliar no local cada hipótese. Isto oferece a possibilidade de navegar à volta do modelo. Eles enaltecem a necessidade de utilizar a RA no processo de design. Como objetivo eles esperavam baixar a necessidade da utilização de modelos de carros feitos em argila. Regenbrecht, Wagner, and

Baratoff (2002) também tentaram trazer realismo para o design do carro ao integrar a RA com modelos físicos. Klinker et al. (2002) desenvolveram um sistema que consegue comparar o objeto já processado com aquele que está na informação CAD, o que pode ser útil durante o design do produto onde existem vários designs disponíveis que podem levar a uma confusão entre os modelos 3D e os modelos já processados. A RA não serve apenas para este tipo de avaliação. Regenbrecht et al. (2002) usaram um sistema tipo *trolley* para avaliar a funcionalidade de um design. Eles interpretaram a informação do fluxo de ar na cabine de um avião resultante de um design particular visualizado a partir da RA. Também conseguem dar suporte ao cliente a partir da seleção do mesmo de uma cabine do avião. Propõe também a melhoria da funcionalidade, ergonomia e segurança do design de cockpit. O designer tem acesso a ferramentas e comandos virtuais em tamanho real o que permite um desenvolvimento mais eficiente do layout. Noelle (2002) propôs a validação de testes de acidentes através da simulação por RA ao compará-los com testes reais. O objetivo principal é substituir os testes reais por testes simulados para lidar com o ciclo de vida mais curto dos carros. Para além disto, a RA pode ser utilizada para otimizar o design. Por exemplo, Webel and Becker (2007) elevou este conceito ao integrá-lo mais profundamente no processo de design. O design dos sistemas de canalização de um submarino é complexo, tem vários tubos e todos eles têm de ser colocados num espaço restrito. Para além disso os designers são forçados a utilizar modelos para otimizar o layout dos tubos para ocuparem o menor espaço possível. Ao usar a RA, os engenheiros conseguem verificar se o modelo atual está igual ao do design. Este podem fazer uma mudança física ao modelo e integrar essa alteração no CAD através da utilização do RA e assim desenvolver um processo mais eficiente.

A maior parte das aplicações faladas anteriormente são feitas para serem aplicadas em ambientes controlados. Thomas et al. (1999) tenta ultrapassar esta barreira ao propor o uso de HMD combinado com um computador que seja possível transportar para visualizar a informação do design no local alinhando a informação do CAD com o mundo real. Eles apresentam ferramentas para modificar o design e modelar o objeto real que ainda não se encontra na base virtual de dados. Assim que o design de um objeto é validado, a RA pode ser usada para planejar a sua produção. Por exemplo Kamat and Behzadan (2005) desenvolveram um sistema RA para construções civis onde priorizam a animação de modelos 3D. Eles querem verificar resultados de simulações no próprio local antes de implementarem qualquer alteração. RV ajuda a perceber as características do plano, mas não dá a informação em termos contextuais. Adicionalmente a RV tem muita sobrecarga em modelos que não estejam presentes na informação do CAD. Estes autores demonstram que o sistema deles consegue simular a construção de uma ponte e verificar o plano no seu sítio real depois de concebido.

No processo industrial também é dada muita importância à configuração da fábrica quando um novo produto precisa de ser produzido. O primeiro autor a demonstrar um planeamento do design da planta de fábrica foi Bichsel (1999). Os designers sentaram-se à volta de uma mesa

com uma visão virtual de uma planta que estava a ser construída sobre objetos reais. Uma perspectiva completa do mundo virtual está acessível num display adicional. Os designers conseguem selecionar um objeto para mudar a sua posição ou até mesmo apagá-lo. Podem também alterar o ponto de vista. Isto oferece uma experiência mais imersiva e colaborativa no sistema do mundo virtual. Matysczok (2002) propôs não só a montagem de modelos 3D utilizando a RA mas também considerou juntar algum conhecimento sobre a planta e por cada componente a distância máxima e mínima requerida para cada módulo. As componentes que necessitam de ser posicionadas são materializadas por marcadores que os designers conseguem manipular para criar um design correto. O design da planta criado pode ser testado na simulação da produção de forma a verificar a eficiência.

Para o posicionamento de componentes e sistemas na nova fábrica, Siltanen et al. (2007), deram a ideia de usar um processo iterativo onde um operador do chão de fábrica requisitava uma alteração que pensava ser a que melhor se adequava. Este pedido era gerado pelo chão de fábrica e seguia para a equipa de design. Ao usar a RA sobre a planta atual e a alteração proposta, o operador consegue avaliar as duas. Isto pode levar a uma validação do design proposto e a uma implementação do mesmo de forma a obter uma planta ótima. Este método permite ao operador de fábrica comunicar a partir do sítio onde se sente mais à vontade, o chão de fábrica. Ele consegue explicar diretamente os seus pedidos ao mostrar a realidade da fábrica para o designer e explicar claramente os problemas que encontra no local.

Quando novos produtos necessitam de ser produzidos no layout atual, este necessita de ser revisto para se saber se é possível executar alguma alteração para a concessão do novo produto.

Pentenrieder (2007) introduziu métodos para planear a melhoria da fábrica não só num sistema RV mas também na planta atual. Eles esperam validar o planeamento de forma mais rápida, melhorar a qualidade de informação e evitar conflitos entre novos componentes e os que já se encontram instalados. O mesmo autor, para reduzir erros no planeamento de fábrica, criar um modelo no sistema CAD da planta atual. Eles descobriram que a maioria da informação contida no CAD não era correta comparada com aquela que existia no terreno porque era de extrema complexidade sincronizar os dados contidos no modelo CAD com os da planta. Focaram o seu trabalho em alinhar o modelo CAD com a realidade para oferecer uma maior precisão da RA aos designers. Após várias iterações do seu sistema chegaram à conclusão de que a RA a partir das fotografias seria o mais adequado pois é a técnica mais acessível para os designers da planta. No seu sistema chamado "ROIVIS" oferecem medidas precisas e a comparação entre a planta atual e a planta atualizada. Existe uma documentação que é fácil de compreender ao guardar cópias das imagens vistas a partir da RA que podem ser usadas posteriormente para informar acerca da aceitação ou não do design. (Fite-georgel, 2009)

### 3.3.3 Realidade Aumentada na produção

Quando o design do produto é finalizado, a produção pode começar. A RA é então utilizada nos processos de montagem e na formação do operador para produzir um novo produto. Fitegeorgel (2009)

Segundo os mesmos autores, quando desenvolveram a primeira aplicação RA tentaram oferecer suporte à montagem utilizando um display capaz de se ver através dele. O sistema foi inicialmente proposto para reduzir a necessidade de stock para as placas de espuma. Estas placas eram usadas em tamanho real para guiar o operador enquanto preparam os conjuntos de placas. Cada conjunto necessita de placas diferentes. Ao utilizar a RA conseguem substituir a necessidade de placas específicas ao colocarem informações específicas em cada conjunto para utilizarem uma placa genérica. Este sistema reduz a necessidade de stock de placas específicas e aumenta a rapidez do operador para completar a tarefa. Regenbrecht et al. (2002) também propuseram o uso da RA para a montagem de objetos customizáveis. O sistema permite aos clientes customizar a montagem do sistema de fusíveis de caminhões. Isto faz com que cada caminhão seja único. Também permitem aos operadores seguir instruções específicas do modelo através da RA. Isto simplifica o fluxo de trabalho na montagem pois não necessitam de seguir instruções manualmente que estão escritas em papel e podem seguir diretamente as instruções olhando para o modelo.

A RA também é utilizada no processo de montagem de grandes superfícies tais como as centrais elétricas. Webster et al. (1996) usaram um sistema RA para ajudar na construção. Ao usar a RA consegue uma visão raio x capaz de visualizar estruturas escondidas tais como tubos que estejam dentro de paredes que não devem ser danificadas. Fujiwara e Onda (2000) propuseram um sistema RA que mostra linhas virtuais no display que dá ao construtor, informações adicionais que o ajudam a completar a sua tarefa. A necessidade da operação remota é justificada se o local de construção é arriscado, no caso deles, um vulcão ativo.

A RA pode ser utilizada para substituir os manuais de instruções em papel que ajudam nos processos de montagem. O desenvolvimento destes sistemas é justificado porque a ciclo de vida dos produtos está constantemente a diminuir. Todas as mudanças na linha de produção fazem com que os trabalhadores sejam mais flexíveis na produção de novos modelos. Fitegeorgel (2009)

Por exemplo, Raghavan, Molineros, e Sharma (1999) fizeram um apanhado da aplicabilidade da RA para processos de montagem. Eles oferecem instruções passo a passo para o operador. Ao avaliarem o estado atual da montagem eles conseguem oferecer a informação mais correto para o trabalhador. O processo de construção é modulado num gráfico de estado que representa a evolução da montagem do objeto. Ao estudar este gráfico é possível para eles determinar quando é que o trabalhador realiza um passo que o bloqueia na finalização da construção. Ao

usar esta técnica, conseguem avaliar qual o melhor conjunto de instruções para encontrarem as mais viáveis e ótimas. Para a mesma tarefa, Haller, Brandl, e Hartmann (2006) propuseram um sistema de controlo onde as instruções são mostradas em displays e explicam cada passo da montagem. Cada objeto pode ser detetado pelo sistema e quando peças são combinadas formam um novo objeto com as suas próprias instruções.

### 3.3.4 Realidade Aumentada na manutenção

Muitas soluções foram desenvolvidas ao longo do tempo para ajudar na manutenção nas unidades fabris, por exemplo, dispositivos de controlo remoto, centrais de energia, aviões, carros.

Feiner, Macintyre, and Seligmann (1993), mostraram a primeira operação de manutenção e reparação utilizando a RA. O sistema KARMA (*Knowledge-based AR for Maintenance Assistance*) guia graficamente o utilizador para reparar uma impressora. O sistema permite ao utilizador realizar uma tarefa ao seguir os métodos apresentados no display. Por cada passo da tarefa já concluído é apresentado no display o próximo passo a realizar.

Para executar uma tarefa de manutenção complexa é comumente utilizada documentação em papel para servir como guia mesmo não sendo o método mais produtivo. Fite-georgel (2009) Neumann and Majoros (1998) propuseram um sistema TI que dá suporte ao operador na manutenção do circuito de uma aeronave com recurso a RA. Este sistema de RA dá informação ao trabalhador como a parte da operação em que está. Também consegue mostrar objetos escondidos. Eles testaram o seu sistema ao usar um modelo da aeronave e demonstraram a que a RA é muito atrativa como uma tecnologia de informação.

Para a inspeção de um sistema de distribuição de água, Stuart Goose et al. (2004) desenvolveram um sistema de voz utilizando a RA. O operador consegue manipular o sistema ao utilizar comandos de voz. O operador ao executar uma tarefa de manutenção, é ajudado por um PDA que consegue saber a sua localização. Esta localização serve para o sistema conseguir iniciar uma visualização aumentada do local atual ao mostrar um modelo virtual que dispõe da capacidade de ser manipulada através da voz. Por exemplo, é possível, através da voz perguntar qual é a pressão de uma válvula que faz com que esta inicie uma consulta no software de gestão para saber o estado atual da fábrica. A combinação da interação simples com a integração do sistema TI é muito benéfica para o trabalhador pois tem a informação constante e rapidamente acessível.

Os sistemas de manutenção de RA podem reduzir a distância entre os softwares de diagnóstico e a documentação de avarias porque, enquanto ajuda o operador a executar a sua tarefa consegue documentar o procedimento, que é claramente benéfico para o trabalhador.

### 3.3.5 Realidade Aumentada na validação e documentação da produção

O controlo da qualidade é feito para pequenos produtos assim como para sistemas mais abrangentes. Fite-georgel (2009)

Klinker et al.(2001) introduziram um sistema de RA para o ramo da construção. Ao utilizar o sistema proposto eram capazes de visualizar alguma mudança no design e eram capazes de verificar se estava tudo contruído corretamente.

Navab et al. (1999) propuseram criar documentação enquanto o edifício está a ser construído, a chamada, documentação “*as-built*”. Ao fazer esta documentação é possível simplificar o planeamento da manutenção e execução quando um modelo 3D é pedido e este seja um plano realista. Eles desenvolveram um software chamado “*Cyclone*” onde registam desenhos industriais e imagens de cada perspetiva. Há algumas décadas atrás o desenho à mão eram os únicos documentos usados durante o ciclo de vida do edifício para o design e desmantelamento. Eles criaram uma melhor documentação da planta onde associavam as imagens, links onde se encontravam os desenhos inerentes aos mesmos e assim associar o estado do inventário e eventos de manutenção já realizados. Chamaram a este tipo de manutenção, “a Fábrica Transparente”. Esta solução não foca só os mapas do chão de fábrica, mas também abrange os sistemas de cabelagem e o layout da fábrica. Isto dá ao utilizador uma grande vantagem financeira em relação ao controlo da qualidade.

Ao seguir este conceito de “Fábrica Transparente” Pierre Fite Georgel et al. (2009) propuseram verificar através da RA as diferenças entre a planta e o modelo 3D criado em CAD. Estas diferenças ao existirem podem ser criadas por instruções que estejam já ultrapassadas, incompatibilidade no plano e erros humanos. Eles propõem alinhar imagens de alta resolução da planta com o modelo CAD. Criam interações entre o utilizador e o modelo que são capazes de mostrar e documentar alguma diferenças entre a planta e o modelo. Esta solução permite, no caso, ao engenheiro civil verificar alguma anomalia na construção e atualizar a documentação em tempo real de forma informática.

## 3.4 Potenciais problemas da Realidade Aumentada

Como em todas as tecnologias, existem sempre alguns problemas que podem ser levantados com a aplicação e uso da Realidade Aumentada.

De acordo com Nee et al. (2012) as aplicações de produção e design necessitam uma grande precisão e exatidão na captura da informação a partir da RA. Os sistemas RA utilizados na rua usam uma variedade de sensores de rastreamento que em conjunto podem ter algumas falhas de precisão e exatidão, mas normalmente para essas aplicações “*outdoor*” não é necessário um

alto nível de precisão. Já em relação à produção e design as atividades com a RA são normalmente feitas dentro de portas e o GPS não é aplicado. São sim usados sistemas de posição e de orientação.

Outro dos problemas da RA é o posicionamento dos objetos virtuais com a orientação correta no espaço real. Isto pode ser chamado de registo que é um tópico difícil e no qual ainda é feita muita pesquisa. Como existem diferentes métodos de rastreamento existem também erros inerentes a esses métodos. É necessário escolher o melhor método de rastreamento para cada aplicação pois este pode ser exposto a fraca iluminação, objetos que se movem, etc. Nee et al. (2012)

O primeiro tipo de erro que aparece no registo são os erros estáticos que advêm da pouca exatidão dos sensores, da posição dos sensores e do registo incorreto de algoritmos. (Kamat, 2010) Este tipo de erros pode ser eliminado facilmente com a aquisição de sensores mais precisos e com o alinhamento preciso destes sensores.

O segundo tipo de erros de registo são os erros dinâmicos que são menos previsíveis pois devem-se a problemas de atraso entre a informação contida na nuvem e a retirada dos dispositivos no terreno. Nee et al. (2012)

Também podem existir problemas relacionados com o utilizador pois todas as pessoas são diferentes e podem ter uma percepção diferente do mesmo conteúdo da RA. Estas diferenças podem requerer alguma alteração de como a informação é apresentada como por exemplo, com ícones ou texto. Estas diferenças podem ser a habilidade do utilizador para perceber o detalhe, a capacidade de distinguir as cores e de diferenciar os objetos no espaço. Linn et al. (2012)



## 4. Caso prático

Neste capítulo será apresentado um caso prático onde é desenvolvida uma aplicação com o objetivo de apresentar um exemplo prático de aplicação Realidade Aumentada na área do ensino pré-escolar.

### 4.1 Características do caso prático

No caso prático propõe-se desenvolver uma aplicação onde se mostram algumas potencialidades da RA. Ao mostrar meios de transporte através de um telemóvel, tablet ou de óculos de RA o utilizador pode indicar um dos objetos e o sistema vocaliza o nome. A ideia para esta aplicação surgiu do sistema SMART que foi pensado por Freitas,( 2015). Esta aplicação tem como público alvo os mais novos e pretende que eles aprendam os meios de transporte de forma didática e com algo que seja de fácil.

Serão apresentados seis meios de transporte, o carro, a mota, o autocarro, o barco, o comboio e o avião. A escolha dos meios de transporte foi aleatória.

Deste modo, para a realização da aplicação, foi usada o software “Unity” onde é possível associar imagens com objetos 3D pré-criados. Para esta associação funcionar foi necessário utilizar o “Vuforia” que é uma plataforma para o desenvolvimento da Realidade Aumentada e que permite inserir as imagens que vão servir como rastreadores.



*Figura 21- Exemplo de uma imagem utilizada na aplicação onde conseguimos ver pontos amarelos que são os pontos onde a camera utilizada vai associar ao modelo 3D ao usar a Realidade Aumentada.*

Depois de colocar as imagens na plataforma, é necessário colocar a base de dados do Vuforia no software Unity. Este procedimento faz-se com recurso a uma chave que é facultada no Vuforia e que faz a associação dos dois.

As imagens utilizadas para a execução deste projeto foram as seguintes:



Figura 22- Imagens utilizadas como rastreadores na aplicação de Realidade Aumentada.

Depois de passar por este processo foram associados modelos 3D para cada uma das imagens. Esses modelos 3D são chamados de *assets* e foram todos retirados da própria loja do Unity. Todos eles são *assets* grátis e de livre acesso.

Feita a associação das imagens com os modelos foi associado um botão virtual que quando pressionado virtualmente fosse capaz de reproduzir o nome de cada um dos meios de transporte. Para o efeito foi usado como software de programação o “Visual Studio 2017” que permite escrever linhas de código e criar um “*script*” que comande o botão e que faça a associação do som ao botão quando pressionado. De seguida é apresentado o código utilizado e será explicado cada parte do código para compreensão do leitor.

```
1 using System;
2 using System.Collections;
3 using System.Collections.Generic;
4 using UnityEngine;
5 using Vuforia;
```

Figura 23- Estas primeiras linhas de código servem para saber quais as livrarias que vão ser utilizadas no código.

```
7 public class ButtonBehaviour : MonoBehaviour, IVirtualButtonEventHandler
8 {
9
10     public GameObject button;
11     public AudioSource audioSource;
```

Figura 24- Aqui podemos encontrar as variáveis públicas que permitem adicionar no editor quais serão os objetos a utilizar no script.

```

14 private void Awake()
15 {
16     if (Debug.isDebugBuild) Debug.LogWarning("WOKE");
17 }
18
19 void Start()
20 {

```

*Figura 25-Esta secção serve apenas para saber se o script está a ser chamado no início da aplicação.*

```

22     if (button == null)
23     {
24         throw new Exception(" Script [ButtonBehaviour] sem botão definido");
25     }
26
27     if (audioSource == null || audioSource.clip == null)
28     {
29         throw new Exception("Script [ButtonBehaviour] sem audioSource ou audioSource sem clip associado");
30     }
31

```

*Figura 26-Esta secção vai apenas servir para dar erros caso esteja algo em falta, pode vir a ser útil quando o script está a ser chamado em múltiplos objetos.*

```

34         button.GetComponent<VirtualButtonBehaviour>().RegisterEventHandler(this);
35     }
36

```

*Figura 27-Caso o botão exista procura o componente VirtualButtonBehaviour e regista este script como o responsável por lidar com os eventos de clique.*

```

42     public void OnButtonPressed(VirtualButtonBehaviour vb)
43     {
44         if (Debug.isDebugBuild) Debug.LogWarning("PRESSED");
45
46         audioSource.Play();
47     }

```

*Figura 28-Função que é chamada quando o botão é pressionado (Chamado pelo VirtualButtonBehaviour) e de seguida pede à fonte de som para tocar o que lhe tem associado.*

```

50     public void OnButtonReleased(VirtualButtonBehaviour vb)
51     {
52         if (Debug.isDebugBuild) Debug.LogWarning("RELEASED");

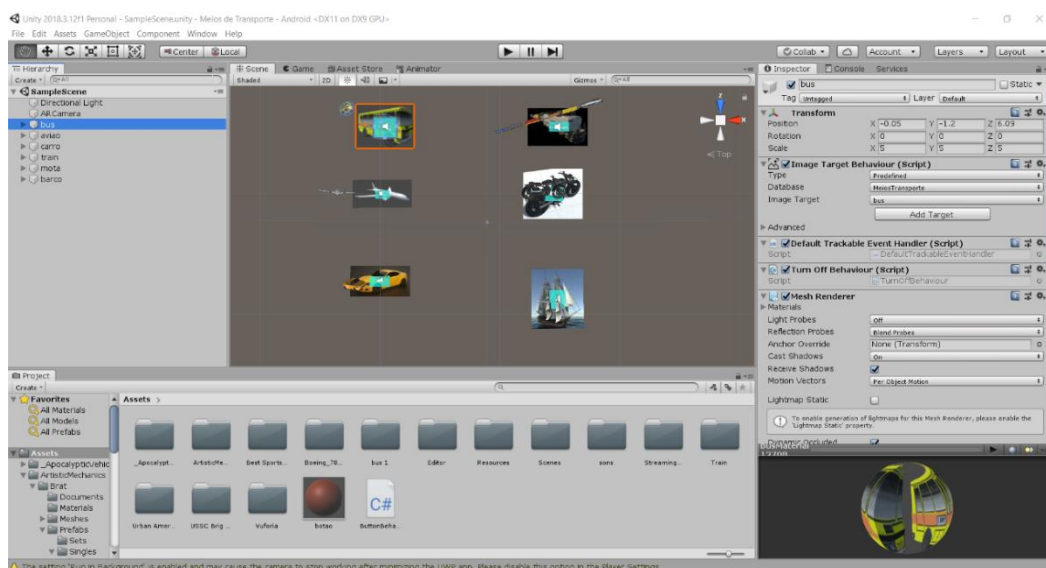
```

*Figura 29-Função que é chamada quando o botão é libertado.*

De notar que os números das linhas de código em falta são aqueles onde existem comentários feitos no próprio código que servem como orientação no mesmo.

Ao utilizar este código, é então possível fazer a associação do som a cada uma das imagens. O som foi criado de raiz.

Feito isto toda a aplicação está pronta a utilizar. a figura 30 apresenta a interface do programa concluído:



*Figura 30-Imagem do Unity já com o programa completo.*

## 4.2 Discussão do caso prático

Como referido anteriormente, esta aplicação serve para demonstrar umas das aplicações possíveis da Realidade Aumentada nomeadamente na parte do ensino. No desenvolvimento desta aplicação pode-se perceber que para executar este tipo de trabalho é necessário ter conhecimento ao nível da programação para conseguir associar alguns elementos que tornam a aplicação mais completa. Com o tema escolhido foi possível perceber que a RA facultava uma maneira diferente de ver a realidade, neste caso, para os mais jovens tornando a aprendizagem mais interessante e mais interativa.

Um dos principais problemas que se pode encontrar aquando da execução da aplicação é a qualidade das imagens escolhidas para servirem de rastreadores. Para haver qualidade na RA é necessário que as imagens tenham bastantes pontos de referência para que, mesmo sem haver condições ideais, seja possível utilizar a aplicação. Também é preciso que a qualidade da câmara seja boa para que consiga definir os pontos da imagem que servem de guia para mostrar ao utilizador, de forma inequívoca, os modelos que foram definidos.

Se todos os requisitos forem cumpridos é possível criar um ambiente de RA com bastante facilidade e com muitas aplicabilidades.

## 5. Conclusões

Neste capítulo final serão apresentadas as principais conclusões desta dissertação onde se apresentam propostas de trabalhos futuros.

### 5.1 Principais conclusões

Ao longo de toda a dissertação consegue-se perceber que a Indústria 4.0 é um termo que vai ser utilizado nos próximos anos na indústria. Definem-se estratégias e objetivos para conseguir ser implementada e são identificadas as áreas de foco, nomeadamente, a padronização, controlo de sistemas complexos, infraestrutura de banda larga para a indústria, segurança, organização do trabalho e design do posto de trabalho, formação, condições legais de enquadramento e eficiência de recursos.

Também se consegue perceber que trará benefícios para a Indústria e, por consequência, também alguns desafios em diferentes áreas como as redes inteligentes, a mobilidade a flexibilidade e interoperabilidade, a integração dos clientes e os modelos de negócio. Foram apresentados os conceitos fundamentais tais como a fábrica inteligente, os CPS, a auto-organização, os novos sistemas no desenvolvimento de produtos e serviços, os novos sistemas na distribuição e compras, a adaptação à necessidade humana e a responsabilidade social e de que forma é que estes interferem em cada secção da indústria. Com a apresentação de diferentes tecnologias associadas à I4.0 que fazem a interface entre o homem/máquina é possível dizer que as áreas supramencionadas podem atuar de forma bastante compatível com o meio industrial.

Com base nestas tecnologias, estudou-se a Realidade Aumentada, do que se trata, da sua história, das suas aplicações, nomeadamente, na educação/formação, no design do produto, na produção, na manutenção e na validação e documentação da produção.

Foram abordados os benefícios e alguns problemas que esta tecnologia pode trazer. Foi possível perceber, que esta é uma tecnologia que se aplica a vários setores, não só na indústria, mas também no setor da educação/formação sendo assim uma mais valia para quem a utilizar, pois consegue fazer com que o mundo virtual se alie ao mundo real ao mesmo tempo. É como se fosse o meio termo entre a realidade virtual e o mundo real. (R. T. Azuma, 1997)

O desenvolvimento prático apresentado permite afirmar que a RA não é uma tecnologia muito complexa e que com algum conhecimento de CAD, de programação e de processamento de imagem é possível criar uma aplicação simples e com utilidade. Neste caso foi desenvolvido um sistema que permite aos mais novos aprenderem e interagirem com os meios de transporte de uma forma diferente, através da RA.

Todos os objetivos propostos foram atingidos e foi adquirido conhecimento acerca da Realidade Aumentada e de que forma é que isso afeta a indústria e a educação/formação.

## **5.2 Propostas de trabalhos futuros**

Sendo o tema da Realidade Aumentada um tema atual e com múltiplas aplicações é recomendável que sejam testadas outras formas de aplicação. Sugere-se que seja feito um estudo de que forma é que a RA pode ser um auxiliar cognitivo para o trabalhador na indústria. Também pode ser um assunto importante abordar a necessidade cognitiva que o utilizador necessita ter para conseguir utilizar e perceber a RA dependendo das temáticas onde é utilizada. No desenvolvimento desta dissertação foi possível ver que estes são alguns temas recentes e pertinentes.

## Referências bibliográficas

- Azuma, R., Behringer, R., Feiner, S., Julier, S., & Macintyre, B. (2001). Recent Advances in, (December).
- Azuma, R. T. (1997). Survey of Augmented Reality, 355-385.
- Barreto, L., Amaral, A., Santana, A., Afonso, P., Zanin, A., & Wernke, R. (2017). Network and information security challenges within Industry Costing models for T . capacity Pereira optimization and operational efficiency Escola Superior between Network and information security challenges within Industry 4 . 0. *Procedia Manufacturing*, 13, 1253-1260. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.047>
- Bhattacharjee, A. (2012). *Introduction to Research, Social Science Research: Principles, Methods, and Practices. Pure and Applied Chemistry*. <https://doi.org/10.1351/pac198961091657>
- Bichsel, M. (1999). BUILD-IT : A Planning Tool for Construction and Design, (October), 1-3. <https://doi.org/10.1145/286498.286657>
- Carmigniani, J., Furht, B., & Anisetti, M. (2011). Augmented reality technologies , systems and applications, 341-377. <https://doi.org/10.1007/s11042-010-0660-6>
- Chae, C., & Ko, K. (2008). Introduction of Physics Simulation in Augmented Reality, 37-40. <https://doi.org/10.1109/ISUVR.2008.17>
- Feiner, S., Macintyre, B., & Seligmann, D. (1993). Knowledge based augmented reality.
- Fite-georgel, P. (2009). Is there a Reality in Industrial Augmented Reality ?
- Fjeld, M., & Voegtli, B. M. (2002). Augmented Chemistry : An Interactive Educational Workbench, (Mmi), 1-2.
- Flemming, S. (2016). Implementation, (January).
- Freitas, R. (2015). SMART : A System of Augmented Reality for Teaching 2nd Grade Students SMART : a System of Augmented Reality for Teaching 2 nd Grade Students, (January 2008). <https://doi.org/10.1145/1531826.1531834>
- Fujiwara, N., & Onda, T. (2000). Virtual Property Lines Drawing on the Monitor for Observation of Unmanned Dam Construction Site, 101-104.

- Geisberger, E., & Broy, M. (2012). acatech STUDIE.
- Gil, A. C. (2009). *Métodos e técnicas de pesquisa social. Journal Of The American Medical Association* (Vol. 264). <https://doi.org/10.1590/S1517-97022003000100005>
- Haller, M., Brandl, A., & Hartmann, W. (2006). Authoring of a Mixed Reality Assembly Instructor for Hierarchical Structures.
- InSA. (2019). No Title. Retrieved May 30, 2019, from <http://www.insa-projekt.de/>
- Johnson, L., Levine, A., Smith, R., & Stone, S. (2010). *The 2010 Horizon Report. New Media Consortium. 6101 West Courtyard Drive Building One Suite 100, Austin, TX 78730. Horizon.* <https://doi.org/10.1227/01.NEU.0000280154.19237.36>
- Kamat, V. R. (2010). ROBUST MOBILE COMPUTING FRAMEWORK FOR VISUALIZATION OF, 3111-3122.
- Kamat, V. R., & Behzadan. (2005). Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, eds., 1914-1920.
- Kaufmann, H. (2014). Dynamic Differential Geometry in Education, (January 2009).
- Klinker, G., Dutoit, A. H., & Bauer, M. (2002). Fata Morgana - a presentation system for product design Fata Morgana - A Presentation System for Product Design, (February). <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2002.1115076>
- Klinker, G., Stricker, D., & Reiners, D. (2001). Augmented Reality for Exterior Construction Applications 1 Introduction, (1).
- Lasi, D. H., & Kemper, P. D. H.-G. (2014). Industry 4.0. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Lee, K. (2012). Augmented Reality in Education and Training. *Journal of Organic Chemistry*, 63(13), 4240-4247. <https://doi.org/10.1021/jo971990i>
- Liarokapis, F., Mourkoussis, N., White, M., Darcy, J., Sifniotis, M., Petridis, P., ... Lister, P. F. (2004). Web3D and augmented reality to support engineering education Web3D and augmented reality to support engineering education, (January).
- Linn, M. C., Petersen, A. C., Linn, M. C., & Petersen, A. C. (2012). Emergence and Characterization of Sex Differences in Spatial Ability : A Meta-Analysis, 56(6), 1479-1498.

- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Lucke, D., Constantinescu, C., & Westkämper, E. (n.d.). Smart Factory - A Step towards the Next Generation of Manufacturing, (Sfb 627), 115-118.
- Lukac, D. (2016). 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>
- Matysczok, C. (2002). Designing Flexible Manufacturing Systems with Augmented Reality, 3-5.
- Mishra, M. (2019). No Title. Retrieved from <https://medium.com/@manasim.letsnurture/rise-of-wearables-and-future-of-wearable-technology-1a4e38a2fbb6>
- Nee, A. Y. C., Ong, S. K., Chrysolouris, G., & Mourtzis, D. (2012). CIRP Annals - Manufacturing Technology Augmented reality applications in design and manufacturing. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 61(2), 657-679. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2012.05.010>
- Neumann, U., & Majoros, A. (1998). Cognitive , Performance , and Systems Issues for Augmented Reality Applications in Manufacturing and Maintenance.
- Noelle, S. (2002). “ Stereo Augmentation of Simulation Results on a Projection Wall by Combining two Basic ARVIKA Systems ,” 2-4.
- Oesterreich, T. D., & Teuteberg, F. (2016). Computers in Industry Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4 . 0 : A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. *Computers in Industry*, 83, 121-139. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006>
- Ohshima, T., Kuroki, T., Yamamoto, H., & Tamura, H. (2006). A Mixed Reality System with Visual and Tangible Interaction Capability – Application to Evaluating Automobile Interior Design –, 3-4.
- Pentenrieder, K. (2007). Augmented Reality-based factory planning - an application tailored to industrial needs.
- Pierre Fite Georgel, Pierre Schroeder, and N. N. (2009). Augmented CAD Models, 65-73.

- Raghavan, V., Molineros, J., & Sharma, R. (1999). Sequences Using Augmented Reality, *15*(3), 435-449.
- Regenbrecht, H. T., Wagner, M. T., & Baratoff, G. (2002). MagicMeeting - a Collaborative Tangible Augmented Reality System, *6*(3).
- Romero, D., Stahre, J., Wuest, T., & Noran, O. (2016). Towards an Operator 4.0 Typology : A Human-Centric Perspective on the Fourth Industrial Revolution Technologies, (October), 0-11.
- Shelton, B. E., & Hedley, N. R. (2004). Exploring a Cognitive Basis for Learning Spatial Relationships with Augmented Reality, *1*(4).
- Siltanen, P., Karhela, T., Woodward, C., & Savioja, P. (2007). Augmented Reality for Plant Lifecycle Management, (January).
- Silva, E. L. da, & Menezes, E. M. (2005). *Metodologia de pesquisa e elaboração de teses e dissertações*. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/1Pet7RZgGMBEQfSbyLMpOHqQHvtGd-OKL/view>
- Sony, P. (2019). No Title. Retrieved from <http://s2.glbimg.com/CSztkxsp8nFYsFiD0FvBquMKGU4=/s.glbimg.com/jo/g1/f/original/2016/06/15/playstationvr.jpg>
- Stuart Goose, Sinem Güvent, Xiang Zhang, Sandra Sudarsky, N. N. (2004). PARIS : FUSING VISION-BASED LOCATION TRACKING WITH STANDARDS-BASED 3D VISUALIZATION AND SPEECH INTERACTION ON A PDA Stuart Goose , Sinem Güven †, Xiang Zhang , Sandra Sudarsky , Nassir Navab.
- Thomas, B., Piekarski, W., Gunther, B., & Lakes, M. (1999). Using Augmented Reality to Visualise Architecture Designs in an Outdoor Environment Advanced Computing Research Centre University of South Australia 2 Using a Mobile Augmented Reality Platform, (C).
- Venn, H. W. van de. (2016). Robo-Mate, 1-2.
- Webel, S., & Becker, M. (2007). Identifying differences between CAD and physical mock-ups using AR, 0-1.
- Webster, A., Feiner, S., Macintyre, B., Massie, W., & Krueger, T. (1996). Augmented Reality in Architectural Construction , Inspection , and Renovation, 1-7.

Wuest, T., & Irgens, C. (2014). POST-PRINT VERSION The final publication is available at Springer via An approach to monitoring quality in manufacturing using supervised machine learning on product state data, (September). <https://doi.org/10.1007/s10845-013-0761-y>

Zukunft, D., & Industrie, A. (2013). Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt, (April).

