



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Aplicação da Realidade Mista na Aprendizagem em Unidades Industriais – Learning Factory

Pedro Alexandre Loureiro Nogueira

Dissertação

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de
Professor Doutor José Luís Henriques da Silva
Professor Doutor Paulo Joaquim Antunes Vaz

Dezembro de 2022



**Politécnico
de Viseu**

Escola Superior
de Tecnologia
e Gestão de Viseu

Aplicação da Realidade Mista na Aprendizagem em Unidades Industriais – Learning Factory

Pedro Alexandre Loureiro Nogueira

Dissertação

Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial

Trabalho efetuado sob a orientação de

Professor Doutor José Luís Henriques da Silva
Professor Doutor Paulo Joaquim Antunes Vaz

Dezembro de 2022

AGRADECIMENTOS

Com a presente dissertação, encerra-se mais um ciclo de estudos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial. Não podendo deixar de agradecer a todos, que de uma forma ou de outra, contribuíram com as suas dicas e conhecimento durante o meu percurso.

Em primeiro lugar, quero agradecer aos meus orientadores Professor Doutor José Luís Henriques da Silva e Professor Doutor Paulo Joaquim Antunes Vaz que sempre se mostraram disponíveis e me acompanharam ao longo do último ano.

Aos meus pais e à minha irmã, que estiveram comigo desde o primeiro dia, que sempre acreditaram e me incentivaram a não desistir durante todo o trajeto académico.

Por último, agradeço aos restantes docentes, colegas e amigos com os quais me cruzei ao longo da licenciatura e do mestrado.

RESUMO

O aparecimento da Indústria 4.0 veio apresentar novos sistemas inteligentes, com capacidade de comunicar, que estão diretamente ligados ao crescimento dentro das empresas. Ao longo da história, a indústria já passou por diferentes revoluções, desde a 1ª Revolução até a atual 4ª Revolução. Com o avanço da tecnologia, tem sido implementada uma abordagem denominada *Learning Factory* (LF), que relaciona os conceitos de “aprendizagem” e “fábrica” e que surge para revolucionar os processos de aprendizagem nas várias áreas da indústria.

O aumento da complexidade de processos dentro das empresas levou ao aparecimento de algumas limitações nas capacidades e competências dos colaboradores, reduzindo assim o seu potencial de trabalho. A transmissão de conhecimento deixou de ser um processo de aprendizagem tradicional para ser uma aprendizagem assistida por tecnologia como *E-learning*, videoconferência ou aulas virtuais. Ferramentas como Realidade Virtual, Realidade Aumentada ou Realidade Mista são tecnologias largamente desenvolvidas que podem funcionar como ferramentas de apoio nos novos processos de aprendizagem.

O objetivo deste trabalho foi o de testar a utilização da Realidade Mista como ferramenta de apoio num setor de uma linha de montagem. Foi desenvolvido, em bancada didática, o processo de montagem de um cilindro pneumático de modelo C95SDB32-25 com recurso aos óculos de realidade mista da *Microsoft HoloLens 2*.

Posteriormente, com a recolha dos dados armazenados pelos *smart glasses* foi possível desenvolver um relatório com os tempos produtivos e analisar os dados de forma a implementar alterações ao processo de montagem para a obtenção de uma melhoria de resultados.

Por último, foi desenvolvida uma aplicação de gestão de stock, para que o operador possa consultar o stock que tem disponível e dar entrada ou saída de peças produzidas.

ABSTRACT

The emergence of Industry 4.0 has introduced new intelligent systems with communication capabilities that are directly linked to growth within companies. Throughout history, industry has gone through different revolutions, from the 1st Revolution to the current 4th Revolution. With the advancement of technology, an approach called Learning Factory (LF) is implemented, which relates the concepts of "learning" and "factory" and emerges to revolutionize the learning processes in the various areas of industry.

The increase in the complexity of processes within companies has led to the appearance of some limitations in the abilities and skills of employees, thus reducing their work potential. The transmission of knowledge is no longer a traditional learning process, but a technology-assisted learning such as E-learning, videoconferencing, or virtual classes. Tools such as Virtual Reality, Augmented Reality or Mixed Reality are widely developed technologies that can function as support tools in the new learning processes.

The objective of the project work was to test the use of Mixed Reality as a support tool in an assembly line sector. The assembly process of a pneumatic cylinder model C95SDB32-25 was developed in a didactic bench using the Microsoft HoloLens 2 mixed reality glasses.

Afterwards, by collecting the data stored by the smart glasses, it was possible to develop a report with the production times and analyze the results in order to implement changes in the assembly process to obtain more advantageous results.

Finally, a stock management application was developed, so that the operator can check the stock he has available and check in or out the parts produced.

PALAVRAS-CHAVE

Indústria 4.0

Realidade Mista

Fábricas de Aprendizagem

Microsoft HoloLens 2

KEY WORDS

Industry 4.0

Mixed Reality

Learning Factory

Microsoft HoloLens 2

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	II
ABSTRACT	IV
PALAVRAS-CHAVE	VI
KEY WORDS	VIII
ÍNDICE GERAL	X
ÍNDICE DE TABELAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	XVI
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 <i>Objetivos e Motivação</i>	2
1.2 <i>Metodologia de Investigação</i>	3
1.3 <i>Estrutura do Trabalho</i>	3
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1 <i>Indústria 4.0</i>	5
2.1.1 <i>Evolução Histórica</i>	5
2.1.2 <i>Tecnologias da Indústria 4.0</i>	7
2.1.3 <i>Metodologia LEAN na Indústria 4.0</i>	10
2.2 <i>Learning Factory</i>	11
2.2.1 <i>Evolução Histórica</i>	12
2.2.2 <i>Morfologia das Learning Factories</i>	14
2.2.3 <i>Aprendizagem Tradicional vs Aprendizagem Moderna</i>	15
2.2.4 <i>Casos de aplicação das Learning Factories</i>	16
2.3 <i>Realidade Mista</i>	20
2.3.1 <i>O que é a Realidade Mista?</i>	20
2.3.2 <i>Realidade Mista vs Realidade Aumentada vs Realidade Virtual</i>	21

2.3.3	<i>Utilização da Realidade Mista no processo de aprendizagem.....</i>	22
3.	SOFTWARES UTILIZADOS.....	24
3.1	<i>Microsoft Dynamics 365 Guides.....</i>	25
3.2	<i>Microsoft Power BI.....</i>	26
3.3	<i>Microsoft Power Apps.....</i>	27
3.4	<i>Microsoft Power Automate</i>	29
4.	CASO PRÁTICO	31
4.1	<i>Cilindro Pneumático C95SDB32-25.....</i>	31
4.2	<i>Modelação 3D do Cilindro C95SDB32-25.....</i>	32
4.3	<i>Seleção da melhor sequência de montagem</i>	37
4.4	<i>Programação do Guia no Dynamics 365 Guides</i>	40
4.5	<i>Montagem em bancada do Cilindro com apoio dos HoloLens 2.....</i>	41
4.6	<i>Microsoft Power BI: Relatórios produtivos.....</i>	43
4.6.1	<i>Monitorização do tempo de processo</i>	43
4.6.2	<i>Controlo de stock em tempo real</i>	44
4.7	<i>Microsoft Power Apps: Desenvolvimento de uma aplicação</i>	46
4.8	<i>Microsoft Power Automate: Fluxograma de automação do processo</i>	48
5.	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	50
5.1	<i>Trabalhos Futuros</i>	52
	REFERÊNCIAS	54
	APÊNDICES	60

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1- Tecnologias da indústria 4.0.....	9
Tabela 2- Power Automate: Tipos de Fluxos	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Evolução da Indústria	7
Figura 2- Tecnologias implementadas na indústria 4.0.....	8
Figura 3- Histórico de documentos publicados sobre Learning Factories	14
Figura 4- Índice CLPI de vários modos de aprendizagem	16
Figura 5- Microsoft HoloLens 2.....	18
Figura 6- Modelo de Smart glasses da Samsung.....	19
Figura 7- Modelo de Smart glasses da Oppo	19
Figura 8- Percurso Realidade – Virtualidade	22
Figura 9- Aplicações da Microsoft Power Platform.....	24
Figura 10- Layout Microsoft Dynamics 365 Guides.....	25
Figura 11- Power BI Desktop, Power Bi Online e Mobile	26
Figura 12- Exemplo de dashboard Power BI: Relatório de Manutenção.....	27
Figura 13- Dashboard de programação Power Apps.....	28
Figura 14- Cilindro Pneumático C95SDB32-25	32
Figura 15- Modelação 3D do Cilindro C95SDB32-25	32
Figura 16- Câmara frontal do cilindro.....	33
Figura 17- Câmara traseira do cilindro.....	33
Figura 18- Cilindro exterior de proteção	34
Figura 19- Conector de ar.....	34
Figura 20- Parafusos de fixação dos pinos	35
Figura 21- Pinos de ligação das câmaras.....	35
Figura 22- Veio principal do cilindro.....	36
Figura 23- Vista explodida do cilindro C95SDB32-25.....	36

Figura 24- Simulação de montagem da Sequência 1	37
Figura 25- Cronometragem da Sequência 1	38
Figura 26- Simulação de montagem da Sequência 2	38
Figura 27- Cronometragem da Sequência 2	39
Figura 28- Simulação de montagem da Sequência 3	39
Figura 29- Cronometragem da Sequência 3	40
Figura 30- Biblioteca de elementos 3D do Microsoft Dynamics 365 Guides.....	40
Figura 31- Código QR para scan da bancada	41
Figura 32- Janela de seleção do modo Operador	41
Figura 33- Scan do QR code da bancada	42
Figura 34- Relatório Microsoft Power Bi: Monitorização do tempo de processo	43
Figura 35- Painel de filtragem do relatório	44
Figura 36- Relatório Microsoft Power Bi: Controlo de stock em tempo real	45
Figura 37- Alerta via email de quebra do stock de peças.....	45
Figura 38- Tela inicial da aplicação	46
Figura 39- Tela "Gestão de Stock" da aplicação	47
Figura 40- Tela "Produção" da aplicação	47
Figura 41- Botão de envio automático de dados do relatório.....	48
Figura 42- Microsoft Power Automate: Fluxograma programado.....	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CIRP CWG	<i>CIRP Collaborative Working Group</i>
CPS	<i>Cyber-Physical Systems</i>
DAAD	<i>Deutscher Akademischer Austauschdiens</i>
GPS	<i>Sistema de Posicionamento Global</i>
IELF	<i>Iniciativa sobre Fábricas Europeias de Aprendizagem</i>
IoT	<i>Internet das Coisas</i>
LF	<i>Learning Factory</i>
LF's	<i>Learning Factories</i>
LPS	<i>Sistemas de Produção Enxuta</i>
NIL	<i>Netzwerk Innovativer Lernfabriken</i>
NSF	<i>National Science Foundation</i>
RM	<i>Realidade Mista</i>
SaaS	<i>Software como Serviço</i>
TI	<i>Tecnologias da Informação</i>
TIC	<i>Tecnologias da Informação e Comunicação</i>
VR	<i>Virtual Reality</i>

1. INTRODUÇÃO

Com a competitividade do mercado, o campo da aprendizagem é um fator preocupante para as empresas, não só pelo tempo que demora, mas também pela dificuldade que têm em transmitir o conhecimento às suas equipas. As competências exigidas aos trabalhadores são cada vez maiores e a maneira como são transmitidas, são fatores que podem ditar o bom funcionamento e o sucesso do negócio. Assim, é importante garantir uma aprendizagem contínua que acompanhe a constante evolução de processos, novos produtos a entrar no mercado, o aparecimento de tecnologias inovadoras ou novas normas e legislações (Veza et al., 2015).

Uma das soluções encontradas para fazer face a estas dificuldades foi a implementação das *Learning Factories* (LF's). Elas têm como objetivo recriar um ambiente de aprendizagem para transmitir as competências aos formandos simulando o ambiente real de produção (Müller-Frommeyer et al., 2017). Para além da simulação de ambientes reais, podem desempenhar o papel de centros de investigação para estudos de futuras soluções inovadoras para a indústria ou ainda serem aplicadas no meio educacional como um novo método de ensino.

Na área da indústria o processo de criação de uma fábrica de aprendizagem é bastante dispendioso. Para a recriação do ambiente real é necessário um grande investimento, não só a nível de tempo, como também monetariamente em equipamentos físicos, maquinaria ou tecnologia de ponta.

Neste trabalho pretendeu-se implementar o conceito de Realidade Mista (RM) como uma tecnologia de ajuda no combate dos custos elevados e na redução de tempo. Durante o processo de aprendizagem, com recurso a equipamentos como *smart glasses*

1. Introdução

que utilizam a RM, será possível recriar esses mesmos ambientes de aprendizagem sobrepondo objetos virtuais ao ambiente real. Todos esses objetos são facilmente manuseados no momento e requerem previamente, a sua programação e disposição no ambiente a que são destinados.

Para a troca de ambientes deixa de ser necessário alterar os equipamentos físicos no local ou recorrer a novos espaços, uma vez que os hologramas podem ser substituídos de forma instantânea.

1.1 Objetivos e Motivação

No âmbito da dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Viseu, foi proposto a utilização da Realidade Mista como ferramenta de apoio na aprendizagem e controlo de tarefas do operador num contexto industrial e a respetiva implementação num caso de estudo.

O principal objetivo foi desenvolver uma investigação sobre como a Realidade Mista está a ser utilizada em processos industriais de produção e verificar se é capaz ou não de melhorar a transmissão do conhecimento nos processos de aprendizagem. Verificar também se em alguns processos produtivos, a utilização da Realidade Mista permite suprimir o processo de aprendizagem.

Com o objetivo principal do projeto definido, foram estipulados os seguintes objetivos específicos:

- Identificar aplicações de sistemas, em contexto industrial, onde poderá ser aplicado a realidade mista como ferramenta de apoio;
- Desenvolver um protótipo que permita realizar as etapas de uma linha de montagem de um produto;
- Aplicação da realidade mista como ferramenta de apoio na aprendizagem e controlo de tarefas;
- Implementação de sistemas de alerta, em tempo real, na presença de erros de procedimento pelo operador;
- Implementar indicadores de desempenho;

1. Introdução

- Centralização da informação em cloud;
- Identificação de melhorias do processo produtivo, por tarefa e por operador, em função dos resultados obtidos;

1.2 Metodologia de Investigação

A metodologia de investigação é a ferramenta utilizada para apresentar os métodos e procedimentos com vista a resolver os problemas e alcançar os objetivos propostos do projeto.

Neste trabalho, foi feita uma pesquisa bibliográfica direcionada para artigos científicos, livros e revistas sobre o problema colocado, utilizando como base as palavras-chaves: Indústria 4.0, Realidade Mista, Fábricas de Aprendizagem e *Microsoft HoloLens* 2. No final da pesquisa, pretende-se consolidar o conhecimento de forma a planear as metodologias, ferramentas e métodos que serão aplicados no caso prático da montagem de cilindro pneumático em bancada didática. Por fim serão avaliados os resultados, retiradas as conclusões sobre o que foi feito e ainda que melhorias poderiam ser implementadas em projetos futuros.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto por 5 capítulos. No primeiro capítulo, é feita uma introdução ao tema, são enumerados os objetivos e os objetivos específicos, as motivações para a sua realização e ainda apresentada a metodologia utilizada na investigação.

No segundo capítulo, é apresentada uma revisão da literatura, onde são abordados conceitos como a Indústria 4.0 e o seu desenvolvimento até aos dias de hoje, o desenvolvimento das LF's e a suas aplicações e, por fim, a utilização da Realidade Mista e como esta pode ajudar no processo de aprendizagem.

No capítulo 3 são enumerados os softwares utilizados durante a realização deste trabalho como *Microsoft Dynamics 365 Guides*, *Microsoft Power BI*, *Microsoft Power*

1. Introdução

Apps e *Microsoft Power Automate*. Para todos eles foram apresentadas as suas funcionalidades e o que é possível realizar com eles.

No quarto capítulo, são descritos todos os passos realizados durante a parte prática deste trabalho. Desde a programação e montagem do cilindro pneumático em bancada didática com o apoio dos *smart glasses HoloLens 2*, até à realização de relatórios de análise de tempos de produção e controlo de stock com os dados recolhidos do processo de montagem. Foi ainda desenvolvida uma aplicação para apoio no controlo do stock de peças e automatização na interligação de aplicações e transferência de dados.

O capítulo 5 apresenta as conclusões retiradas após a realização de todo o trabalho. São ainda apresentadas futuras aplicações da Realidade Mista noutras áreas industriais, a utilização de outros modelos de *smart glasses* para além dos *HoloLens 2* ou até a melhoria do processo desenvolvido com novos sistemas de controlo de produção e do operador.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Indústria 4.0

As empresas trabalham cada vez mais para o crescimento do seu modelo de negócio e desenvolvimento dos processos produtivos. A implementação da Indústria 4.0 promove o uso das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), apresentando novos sistemas inteligentes e processos automatizados com capacidade de comunicar entre setores (Cheng et al., 2016). Esta comunicação facilita a criação de processos de fabricação para satisfazer os pedidos customizados dos consumidores assim como a rápida circulação de informação (Velásquez et al., 2018).

A Indústria 4.0 pode ser definida ainda como “rede digital inteligente e em tempo real de pessoas, equipamentos e objetos para a gestão de processos de negócios e redes criadoras de valor ” (Dombrowski et al., 2017). Embora não exista uma área específica onde a Indústria 4.0 possa ser aplicada, para Hermann et al. (2016), esta desempenha um papel importante em cada organização. Esta ligação facilita a produção personalizada e customizada o que leva ao crescimento das cadeias de valor das empresas pela sua flexibilidade produtiva e capacidade de resposta.

2.1.1 Evolução Histórica

Ao longo da história, a indústria já passou por 3 revoluções. Os séculos XX e XXI foram onde se desenrolou a maior evolução industrial. A 1ª Revolução Industrial ocorreu em meados do século XVIII e marcou a introdução da energia hidroelétrica e energia a

2. Estado da Arte

vapor nos novos sistemas mecânicos de fabricação (Xu et al., 2018). A 2ª Revolução Industrial surgiu a meio do século XIX na Europa e nos EUA. Esta revolução substituiu o vapor por energia química e elétrica para uma produção em massa. O aumento da procura obrigou ao desenvolvimento de tecnologias de mecanização como linhas de montagem automatizadas, onde o trabalho era dividido pelos operadores aumentando a sua produtividade. Também surgiram os primeiros programas de gestão que levam a uma melhoria da eficiência e eficácia dos processos produtivos (Ślusarczyk, 2018).

A 3ª Revolução Industrial ocorreu em meados do século XX, numa época pós Segunda Guerra Mundial. Este conflito motivou o aprimoramento de invenções já existentes, assim como o aparecimento de novos processos de automação na produção, tecnologias de informação e sistemas eletrônicos programáveis, originados pelos avanços na computação e na eletrônica (Anderl, 2015). Sofreram também alterações as relações sociais entre o homem e o meio, uma vez que o avanço tecnológico permitiu uma circulação de informação e interação entre pessoas mais rápida por todo o mundo. Com a ideologia de produzir mais em menos tempo a estar cada vez mais presente, levantou-se a questão da velocidade com que os recursos naturais estavam a ser consumidos.

A última grande revolução, que permanece em desenvolvimento ainda nos dias de hoje, é designada como 4ª Revolução Industrial e surgiu na Alemanha, num evento denominado “Feira de Hannover” em 2011 (Lenart-Gansiniec, 2019). Nesta foi apresentado o desenvolvimento de novas tecnologias para uma indústria melhorada e mais sustentável (Hermann et al., 2016). Tendo em conta que já antes eram implementados ideais como a utilização otimizada das matérias-primas, a redução de resíduos e a eficiência energética no funcionamento das indústrias, o aparecimento da indústria 4.0 só veio acrescentar novas ferramentas tecnológicas como a virtualização e a digitalização para aprimorar a sua utilização e melhorar os seus resultados (Carvalho et al., 2018).

A questão levantada na anterior revolução industrial quanto à velocidade de consumo de recursos naturais é agora ainda mais acentuada. O aumento da velocidade dos processos produtivos leva a uma maior necessidade de matérias-primas, embora se trabalhe para a sua otimização.

2. Estado da Arte

Por outro lado, este aumento produtivo só foi possível com o desenvolvimento tecnológico e a conversão para processos automatizados e robotizados, que levanta outra preocupação. O elevado desenvolvimento vai diminuir a necessidade de mão de obra humana, o que levará a grandes despedimentos em massa.

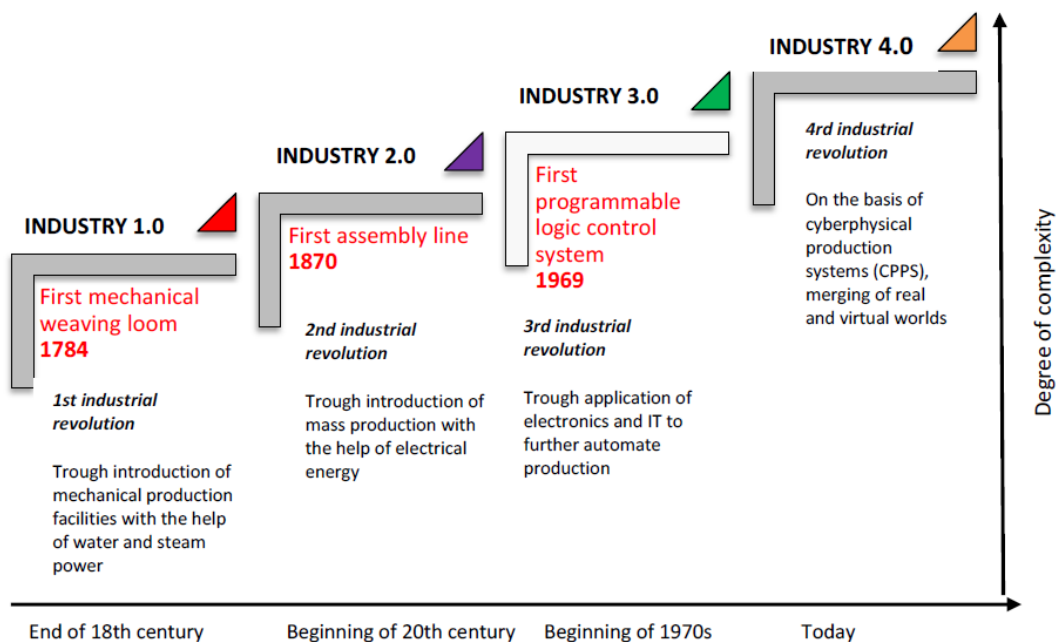


Figura 1- Evolução da Indústria

Fonte: (Ślusarczyk, 2018)

2.1.2 Tecnologias da Indústria 4.0

Leal et al. (2020) enumera diversas tecnologias como robôs autônomos, simulação, integração de sistemas, Internet das coisas, *cyber-security*, sensores e drones, computação em nuvem, *blockchain*, manufatura aditiva, realidade aumentada e análise de *big data* como meios para dar resposta nas diferentes áreas de uma indústria, desde a produção, à manutenção ou o controlo e tratamento de dados. Todas estas tecnologias trabalham em conjunto para uma integração entre setores e diferentes ramos industriais seja cada vez mais fluída (Lasi et al., 2014).

2. Estado da Arte



Figura 2- Tecnologias implementadas na indústria 4.0

Fonte: (Ideia, 2021)

Bai et al. (2020) classifica as novas tecnologias em duas categorias. Por um lado, classifica como tecnologias físicas processos de manufatura aditiva, implementação de sensores e *drones* e por outro lado designa como tecnologias digitais principalmente as tecnologias de informação como computação em nuvem, *blockchain*, análise de *big data* e simulação. Na tabela 1 são enumeradas algumas das tecnologias mais utilizadas na indústria 4.0.

2. Estado da Arte

Tabela 1- Tecnologias da indústria 4.0

<i>Tecnologias</i>	<i>Definição</i>
<i>Manufatura aditiva (impressão 3D)</i>	é uma tecnologia de fabricação que cria objetos sólidos tridimensionais (3D), usando uma série de estruturas de desenvolvimento aditivas ou em camadas.
<i>Inteligência artificial</i>	é uma área da ciência da computação que enfatiza a criação de máquinas inteligentes que funcionam e reagem como humanos.
<i>Realidade aumentada</i>	é um tipo de ambiente de exibição interativo baseado em realidade que utiliza os recursos de exibição, som e outros efeitos gerados por computador para aprimorar a experiência do mundo real.
<i>Robôs autônomos (Robótica)</i>	são usados para replicar as ações humanas na fabricação.
<i>Big data e análises</i>	referem-se à estratégia de análise de grandes volumes de dados que são usados quando as técnicas tradicionais de mineração e manipulação de dados não podem descobrir as perspectivas e o significado dos dados subjacentes.
<i>Blockchain</i>	é um banco de dados distribuído que mantém uma lista de registros completamente crescente, distribuída e não adulterada, usando nova tecnologia de criptografia e autenticação e mecanismo de consenso em toda a rede.
<i>Nuvem</i>	refere-se a quaisquer serviços de TI que são provisionados e acessados de um provedor de computação em nuvem.
<i>Cíber segurança</i>	refere-se a métodos preventivos usados para proteger as informações de serem roubadas, comprometidas ou atacadas.
<i>Veículo aéreo não tripulado (Drones)</i>	é uma aeronave sem piloto humano a bordo, comumente conhecida como drone.
<i>Sistema de Posicionamento Global (GPS)</i>	é uma maravilha técnica possibilitada por um grupo de satélites na órbita da Terra que transmitem sinais precisos, permitindo que os receptores GPS calculem e exibam informações precisas de localização, velocidade e tempo para o usuário.
<i>Internet das Coisas Industriais</i>	são os vários conjuntos de peças de hardware que funcionam em conjunto através da conectividade da Internet das Coisas

2. Estado da Arte

	para ajudar a melhorar os processos de fabricação e industriais.
<i>Tecnologia móvel</i>	é a integração da tecnologia de comunicação sem fio baseada nos dispositivos sem fio.
<i>RFID</i>	refere-se a tecnologias que usam comunicação sem fio entre um objeto (ou tag) e um dispositivo de interrogação (ou leitor) para rastrear e identificar automaticamente tais objetos.
<i>Sensores e atuadores</i>	é um dispositivo que responde a um estímulo físico (como calor, luz, som, pressão, magnetismo ou um movimento específico) e transmite um impulso resultante (como para medição ou operação de um controle).
<i>Simulação</i>	refere-se a tecnologias que usam a computação para a imitação de um processo ou sistema do mundo real.

Fonte: Adaptado de (Bai et al., 2020)

Durante a realização deste trabalho, a tecnologia que vai merecer especial atenção é a Realidade Mista e a sua implementação como uma ferramenta de apoio no desenvolvimento da bancada didática para a montagem do Cilindro Pneumático C96SDB32-25C com recurso ao equipamento da *Microsoft HoloLens 2*.

2.1.3 Metodologia LEAN na Indústria 4.0

Lean e Indústria 4.0 são metodologias com abordagens diferentes, mas que ao mesmo tempo convergem para um objetivo comum. As empresas procuram o aumento contínuo de produtividade, qualidade e nível de serviços. Com as tecnologias modernas a surgirem como *Cyber-Physical Systems (CPS)* ou *Internet of Things (IoT)* é possível dar uma resposta mais rápida e flexível aos problemas existentes (Ejsmont et al., 2020).

A metodologia Lean já se encontra amplamente desenvolvida e implementada no setor industrial, cada vez mais, é utilizada para otimizar processos e aumentar a produtividade. O conceito Lean é visto como “um conjunto de princípios e técnicas de gestão que visam eliminar desperdícios no processo produtivo e aumentar o fluxo de atividades que, do ponto de vista dos clientes, aumentam o valor do produto” (Taj, 2008).

2. Estado da Arte

Desde a eliminação de tarefas que estão a mais e não acrescentam valor ao produto final até à mudança de mentalidade dos próprios trabalhadores. É lhes sugerido que reflitam sobre as suas ações, e que sejam eles próprios a implementar os novos métodos, mantendo um desenvolvimento contínuo com vista à eliminação de desperdício e uma produção mais eficiente (Wagner et al., 2017).

Por outro lado, a Indústria 4.0, por vezes definida como a era da digitalização, é um conceito mais direcionado para o desenvolvimento tecnológico. Redes que ligam o mundo real ao mundo cibernético pela IoT, criam processos digitalizados e automatizados, que aumentam a sua complexidade e exigem que os trabalhadores sejam auxiliados por sistemas de apoio à produção (Prinz et al., 2018).

O avanço na implementação da Indústria 4.0 complementa o Sistema de Produção Enxuta (LPS). A sua aplicação proporciona uma melhoria contínua, pois os processos são periodicamente verificados e atualizados com o apoio da tecnologia para garantir bons resultados (Dombrowski et al., 2017). As novas tecnologias com capacidade de armazenamento de dados em nuvem fornecem uma maior quantidade de informação que pode ser analisada, melhorando fatores como a redução de desperdício e o zero defeito para uma melhoria contínua de processos.

2.2 Learning Factory

O rápido crescimento tecnológico que levou ao aparecimento das fábricas inteligentes, trouxe a necessidade de uma melhoria da força de trabalho. A formação dos funcionários e a sua capacidade de adaptação às rápidas mudanças tecnológicas tornou-se fundamental para a obtenção de bons resultados. Assim, as empresas começam a implementar uma abordagem denominada *Learning Factory*, que envolve os conceitos de “aprendizagem” e “fábrica”. Conhecida como uma aprendizagem ativa em que as pessoas aprendem fazendo elas próprias, com uma vertente mais prática quando comparada com método de ensino tradicional (Abele et al., 2019).

As LF's permitem desenvolver um ambiente em conformidade com o real. A aproximação a um meio industrial real facilita uma abordagem experimental, podendo realizar diferentes testes organizacionais no ciclo de produção ou a recriação de processos e tecnologias (Abele et al., 2015).

2. Estado da Arte

2.2.1 Evolução Histórica

As LF's podem ser implementadas em diferentes áreas ou desempenhar diferentes níveis de ensinamento, consoante as necessidades e as características dos alunos (Bartelt et al., 2020). Abele et al. (2015) faz a distinção em quatro cenários diferentes. Divide as fábricas de aprendizagem para aplicação industrial, aplicação académica, aprendizagem remota e aprendizagem de pesquisa. O seu desenvolvimento tem como objetivo formar melhores profissionais, transmitindo os conceitos de ponta sobre a fabricação moderna, mantendo a competitividade industrial.

Primeira Fase

As LF's surgiram no final dos anos 80, início dos anos 90 com a construção da *Computer-Integrated Manufacturing (CIM) learnig factory* em Estugarda (Alemanha). Este conceito foi projetado e implementado após se verificar que as aulas expositivas eram bastante limitadas para o desenvolvimento do conhecimento dos alunos. As fábricas de aprendizagem permitem desenvolver um ambiente em conformidade com o real. A aproximação a um meio industrial real facilita uma abordagem experimental, podendo realizar diferentes testes organizacionais no ciclo de produção ou a recriação de processos e tecnologias (Tisch & Metternich, 2017).

No ano de 1994 o conceito despertou o interesse dos EUA com a instalação da primeira fábrica de aprendizagem ao encargo do professor Bernard M. Gordon, da Penn State University com o apoio de uma bolsa disponibilizada pela *National Science Foundation (NSF)*. Foi neste ano que o conceito foi patenteado e reconhecido (Tisch et al., 2015).

A partir do ano de 2000, o conceito de *teaching factory* aparece nos Estados Unidos, relacionado com as universidades de medicina onde trabalhavam em parceria com os hospitais para proporcionar aos alunos uma aproximação ao contexto real (Chryssolouris et al., 2016).

2. Estado da Arte

Segunda Fase

A partir do ano de 2005, registou-se um novo crescimento na implementação das LF's na Europa, nas mais diferentes áreas, como Indústria 4.0, *Lean manufacturing*, montagem manual e semiautomática, logística e controlo de qualidade (Tisch et al., 2015).

Terceira Fase

A partir do ano de 2011, com a “1ª Conferência sobre Fábricas de Aprendizagem” que decorreu em *Darmstadt*, o conceito diversificou-se por toda a Europa levando a um rápido crescimento na sua implementação por toda a indústria. A criação da Iniciativa sobre Fábricas Europeias de Aprendizagem (IELF) foi o motor para uma colaboração em toda a Europa envolvendo a participação de 18 países para o desenvolvimento de projetos de investigação (Tisch et al., 2015).

No ano de 2013 a *Deutscher Akademischer Austauschdiens* (DAAD) fundou a *Netzwerk Innovativer Lernfabriken* (NIL), que significava uma rede de *learning factories* inovadoras (Abele et al., 2017).

No ano de 2014, um novo grupo surgiu denominado de *CIRP Collaborative Working Group* (CIRP CWG), que em 2017 publica um documento com o título “*Learning Factories for future-oriented research and education in manufacturing*” com os resultados sobre a pesquisa das ligações do mundo académico e a indústria.

Nos últimos 35 anos a comunidade cresceu e a informação científica em documentos publicados sobre as fábricas de aprendizagem é cada vez mais abundante e explorada como se verifica na Figura 3.

2. Estado da Arte

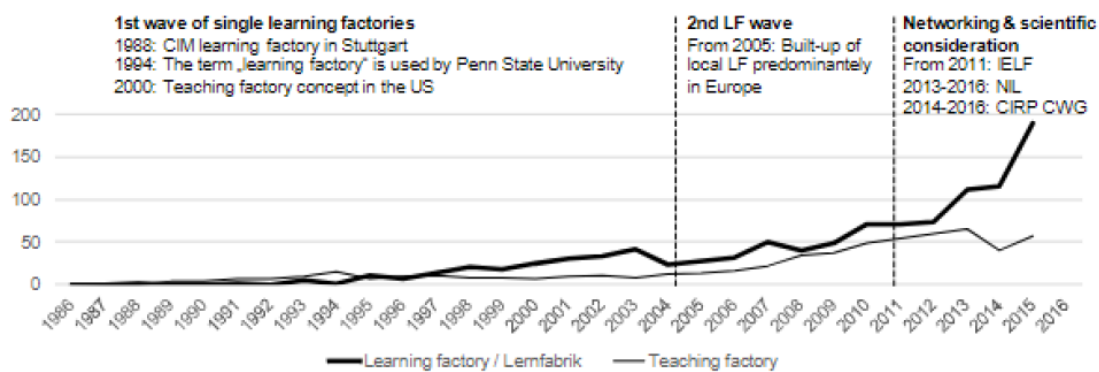


Figura 3- Histórico de documentos publicados sobre Learning Factories

Fonte: (Tisch & Metternich, 2017)

2.2.2 Morfologia das Learning Factories

- **Modelo Operacional:** É o modelo que garante o desenvolvimento e a melhoria contínua das fábricas de aprendizagem, garantindo a evolução das competências dos operadores. Para isso é necessário garantir a sustentabilidade económica ou financeira, de conteúdo ou temática e pessoal. Os fatores económicos e financeiros para suportar custos de equipamentos e instalações para as fábricas de aprendizagem, custos operacionais e de materiais consumidos. A nível de conteúdo ou temática é importante manter atualizados os métodos de aprendizagem e integrar novos conteúdos no programa para acompanhar o desenvolvimento da indústria da manufatura. Quanto à sustentabilidade pessoal, a escolha das pessoas indicadas para o desenvolvimento de uma fábrica de aprendizagem pode ditar o seu sucesso e a sua permanência durante muito tempo. A escolha mais acertada recai sobre pessoas com experiência na área do ensino e com prática nos temas abordados na aprendizagem (Abele et al., 2019).

- **Metas e Propósitos:** As fábricas de aprendizagem podem ser criadas com diferentes finalidades. Desde fábricas para o ensino e educação de estudantes a nível académico, quer para o treino de pessoal com funções na produção industrial (Abele et al., 2019).

- **Fases do Processo:** Refere-se à organização de fluxos de matérias, tipos de processos, métodos e tecnologias usadas na produção no processo de aprendizagem.

- **Configuração do ambiente:** Numa fábrica de aprendizagem pode ser desenvolvido um ambiente totalmente físico, virtual ou misto. Um ambiente físico

2. Estado da Arte

engloba a utilização de máquinas em tamanho real ou tamanho reduzido que retratam o ambiente real de uma unidade industrial de forma mais restrita. Já um ambiente virtual ou misto permite mais facilmente uma mudança de configuração de uma forma mais ampla (Abele et al., 2019).

- **Produto:** O produto é o elemento que serve para a transmissão de conhecimento dentro de uma fábrica de aprendizagem, pelo que no momento da sua escolha vários fatores devem ser levados em conta. A sua complexidade, o seu custo, as suas fichas técnicas de montagem devem ser semelhantes aos produtos utilizados em ambiente real (Abele et al., 2015).

- **Didática:** A didática é o fator que levanta questões dentro de uma fábrica de aprendizagem de “Como se deve aprender?”, “Onde se deve aprender?” ou “Como se deve avaliar?” (Abele et al., 2019).

- **Métricas das Fábricas de Aprendizagem:** Este fator é responsável por definir o número de participantes por módulo de aprendizagem, a sua duração e qual o local mais adequado (Abele et al., 2019).

2.2.3 Aprendizagem Tradicional vs Aprendizagem Moderna

Todas as instituições que apresentam um modelo de negócio, levam cada vez mais em conta nos seus investimentos a componente da aprendizagem dos seus colaboradores. Com os processos produtivos cada vez mais desenvolvidos devido à evolução tecnológica, os seus sistemas tornam-se também mais complexos. Assim, o ensino tradicional não deixa de ser indispensável, mas fica um pouco ultrapassado quando comparado com a aprendizagem moderna. O sistema tradicional baseado na transmissão de conhecimento de pessoa para pessoa vem a demonstrar uma maior complexidade na organização logística, como também um custo superior. Este tipo de ensino obriga ao deslocamento de pessoas e uma presença comum numa mesma data de todos os alunos, onde é o professor que faz o plano de aprendizagem e transmite os conhecimentos de acordo com o que ele planeou retirando a autonomia aos alunos (Gowda & Suma, 2017).

A aprendizagem moderna foi-se desenvolvendo com o crescimento tecnológico dando origem ao *e-learning* (aprendizagem assistida por tecnologia). Para além de ser um processo menos dispendioso em tempo, o processo pode ser feito de forma virtual, com

2. Estado da Arte

aulas gravadas em que cada pessoa pode organizar o seu tempo e cumprir as tarefas de aprendizagem quando tiver disponibilidade. A motivação e interesse, neste tipo de aprendizagem tem de partir do próprio aluno.

Raghavendra & Rajini (2012) apresenta um estudo onde compara o ensino tradicional com os diferentes tipos de *e-learning* com base em alguns parâmetros pré-definidos como disponibilidade sob demanda, reutilização, transparência de localização, segmentação de objetos de aprendizagem e adaptabilidade de aprendizagem controlada pelo usuário para avaliar o desempenho dos alunos nos diferentes tipos de aprendizagem. No fim, foi apresentado um Índice de desempenho de aprendizagem cumulativo (CLPI) no seguinte gráfico para os diferentes tipos de aprendizagem.

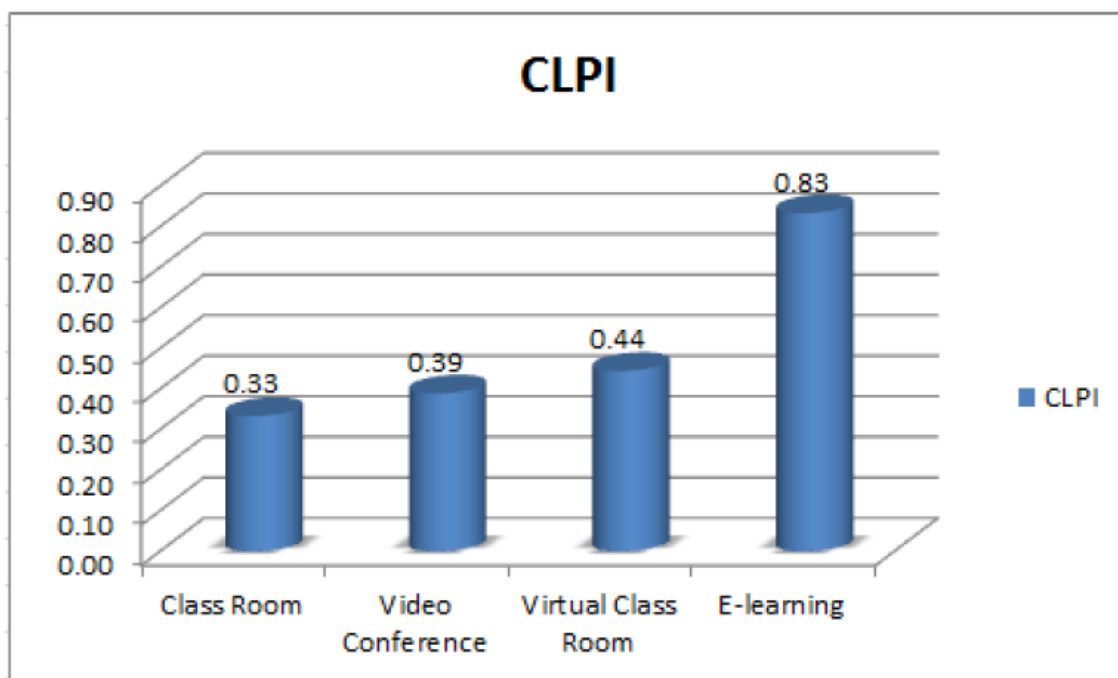


Figura 4- Índice CLPI de vários modos de aprendizagem
Fonte: (Raghavendra & Rajini, 2012)

2.2.4 Casos de aplicação das Learning Factories

Desde a criação das LF's diversos estudos analisaram a sua aplicação nas mais variadas áreas da indústria. Para além desta área foram desenvolvidas fábricas de aprendizagem para o ensino, formação e investigação. Os processos de ensino eram caracterizados por uma vertente maioritariamente teórica, o que por vezes não

2. Estado da Arte

apresentavam os resultados esperados. Com a alteração do método de ensino, privilegiando uma componente prática, os alunos desenvolvem o seu conhecimento executando tarefas do ambiente real como forma de treino (Abele et al., 2015).

Makumbe et al. (2018) relata o desenvolvimento de uma fábrica de aprendizagem implementada na África do Sul com o objetivo de desenvolver as habilidades Lean e melhorar os conhecimentos dos funcionários na área da mineração. Durante o estudo, para além de analisar a capacidade de assimilar o conhecimento, o autor analisou o desempenho do treinamento em funcionários com diferentes níveis de emprego. Conclui que a transmissão de conhecimentos foi melhorada e as competências Lean adquiridas após uma avaliação contínua ao longo do processo de aprendizagem.

Maheso et al. (2018) relata também um caso de aplicação na África do Sul na área da fabricação de vagões ferroviários. Após terminarem a formação académica, os engenheiros apresentavam algumas lacunas, assim foi implementado uma fábrica de aprendizagem para completar o conhecimento sobre os processos aplicados nesta indústria em particular. A constante atualização de processos de produção exige sistemas flexíveis e reconfiguráveis para que o processo de aprendizagem acompanhe esta evolução.

Sorko et al. (2020) refere que a criação de workshops dentro das fábricas de aprendizagem é uma oportunidade para os funcionários e alunos testarem novas tecnologias. A utilização de máquinas inteligentes é uma realidade cada vez mais presente, pelo que os funcionários vão ser sujeitos a adquirir novas competências e a uma mudança de rotinas de trabalho. Assim, num ambiente de treino, é possível ficar a conhecer como manusear e desenvolver novas competências sem interferir no ambiente de produção.

2. Estado da Arte

2.2.4.1 Microsoft HoloLens 2

Os HoloLens 2 são *smart glasses* desenvolvidos pela *Microsoft*. É um dos vários equipamentos com capacidade de utilizar tecnologias como a Realidade Mista que permite a interação entre o utilizador e o meio envolvente. A adição e a manipulação de elementos 3D sobre o ambiente real é uma das vantagens quando comparado com equipamentos de Realidade Virtual ou Realidade Aumentada.



Figura 5- Microsoft HoloLens 2
Fonte: (Microsoft Corporation, s.d.a)

O tempo de aprendizagem que seria necessário para o operador treinar o processo pode ser eliminado com o apoio deste equipamento. A facilidade em programar todas as etapas para a sua montagem faz com que qualquer novo operador seja capaz de completar a tarefa sem passar pelo processo de aprendizagem. Para além da área industrial, esta tecnologia pode ser utilizada em aplicações na área médica como cirurgias, educação médica e simulação ou em arquitetura e engenharia civil (Park et al., 2021).

Após o operador concluir a tarefa programada nos *smart glasses*, é possível armazenar vários dados recolhidos durante a sua execução como o tempo de execução da tarefa, o tempo que levou a executar cada etapa, identificar qual foi o operador que realizou o processo de montagem, contabilizar o número de peças realizadas diariamente, mensalmente ou num intervalo de tempo específico. Pode ainda fornecer outros dados importantes para que, em seguida, possam ser analisados e tratados por outro departamento da empresa para obter melhorias no processo, otimizar tempos de produção ou reorganizar a ordem das etapas de montagem.

2. Estado da Arte

Para além destes, existem outros modelos de óculos dentro da categoria de *smart glasses* que podem desempenhar a mesma função. Marcas como a Samsung, Oppo ou Apple, a par da *Microsoft*, também já lançaram o seu próprio modelo de *smart glasses*. Outras marcas estão a investir grandes recursos na investigação para lançar o seu modelo de smart glasses AR/VR. Todos eles têm o objetivo de melhorar as condições de trabalho do operador com o apoio da Realidade Mista e assistência remota à distância.



Figura 6- Modelo de Smart glasses da Samsung

Fonte: (Verma, 2021)



Figura 7- Modelo de Smart glasses da Oppo

Fonte: (García, 2021)

Um fator a ter em consideração na escolha do modelo é a possibilidade de causar algum desconforto quando utilizado durante longos períodos. Um operador que necessite da sua utilização durante o seu turno de trabalho pode sentir algum cansaço e fadiga na sua visão e devido ao peso do equipamento.

2. Estado da Arte

Neste trabalho a sua utilização é direcionada para a indústria como apoio no processo de aprendizagem, no entanto a sua aplicação é bastante diversificada. Para além das vantagens produtivas, estes sistemas permitem a recolha de indicadores de desempenho dos processos. Indicadores como tempos de execução de tarefas por operador ou por setor permitem acompanhar o desenrolar da produção. Através de softwares como o *Power BI*, desenvolvido pela *Microsoft* é possível armazenar e tratar os dados recolhidos das tarefas executadas pelo operador. Em simultâneo, é também possível transmitir esses dados num monitor instalado na zona de trabalho para que o operador seja informado em tempo real do desempenho do seu trabalho e em caso de cometer algum erro receber um alerta.

Esta informação recolhida apresenta resultados positivos para a empresa. É possível implementar melhorias na execução do processo ou até verificar se existem tarefas que podem ser simplificadas ou reorganizadas.

2.3 Realidade Mista

A Realidade Mista é cada vez mais introduzida como uma tecnologia de apoio na indústria em diferentes áreas como nos processos de aprendizagem (Sautter & Daling, 2021) ou em ambientes de montagem para orientação do trabalhador (Eder et al., 2021). Com o desenvolvimento tecnológico, as competências pedidas ao utilizador vão para além de compreender o processo de fabricação (Doolani et al., 2020).

2.3.1 O que é a Realidade Mista?

A Realidade Mista é a projeção de elementos 3D sobre o ambiente real, com a possibilidade de interação sobre esses elementos. A sua aplicação é normalmente realizada por equipamentos como *smart glasses HoloLens 2* desenvolvidos pela *Microsoft*, *tablets* ou *smartphones*. Com a utilização de *smart glasses* o operador pode visualizar a informação e ter as duas mãos disponíveis para realizar as tarefas, o que é uma vantagem quando comparado com os *tablets* e *smartphones*. Esta tecnologia requer equipamentos com um *software* capaz de visualizar o ambiente real, mas ao mesmo tempo

2. Estado da Arte

inserir os elementos virtuais com a possibilidade de os manusear nesse mesmo espaço (Juraschek et al., 2018).

2.3.2 Realidade Mista vs Realidade Aumentada vs Realidade Virtual

Termos como Realidade Mista (RM), Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (VR) são por vezes confundidos e associados à mesma situação. No entanto, é necessário distingui-los e saber quando é mais correto utilizar cada uma das designações e o contexto em que são aplicadas. Flavián et al. (2019) estabelece um limite entre os três temas que os diferencia, afirmando que existe uma fronteira entre as três realidades.

O conceito de Realidade Mista, tal como referido no ponto anterior permite manter uma visão sobre o ambiente real enquanto são adicionados elementos virtuais com a capacidade de serem manuseados e editados pelo operador.

Já a Realidade Aumentada é normalmente utilizada para adicionar informações virtuais sobre o ambiente real, mas que não permite a sua manipulação (Eder et al., 2020). Essa informação serve apenas como complemento ao que o utilizador está a ver e pode ser aplicada com a utilização de um *smartphone* ou *tablet* com uma aplicação de realidade aumentada.

A Realidade Virtual, contrariamente às anteriores, mobiliza o utilizador para um ambiente virtual completamente diferente do que o rodeia, não permitindo relacionar objetos virtuais com ambientes reais. Apenas se consegue trabalhar com modelos virtuais dinâmicos montados com a função de simular um meio real com base em testes e medições recolhidas (Kovar et al., 2016).

Na figura 2 é apresentada a sequência desde uma situação em ambiente real até a outro extremo num ambiente totalmente virtual. Pelo meio existem dois ambientes intermédios, onde há uma mistura de ambientes reais com elementos virtuais.

2. Estado da Arte



Figura 8- Percurso Realidade – Virtualidade

Fonte: adaptado de (Flavián et al., 2019)

2.3.3 Utilização da Realidade Mista no processo de aprendizagem

O processo de aprendizagem é um processo demorado, dada a complexidade das tarefas que são impostas aos trabalhadores. Apesar da abordagem moderna das fábricas de aprendizagem, a transmissão de conhecimento de pessoa para pessoa e o treino pela repetição dos processos é bastante dispendiosa e demorada. As aprendizagens físicas e digitais podem ser avaliadas e comparadas em cinco categorias como investimento, cenário de estudo, processo de estudo, resultados do estudo e experiência do aluno (Haghighi et al., 2014). Assim, a investigação encaminha-se para uma maior utilização do ensino digital em vez do ensino físico, a utilização da Realidade Mista na aprendizagem é uma abordagem promissora no contexto da Indústria 4.0 pois acompanha a evolução tecnológica (Sautter & Daling, 2021). Qualquer trabalhador pode operar uma primeira vez em diversos setores sem a necessidade de uma aprendizagem prévia ou acompanhamento de um outro trabalhador, recebendo instruções de montagem em tempo real como imagens, vídeos ou manuais de instruções (Eder et al., 2021). Com o apoio de equipamentos como os *smart glasses*, no caso concreto deste trabalho os *Microsoft HoloLens 2*, o processo de aprendizagem pode ser transmitido com recurso a modelos 3D, indicações sequenciais de processos de montagem ou através da visualização de hologramas sobre o ambiente real que rodeia o operador (Vidal-Balea et al., 2020).

Apesar do elevado investimento em equipamentos e tecnologias de comunicação, a utilização da Realidade Mista destaca-se como uma mais-valia no apoio à indústria. A possibilidade de aprender/ ensinar em ambientes imersivos apresenta várias vantagens:

2. Estado da Arte

Reduz os erros e ajuda a aumentar a segurança: com a informação passo a passo do processo que deve ser seguido, é garantido que todos os passos são cumpridos e assim como a sua repetibilidade.

Elimina as lacunas de conhecimento e fortaleça as habilidades: a constante disponibilidade de informação complementar de forma virtual permite que nenhuma etapa seja esquecida durante o trabalho.

Adapta-se ao trabalho em tempo real: a facilidade de alteração de processo para corrigir lacunas detetadas nos dados recolhidos e apoio às equipas em novas tarefas implementadas.

Melhora os processos de aprendizagem: a recolha e o armazenamento da informação sobre o desempenho de todos os funcionários na execução das tarefas, permite mais facilmente intervir nas etapas que demonstram falhas ou uma maior demora na sua realização.

3. SOFTWARES UTILIZADOS

Para a realização deste projeto foram utilizados alguns dos softwares disponibilizados na *Power Platform* da *Microsoft*. Esta plataforma é composta por cinco aplicações: *Power BI*, *Power Apps*, *Power Automate*, *Power Virtual Agents* e *Power Pages*, dos quais foram utilizados apenas os três primeiros mencionados anteriormente. A juntar a eles foi ainda utilizado o *software Microsoft Dynamics 365 Guides* pertencente ao grupo *Dynamics 365* também da *Microsoft*. A vantagem de todos os softwares pertencerem à *Microsoft* é a fácil comunicação, partilha de dados, e a utilização de fontes de dados comuns como *Dataverse* ou bases de dados online. E por fim, toda esta interligação resulta no rápido tratamento de dados, elaboração de relatórios e publicação desses mesmos resultados.

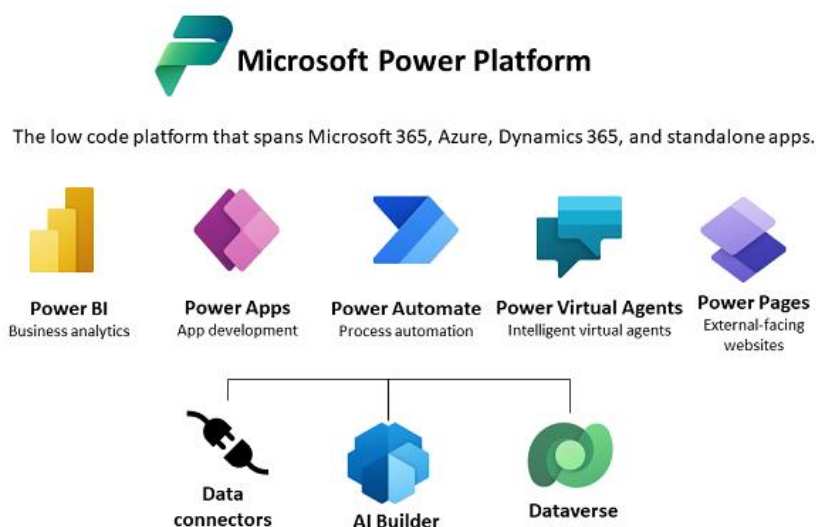


Figura 9- Aplicações da Microsoft Power Platform

Fonte: (Holtzman et al., 2022)

3. Softwares Utilizados

3.1 Microsoft Dynamics 365 Guides

Microsoft Dynamics 365 Guides é uma aplicação de realidade mista que permite programar os *smart glasses HoloLens 2*. Este *software* implementa instruções holográficas através de imagens, vídeos ou elementos 3D para serem sobrepostos sobre o ambiente real. Os guias criados no *Dynamics Guides* não necessitam de um conhecimento aprofundado de programação ou de modelação 3D. O programa apresenta *layouts* simples e uma biblioteca de modelos 3D, assim como a possibilidade de importar modelos externos ao *software*. Fornece também a possibilidade de trabalhar de forma colaborativa, em caso de dúvida, o operador pode solicitar apoio remoto através de uma chamada em tempo real para a resolução de um problema em alguma das suas tarefas. Neste caso um técnico entra em contacto com o operador e tem acesso à sua visão para fazer uma rápida avaliação indicando quais as soluções para economizar tempo e repor a qualidade do processo (Maylyan, 2022).

Para além de proporcionar um apoio visual ao operador em tempo real, permite ainda armazenar os dados recolhidos durante o processo produtivo. Em seguida esses dados podem ser consultados e manuseados nas aplicações, que serão abordadas nos tópicos a seguir, como forma de aprimorar e melhorar os resultados.

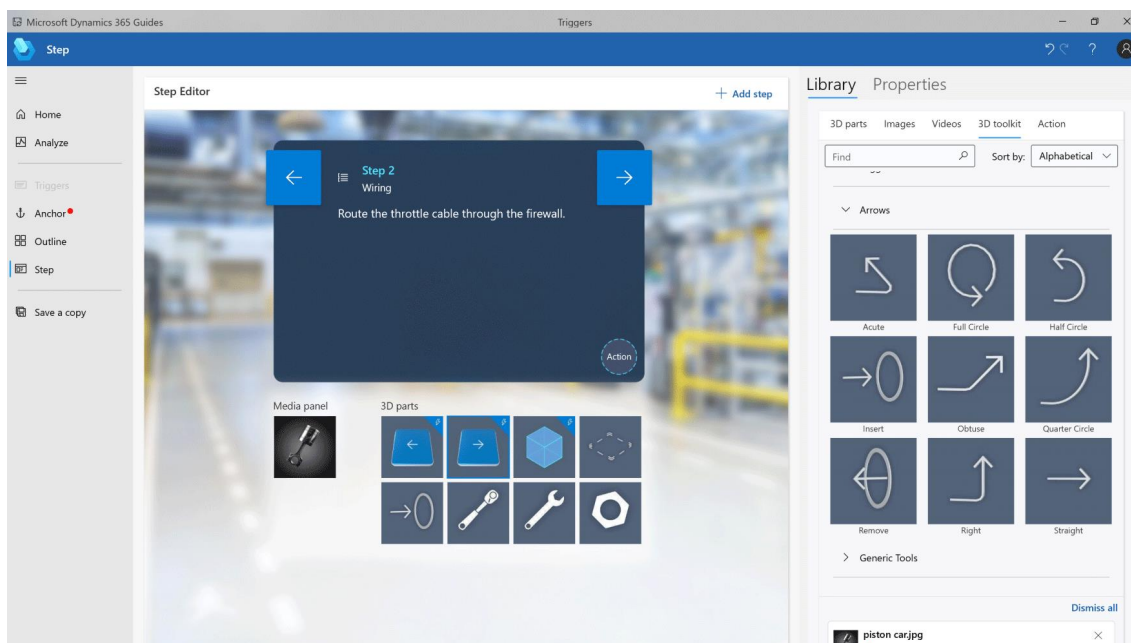


Figura 10- Layout Microsoft Dynamics 365 Guides

Fonte: (Microsoft Corporation, s.d.b)

3. Softwares Utilizados

3.2 Microsoft Power BI

O *Power BI* está disponível em três plataformas. Para *Windows*, o *Power BI Desktop*, num serviço SaaS (*Software* como Serviço) online chamado serviço *Power BI* e nas aplicações móveis do *Power BI* disponíveis para dispositivos *Windows*, *iOS* e *Android* (Hart et al., 2022).

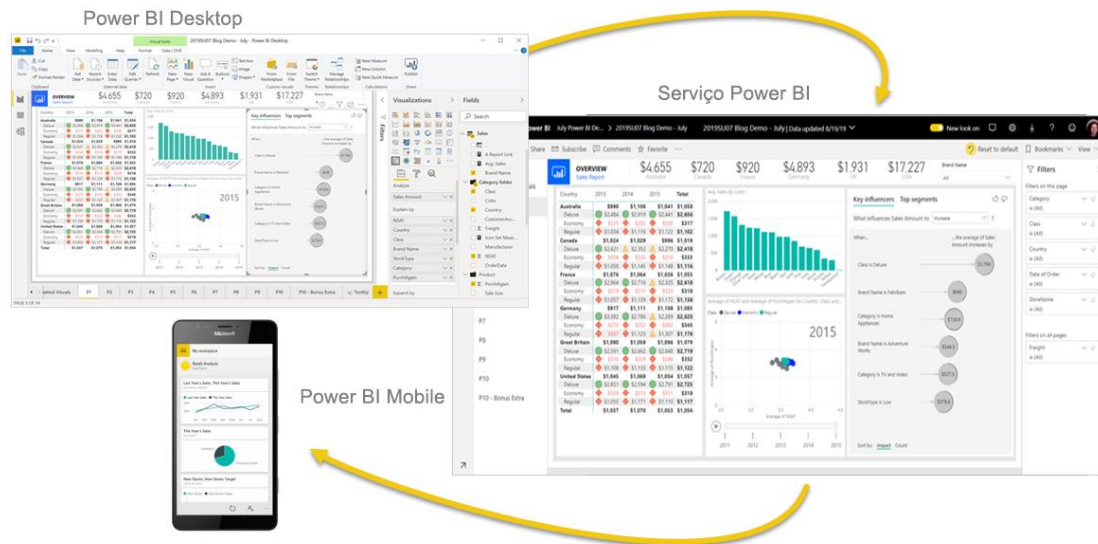


Figura 11- Power BI Desktop, Power Bi Online e Mobile

Fonte: (Hart et al., 2022)

O *Power BI Desktop* é utilizado para criar e publicar *dashboards* e relatórios. Os dados podem ser importados e ligados de diferentes origens, como ficheiros excel, pastas da *onedrive* ou *SQL Servers*.

Normalmente as utilizações mais comuns são:

- Ligar-se a dados;
- Transformar e limpar esses dados, para criar um modelo de dados;
- Criar elementos visuais, tais como gráficos ou tabelas, que fornecem representações visuais dos dados;
- Criar relatórios que são coleções de elementos visuais, numa ou mais páginas de relatório;
- Partilhar relatórios com outros utilizadores com o serviço *Power BI*;

3. Softwares Utilizados

Após a publicação dos relatórios, através do *Power BI* online ou a versão *mobile*, é possível partilhar os relatórios com várias pessoas. No caso de se tratar de uma empresa, os *dashboards* podem ser encaminhados para os diversos departamentos, facilitando a sua consulta e agrupando todos os conjuntos de dados em mosaicos num único local. Nos relatórios é possível aplicar filtros para que cada setor da empresa possa reduzir a quantidade de dados consultados para o que lhe é mais importante (Iseminger et al., 2022).



Figura 12- Exemplo de dashboard Power BI: Relatório de Manutenção

Fonte: (Powermaia, s.d.)

3.3 Microsoft Power Apps

O *Microsoft Power Apps* apresenta um ambiente de programação que permite desenvolver aplicações de uma forma mais facilitada quando comparada com a linguagem comum que utiliza linhas de código. É possível gerar três tipos de aplicações diferentes: aplicações de tela, condicionadas por modelo e portais (Vivek et al., 2022).

Em aplicações de tela é possível personalizar uma tela em branco e definir toda a interface e as funcionalidades da aplicação de acordo com o que a empresa define e publicar essa tela para *web*, *smartphone* e *tablet*. Aplicações condicionadas por modelo foca-se em adicionar componentes como formulários, vistas, gráficos, *dashboard* e tabelas para tratar grandes quantidades de dados e gerir processos mais complexos. Os

3. Softwares Utilizados

portais ajudam a criar aplicações como um *site* que permite o acesso e consulta de dados a pessoas externas a uma empresa.

Tal como o *Power BI*, esta aplicação consegue tratar e agrupar dados armazenados em diferentes plataformas como *Dataverse* ou bases de dados online como *SharePoint*, *Microsoft 365*, *Dynamics 365* ou *SQL Server*.

No meio empresarial, as implementações destas aplicações ajudam a converter as suas operações manuais em processos digitais e automatizados (Laugesen et al., 2022). Processos que antes eram demorados ou necessitavam de apoio humano, ficam facilitados pela rápida transferência de dados e acesso em simultâneo em diferentes equipamentos com posições geográficas distantes.

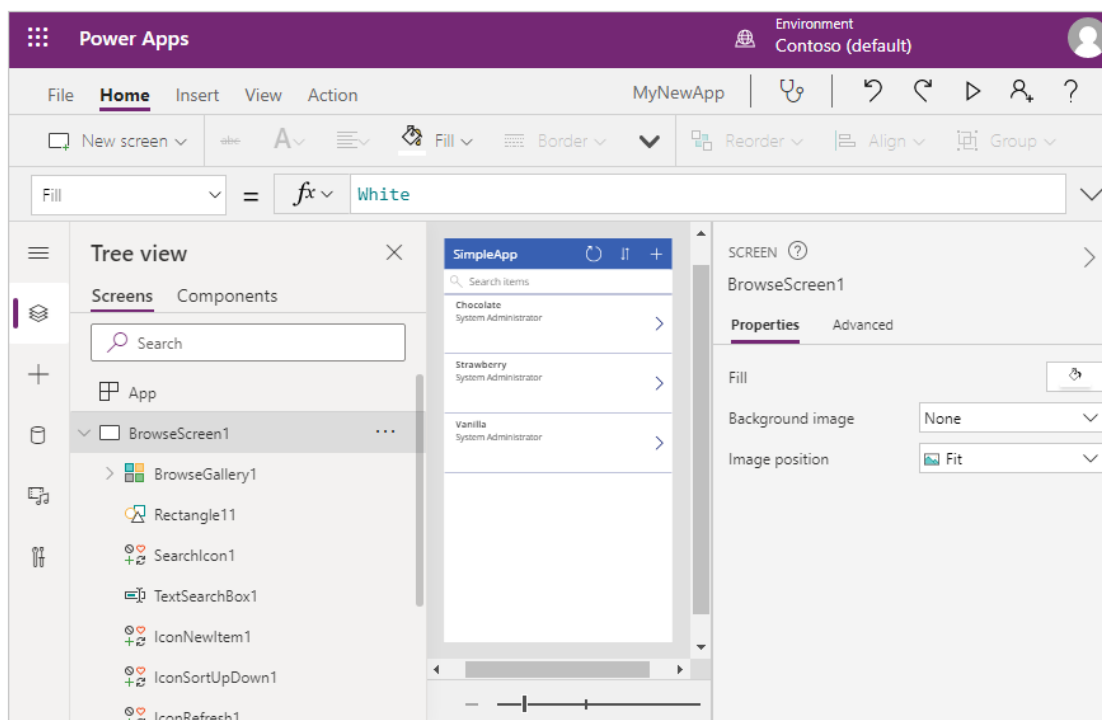


Figura 13- Dashboard de programação Power Apps
Fonte: (Maniar et al., 2022)

3. Softwares Utilizados

3.4 Microsoft Power Automate

O *Power Automate* é um *software* capaz de automatizar tarefas manuais repetitivas otimizando tempo e poupando recursos humanos, como por exemplo:

- Automatizar processos de negócio;
- Enviar lembretes automáticos para tarefas passadas;
- Mover dados de negócios entre sistemas numa agenda;
- Conectar a mais de 500 origens de dados ou a qualquer API (*Application Programming Interface*) disponível publicamente;
- Pode até automatizar tarefas no seu computador local, como dados de computação no Excel;

É possível criar três tipos de fluxos, fluxos de *cloud*, fluxos de ambiente de trabalho e fluxos de processo empresarial. Um fluxo de *cloud* pode ser ativado de forma automática, instantânea ou através de uma agenda. Cada um dos fluxos é desenvolvido na tabela seguinte (Herbert, Fernandez, et al., 2022).

Tabela 2- Power Automate: Tipos de Fluxos

<i>Tipo de fluxo</i>	<i>Caso de utilização</i>	<i>Objetivo da automatização</i>
<i>Fluxos automatizados</i>	Criar uma automatização que seja acionada por um evento como a chegada de um e-mail de uma pessoa específica, ou uma menção à sua empresa nas redes sociais.	Conectores para serviços de nuvem ou no local ligam as suas contas e permitem-lhes falar entre si.
<i>Fluxos instantâneos</i>	Iniciar uma automatização com o clique de um botão. Pode automatizar tarefas repetitivas a partir dos dispositivos móveis ou de um ambiente de trabalho. Por exemplo, enviar um lembrete à equipa com o clique de um botão num dispositivo móvel.	Um vasto leque de tarefas como solicitar uma aprovação, uma ação no Teams ou no SharePoint.
<i>Fluxos agendados</i>	Agendar uma automatização como o carregamento diário de dados para o SharePoint ou para uma base de dados.	Tarefas que precisam de ser automatizadas numa agenda.

Fonte: adaptado (Herbert, Garty, et al., 2022)

3. Softwares Utilizados

Fluxos de ambiente de trabalho normalmente são utilizados por pequenas empresas que desempenham tarefas mais simplificadas. São indicados para processos de organização de documentos utilizando ficheiros e pastas dedicadas ou recolher dados de websites e armazená-los em ficheiros excel.

Por fim, fluxos de processo empresarial podem funcionar como guias dentro das empresas. É uma maneira de partilhar com toda a equipa informação de acordo com as permissões que forem atribuídas a cada trabalhador. Reduz ainda a necessidade de formação para novos trabalhadores, uma vez que é possível configurar guias para de forma automática os alertas de informação sejam enviados (Trantzas et al., 2022).

4. CASO PRÁTICO

Este capítulo engloba o trabalho experimental desenvolvido no Laboratório. Na componente prática desta dissertação pretende-se simular uma linha de montagem produtiva em bancada didática utilizando a tecnologia da Realidade Mista com os *smart glasses HoloLens 2* como ferramenta de apoio.

Para além disso, pretendeu-se ainda desenvolver alguns relatórios através do *software Microsoft Power BI* onde sejam tratados e apresentados dados como os tempos de produção, que é possível recolher com a utilização dos *smart glasses* ou até ajudar na gestão e controlo de stock.

Pretende-se ainda complementar estes relatórios com a criação de uma aplicação desenvolvida no *Microsoft Power Apps* como ferramenta para ajudar o operador a registar os fluxos de entrada e saída de stock de peças para montagem do cilindro pneumático. Toda esta interligação foi programada usando o *Microsoft Power Automate* para comunicar e gerar fluxos automáticos de dados entre os diferentes softwares.

4.1 Cilindro Pneumático C95SDB32-25

O cilindro pneumático C95SDB32-25 foi o elemento escolhido para realizar este trabalho com a sua montagem em bancada didática no Laboratório.

Antes de avançar para os testes de montagem foi feita a sua modelagem 3D, peça a peça, para simulação computacional. Em seguida esses mesmo ficheiros foram utilizados para importar no software de programação *Microsoft 365 Dynamics Guides* para os *HoloLens 2*.

4. Caso Prático

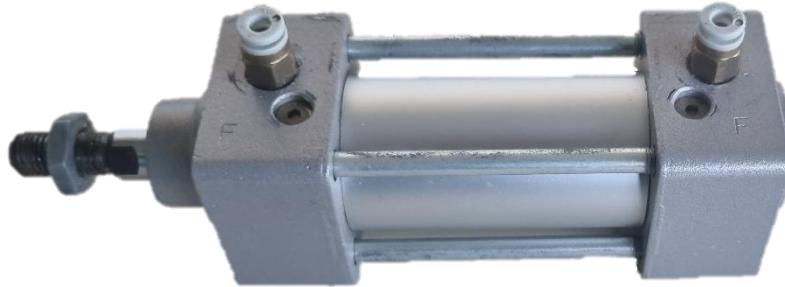


Figura 14- Cilindro Pneumático C95SDB32-25

4.2 Modelação 3D do Cilindro C95SDB32-25

Todas as peças foram modeladas no *software Autodesk Inventor* e em seguida inseridas no *software Autodesk Fusion 360* para realizar as animações das suas montagens.

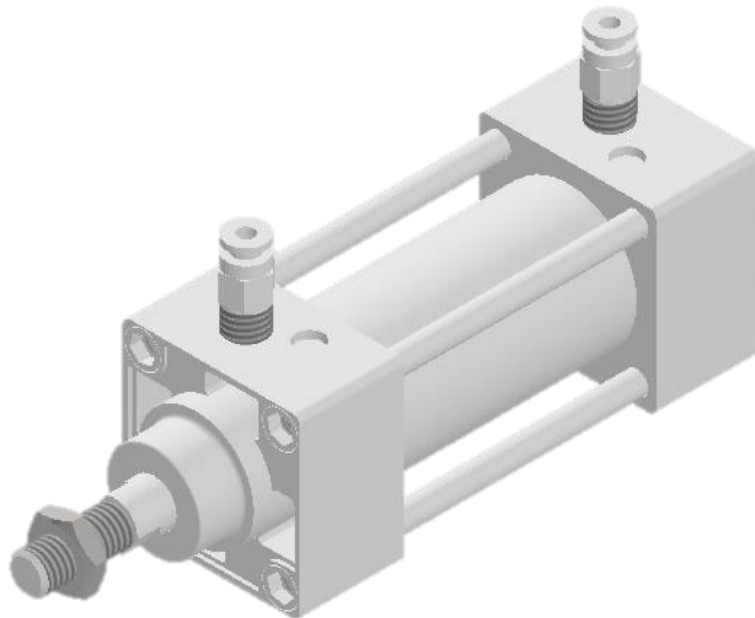


Figura 15- Modelação 3D do Cilindro C95SDB32-25

4. Caso Prático

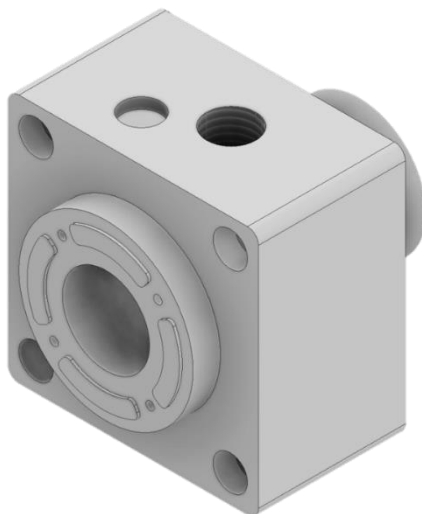


Figura 16- Câmara frontal do cilindro

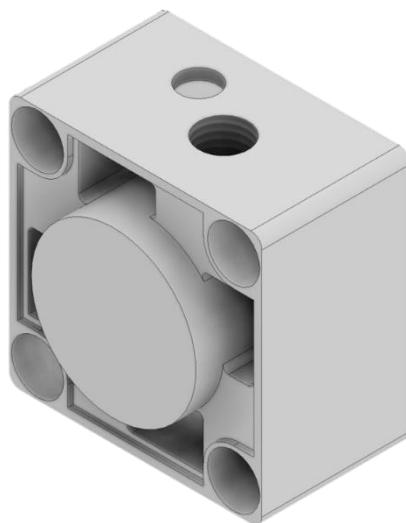


Figura 17- Câmara traseira do cilindro

4. Caso Prático

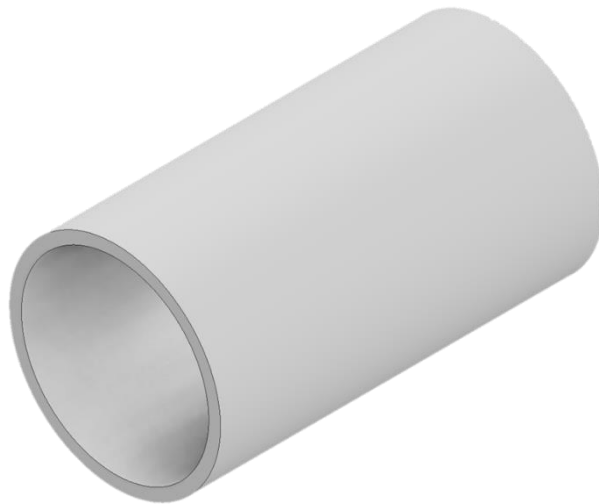


Figura 18- Cilindro exterior de proteção

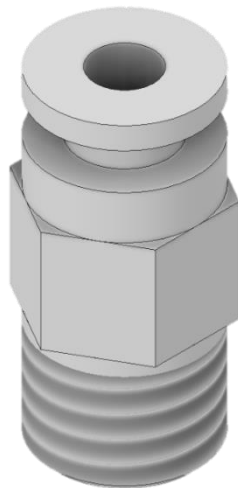


Figura 19- Conector de ar

4. Caso Prático

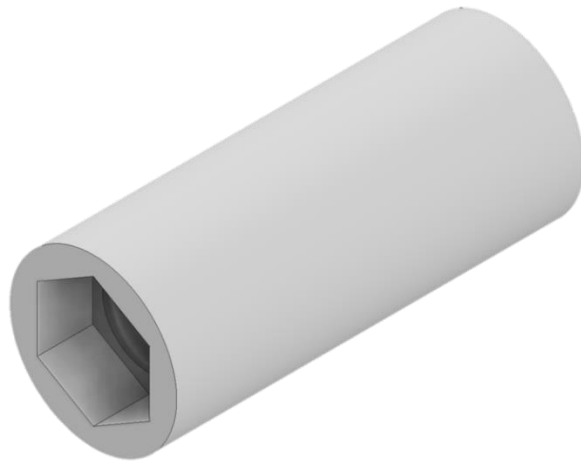


Figura 20- Parafusos de fixação dos pinos



Figura 21- Pinos de ligação das câmaras

4. Caso Prático

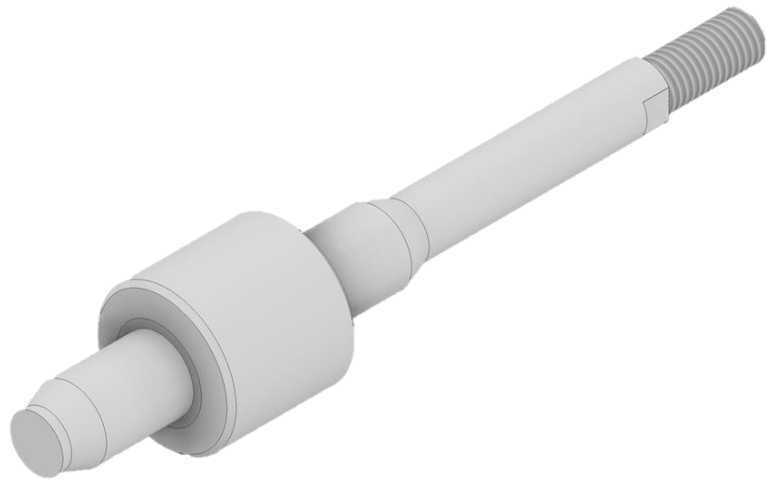


Figura 22- Veio principal do cilindro

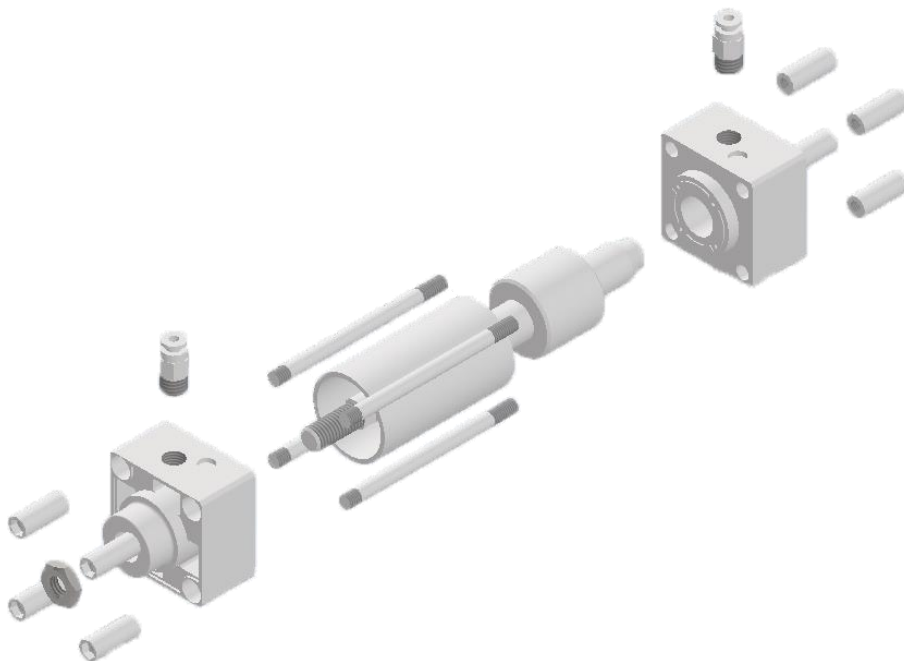


Figura 23- Vista explodida do cilindro C95SDB32-25

4. Caso Prático

4.3 Seleção da melhor sequência de montagem

Após a modelação 3D de todas as peças do cilindro pneumático foram analisadas algumas sequências distintas de montagens possíveis. De entre as várias possibilidades, foram selecionadas 3 sequências de montagem que se acreditava serem as com menor tempo de execução. Numa segunda análise, para cada sequência desenvolveu-se uma simulação 3D da montagem que, em seguida, foi testada em bancada, registando a cronometragem do tempo gasto. Os resultados obtidos são apresentados em seguida.

Sequência 1

Nesta sequência, o cilindro é montado numa posição horizontal, mas após colocar os pinos que ligam a câmara frontal com a câmara traseira, os mesmos ficam sem qualquer ponto de fixação, uma vez que só no passo seguinte serão colocados os parafusos de fixação dos pinos. A dificuldade neste passo torna a sequência 1 a mais demorada das três analisadas como se verifica pelo registo do tempo na figura 25.

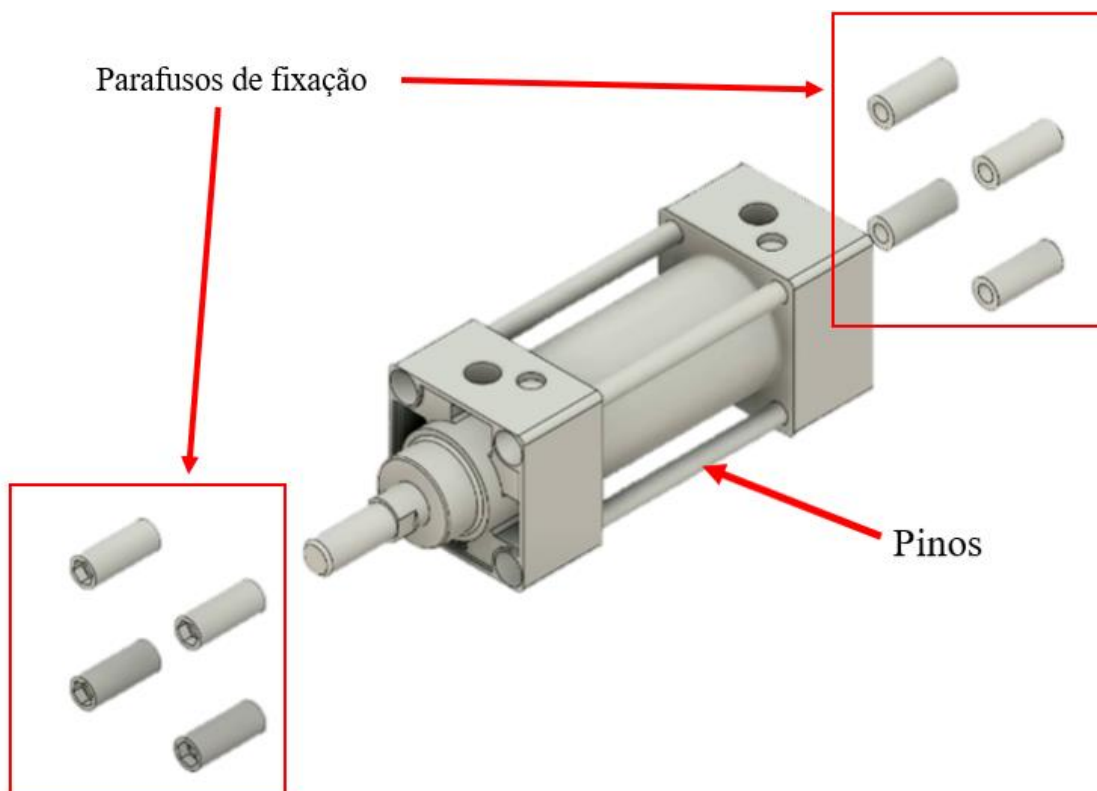


Figura 24- Simulação de montagem da Sequência 1

03:09.93

Figura 25- Cronometragem da Sequência 1

Sequência 2

Na segunda sequência, o cilindro é colocado numa posição vertical usando a câmara traseira como base de apoio. No passo representado na figura 26, surge alguma dificuldade em apontar os quatro pinos em simultâneo com o veio principal na furação da câmara frontal. Na figura 27 verifica-se que o tempo usado diminuiu em relação à sequência 1, no entanto, considerou-se ainda um tempo demasiado elevado para o processo de montagem do cilindro.

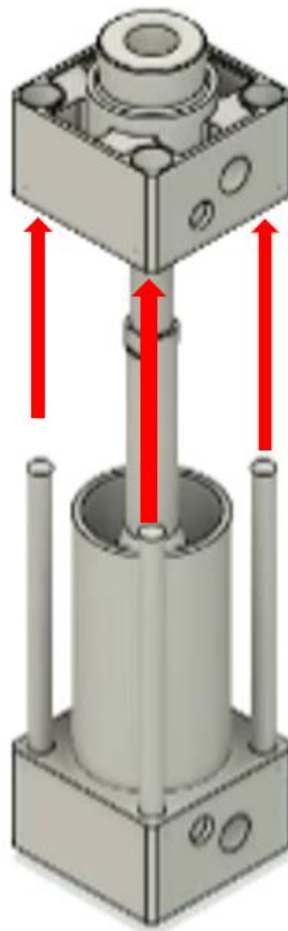


Figura 26- Simulação de montagem da Sequência 2

03:04.17

Figura 27- Cronometragem da Sequência 2

Sequência 3

Na última sequência o cilindro foi colocado novamente numa posição horizontal. Esta sequência é idêntica à primeira analisada, mas com uma alteração na colocação dos pinos que ligam as duas câmaras do cilindro. No passo anterior são enroscados quatro parafusos de fixação numa das extremidades dos pinos antes de serem colocados na furação de forma a bloquear o movimento num dos lados dos pinos, como mostrado na figura 28.

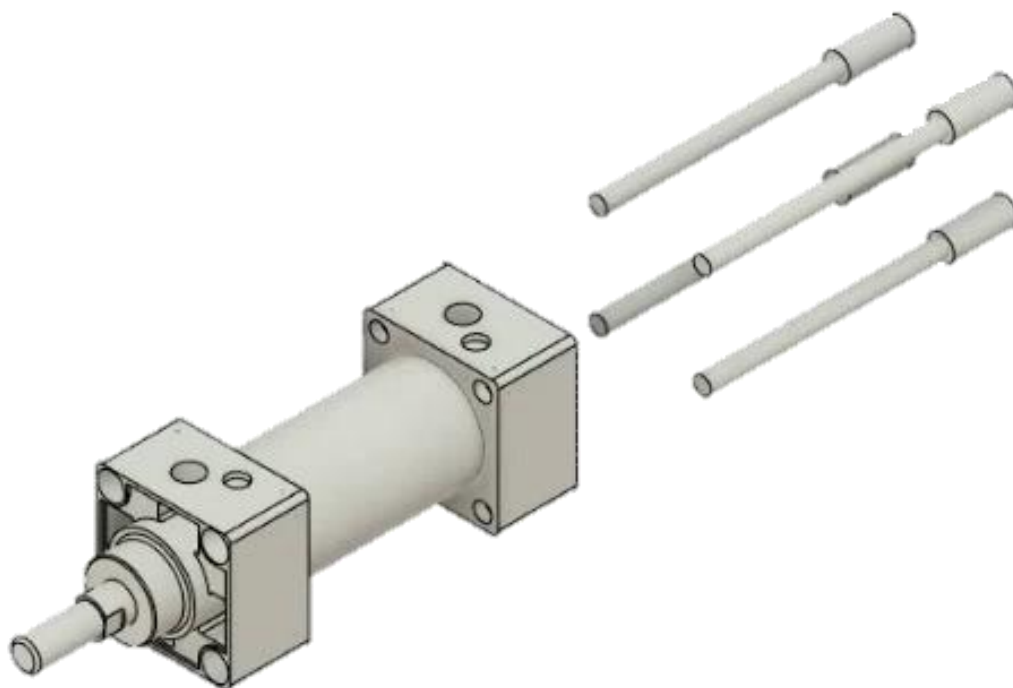


Figura 28- Simulação de montagem da Sequência 3

Das três opções de montagem estudadas, esta última foi a que apresentou um tempo de execução menor, como pode ser confirmado na figura 29, pelo que será a sequência selecionada para desenvolver os estudos seguintes deste projeto.

02:18.00

Figura 29- Cronometragem da Sequência 3

4.4 Programação do Guia no Dynamics 365 Guides

Uma vez escolhida a sequência que apresenta um tempo de montagem menor, com a ajuda do *software Microsoft Dynamics 365 Guides* foi desenvolvida a programação de montagem do cilindro pneumático para implementar nos *smart glasses*. Os elementos 3D enumerados no ponto 4.2 foram importados em formato STL (*Standard Triangle Language*) que se complementam com outros elementos 3D existentes na biblioteca do próprio *software* como os da figura 30. É ainda possível exibir imagem ou vídeos com mais informação para o operador.

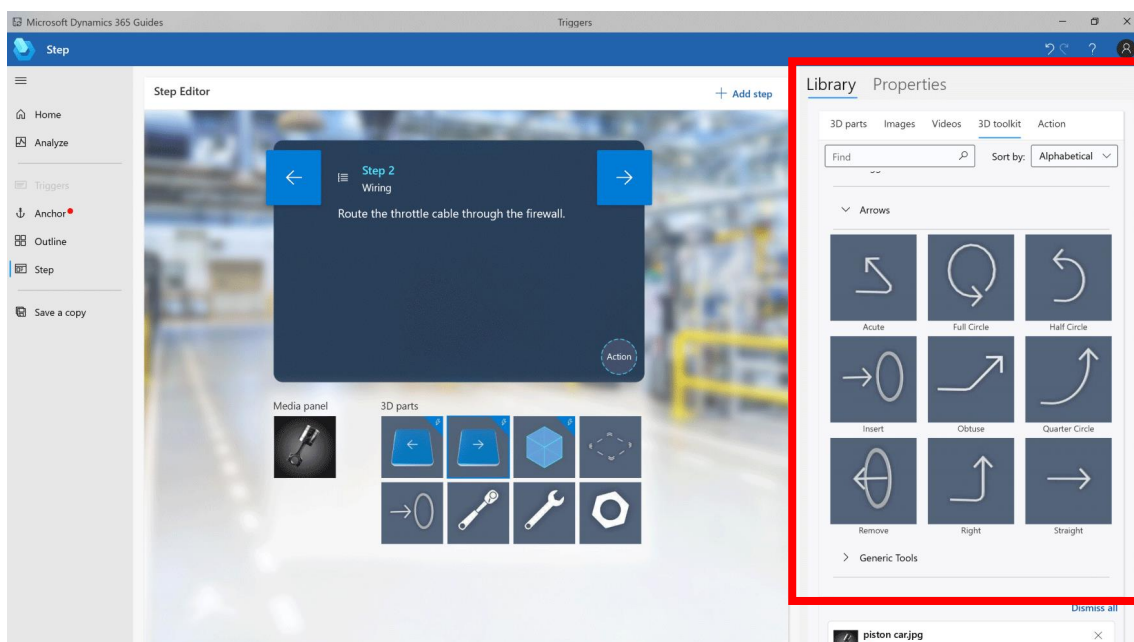


Figura 30- Biblioteca de elementos 3D do Microsoft Dynamics 365 Guides

Fonte: <https://dynamics.microsoft.com/pt-pt/mixed-reality/guides/>

Antes que o operador inicie a produção de peças, é necessário que previamente o autor do programa configure o local onde o trabalho vai ser realizado. No caso deste trabalho começou-se por preparar a bancada didática através do *scan* de um *QR Code*

4. Caso Prático

igual ao da figura 31, para que os *smart glasses HoloLens 2* reconheçam o meio envolvente e localizem os hologramas anteriormente posicionados em cada passo.



Figura 31- Código QR para scan da bancada

O processo de montagem do cilindro pneumático foi dividido em 11 passos, em que cada um é composto por uma janela que apresenta informações em formato de texto para complementar os hologramas já posicionados na bancada.

4.5 Montagem em bancada do Cilindro com apoio dos HoloLens 2

Quando executado o programa, foi selecionado o “modo operador” como representado na figura seguinte, uma vez que a configuração do ambiente já foi feita previamente como autor.

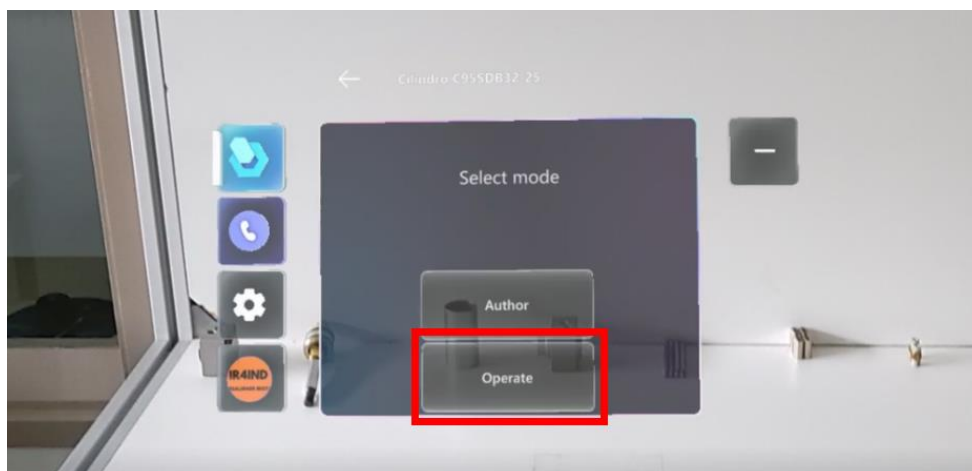


Figura 32- Janela de seleção do modo Operador

4. Caso Prático

Em seguida, realizou-se o *scan* ou processo de ancoragem do *QR Code* colado na bancada para que seja garantida a posição correta dos hologramas em todos os passos antes de iniciar a montagem. O processo de *scan* deve ser repetido cada vez que o programa for executado nos *smart glasses*.



Figura 33- Scan do QR code da bancada

Após o *scan*, iniciou-se a montagem etapa a etapa de acordo com as indicações apresentadas nas janelas informativas para os 11 passos que constituem a montagem do cilindro pneumático (**Apêndice 1**).

Os elementos 3D que constituem a biblioteca do próprio *software* são elementos que complementam a informação com setas que indicam o percurso que as peças devem fazer, hologramas das ferramentas que devem ser usadas ou até indicações de qual o sentido de aperto de um parafuso. Cada passo contém os respectivos elementos 3D da modelação do cilindro pneumático assim como os hologramas de apoio à sua construção (**Apêndice 2**).

No final da montagem e após todos os passos serem cumpridos foi possível armazenar, através dos *smart glasses*, todos os dados relativos à produção do cilindro

4. Caso Prático

pneumático como tempos obtidos, tempos por etapa, o número de peças que foram produzidas, entre outros dados.

4.6 Microsoft Power BI: Relatórios produtivos

Com todos os dados armazenados no *Microsoft Dataverse* (base de dados online da *Microsoft*) e utilizando o *software Microsoft Power BI* foi possível produzir alguns relatórios como o das figuras 34 e 36 que retratam de uma forma gráfica os resultados obtidos durante o processo de montagem e o controlo de stock em tempo real.

4.6.1 Monitorização do tempo de processo

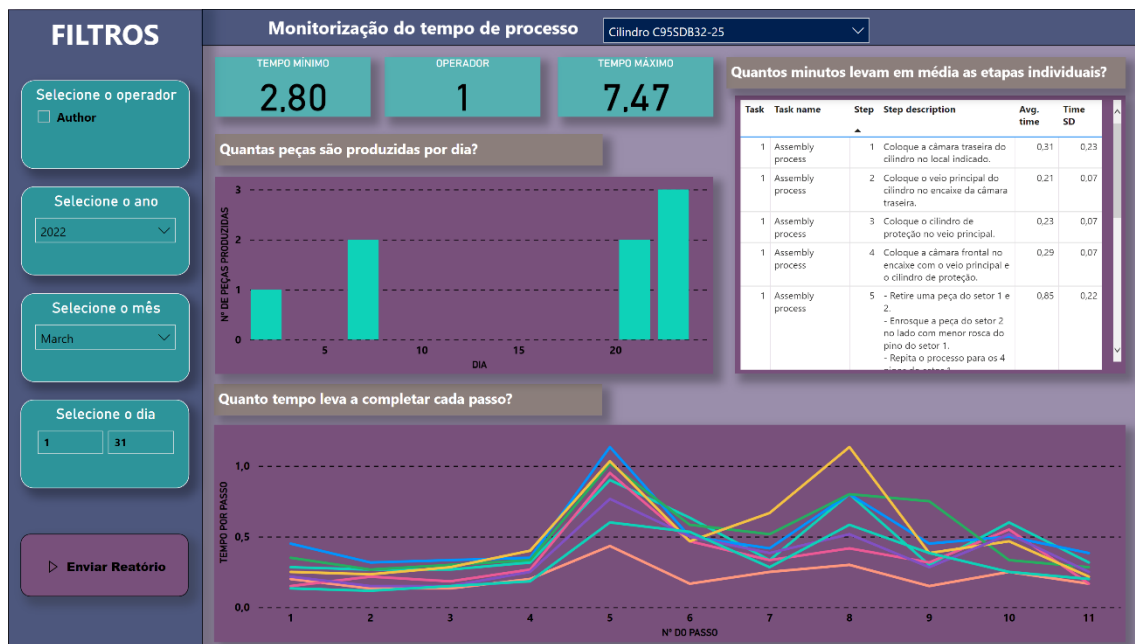


Figura 34- Relatório Microsoft Power Bi: Monitorização do tempo de processo

Estes relatórios apresentam algumas funcionalidades dinâmicas, como a função de aplicar uma filtragem e ver as alterações gráficas em tempo real como por exemplo a janela que se encontra em seguida. No indicador 1 da imagem é possível selecionar qual o operador que realizou a tarefa. Nos indicadores 2, 3 e 4 é possível aplicar a filtragem do ano, mês e do intervalo de dias em que se quer analisar as tarefas executadas pelo operador.

4. Caso Prático

FILTROS

Selecione o operador
 Author

Selecione o ano
2022

Selecione o mês
March

Selecione o dia
1 31

Figura 35- Painel de filtragem do relatório

No relatório elaborado, para além dos tempos de execução e do número de peças produzidas, é também apresentada uma tabela com as 11 etapas que compõem a montagem do cilindro pneumático, assim como a descrição das indicações apresentadas em cada uma delas.

4.6.2 Controlo de stock em tempo real

Foi ainda elaborado mais um relatório que faz o registo do stock de peças existente, atualizando os seus valores em tempo real à medida em que os cilindros vão sendo produzidos.

4. Caso Prático

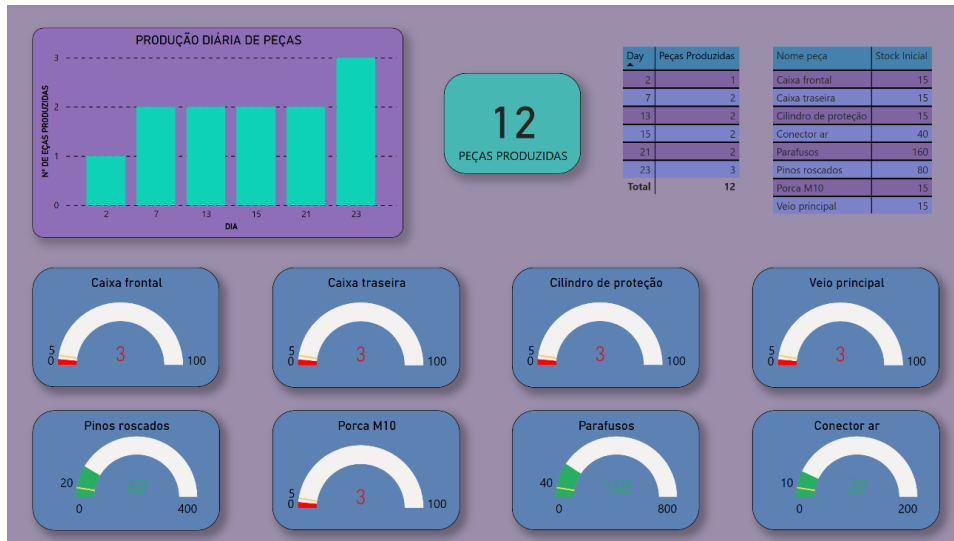


Figura 36- Relatório Microsoft Power Bi: Controlo de stock em tempo real

Na parte superior do relatório é apresentado um gráfico de barras com os cilindros produzidos por dia, o número total de peças e ainda uma tabela com o stock inicial que existe na bancada didática. A parte inferior é composta por medidores que contabilizam em tempo real o número de peças que existem em stock. O traço amarelo representa o stock mínimo de peças definido. Se o número de peças for superior ao stock mínimo definido, a barra vai permanecer a verde, quando for inferior ao stock mínimo a barra passa a vermelho e um alerta é emitido via email para informar que o stock foi abaixo do nível de stock definido.

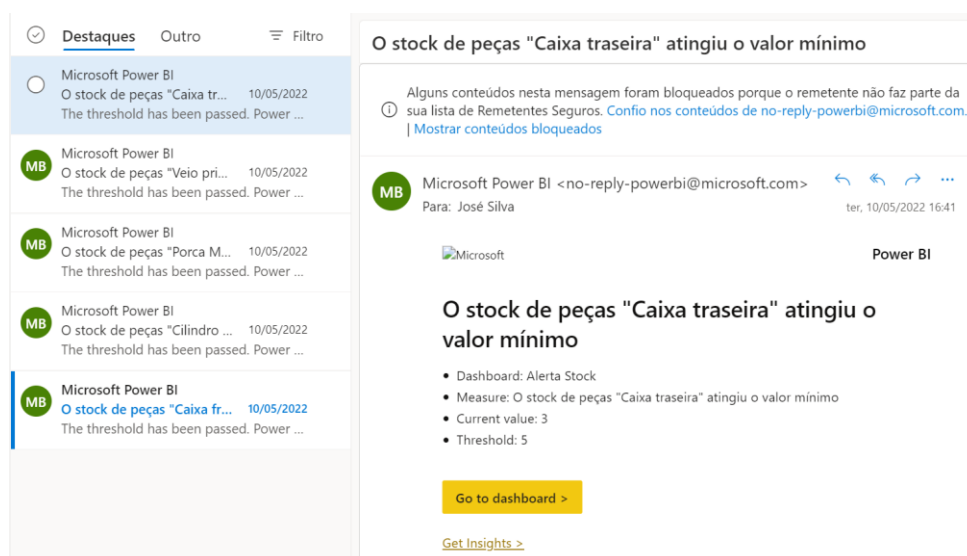


Figura 37- Alerta via email de quebra do stock de peças

4. Caso Prático

4.7 Microsoft Power Apps: Desenvolvimento de uma aplicação

Numa fase posterior foi desenvolvida uma aplicação em *Microsoft Power Apps*. A aplicação tem como objetivo complementar o trabalho no processo de montagem do cilindro pneumático desenvolvendo uma ferramenta que ajude no controlo de peças em stock e na contabilização de cilindros pneumáticos produzidas.

Na tela inicial, da figura 38 foram inseridos dois botões que dão acesso a duas telas distintas.

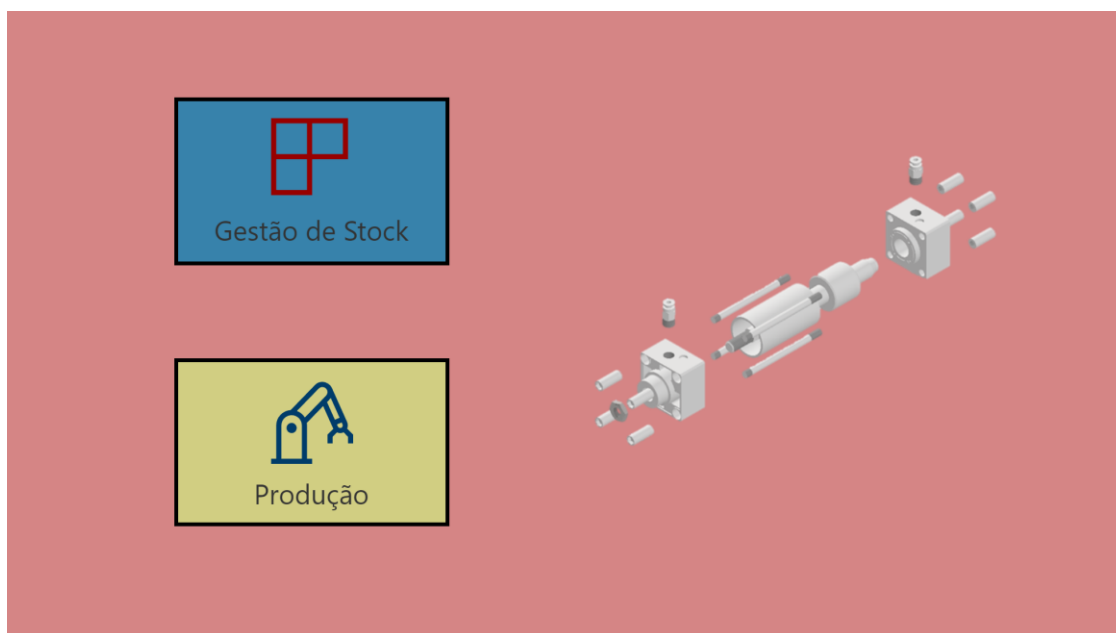


Figura 38- Tela inicial da aplicação

No botão referente à gestão de stock, a aplicação dá acesso a uma nova tela onde é apresentada uma tabela com o stock de peças no lado esquerdo. No lado direito foi colocado um formulário que permite a um operador ou a um gestor de stock editar os valores presentes na tabela, remover peças do stock que já não pertençam ao produto e ainda inserir novas peças que tenham sido acrescentadas no processo produtivo.

4. Caso Prático

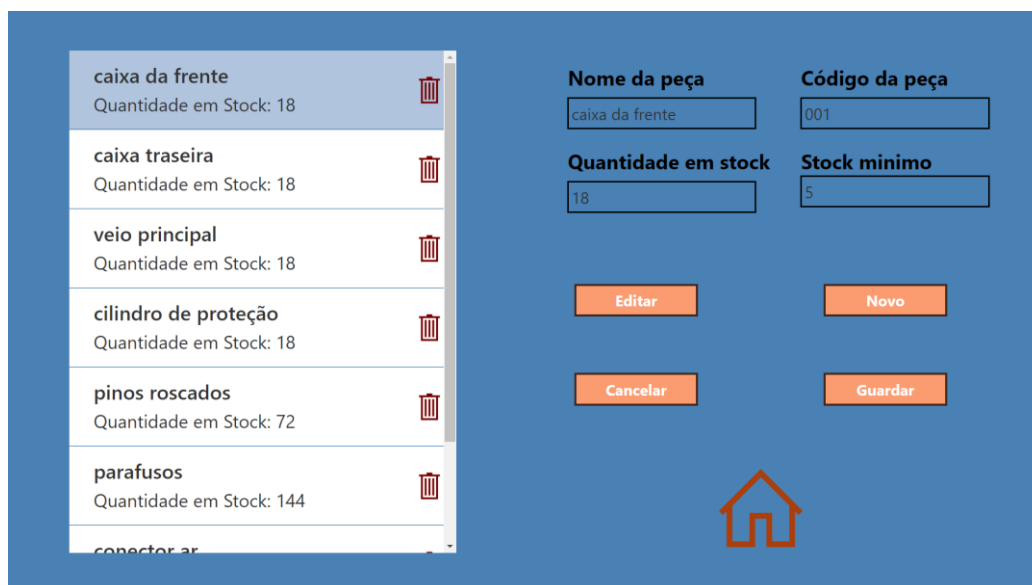


Figura 39- Tela "Gestão de Stock" da aplicação

No botão referente à Produção, a aplicação encaminha o operador para uma tela onde ele próprio consegue gerir a produção de uma forma manual. Consegue adicionar peças produzidas ao clicar no botão verde ou remover no caso de uma peça com defeito com um clique no botão vermelho. Nas duas situações, quer seja para adicionar ou remover peças produzidas o stock é atualizado em tempo real na tabela acima dos botões.

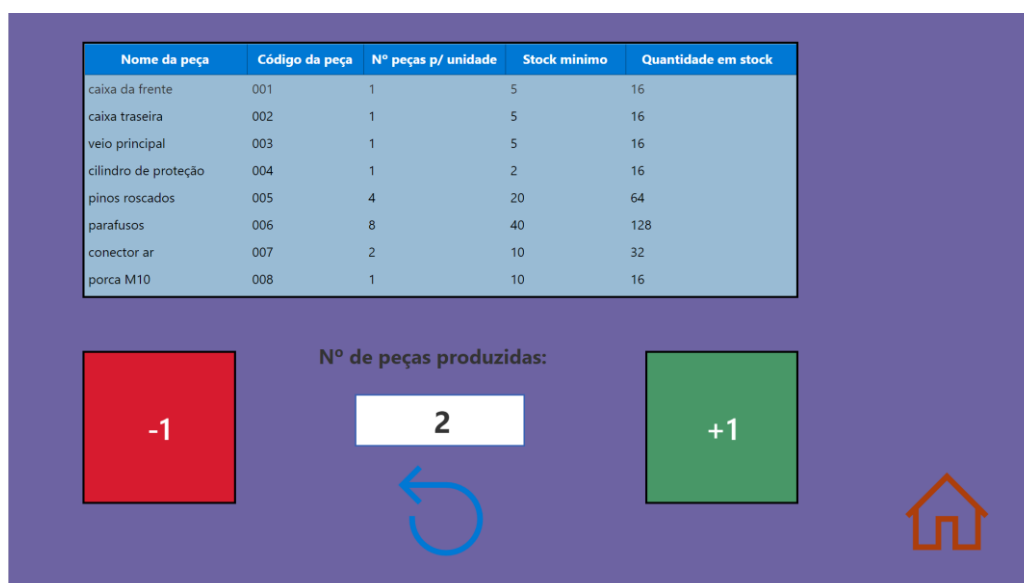


Figura 40- Tela "Produção" da aplicação

4. Caso Prático

4.8 Microsoft Power Automate: Fluxograma de automação do processo

Com a necessidade de os dados fluírem de uma forma rápida por toda a equipa de trabalho, foi desenvolvido um fluxo programado no *software Microsoft Power Automate* para simular a partilha de dados pelos vários departamentos de uma empresa.

No relatório de monitorização do tempo de processo foi adicionado um botão como o da figura 41 que compila e exporta os dados do relatório para um email pré-definido. Facilmente os dados são distribuídos por diferentes pessoas para que cada um consulte e utilize aqueles que lhe forem mais úteis.



Figura 41- Botão de envio automático de dados do relatório

4. Caso Prático

O fluxo programado é iniciado quando o botão do relatório é premido, em seguida os dados são selecionados, a tabela é gerada, e por fim, importada e enviada via email de forma instantânea para o email definido previamente.

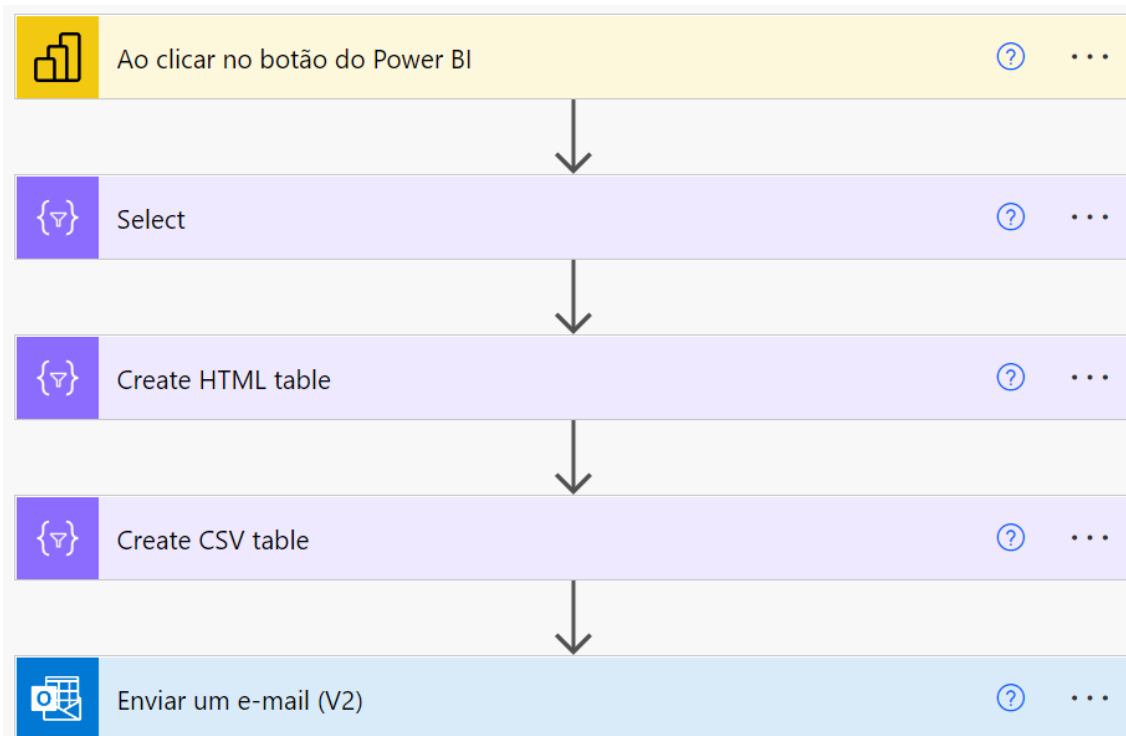


Figura 42- Microsoft Power Automate: Fluxograma programado

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Esta dissertação, no âmbito do Mestrado em Engenharia Mecânica e Gestão Industrial teve como principal objetivo a aplicação da Realidade Mista como ferramenta de apoio na aprendizagem e controlo de tarefas do operador em bancada didática simulando o ambiente industrial.

De uma forma geral, o desenvolvimento das *Learning Factories* surge como um grande avanço no processo de aprendizagem, não só dentro do meio industrial, mas também noutros setores como medicina ou ensino. No entanto, durante a revisão de literatura verificou-se que ainda existe algum receio por parte das empresas devido ao grande investimento necessário. Este que se torna ainda maior quando é aliada a utilização da Realidade Mista, uma tecnologia com custos de equipamento e softwares bastante elevados.

Numa fase inicial, foi selecionado de entre os vários modelos disponíveis o cilindro pneumático C95SDB32-25 para desenvolver a sua montagem. Durante os primeiros testes, surgiram os primeiros desafios com a necessidade de montar e desmontar várias vezes o cilindro para obter o melhor resultado na cronometragem do tempo. Foram testadas diferentes posições e sequências, para em seguida, com a melhor opção desenvolver a aplicação utilizando a Realidade Mista. Na segunda fase de testes foi desenvolvida a modelagem 3D de todas as peças do cilindro e simulado o seu processo de montagem nas três sequências selecionadas durante os primeiros testes. A modelagem e simulação mostrou-se uma ferramenta vantajosa, uma vez que substituiu as constantes montagens e desmontagens físicas do equipamento, diminuindo o seu desgaste.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

Durante o desenvolvimento da aplicação, utilizando o *software Microsoft Dynamics 365 Guides*, concluímos que apesar de ser bastante intuitivo na sua utilização, numa fase mais avançada da sua programação apresentou algumas limitações. Foi possível desenvolver a sequência de passos para a montagem do cilindro, no entanto a validação da correta montagem passou sempre pela verificação do operador. Com este *software*, os *HoloLens 2* não foram capazes de gerar um alerta em caso de erro na sequência de montagem.

Por outro lado, a conjugação de *softwares* utilizados pertencentes à *Microsoft* facilitou a rápida conexão e partilha de dados entre eles. Com a capacidade dos *HoloLens 2* armazenarem os dados recolhidos durante a execução da montagem, foi possível ainda produzir dois relatórios sobre tempos de produção e controlo de stock no *software Microsoft Power BI*. Que foram complementados com uma aplicação desenvolvida em *Microsoft Power Apps* para complementar o apoio ao operador no controlo de stock, permitindo-lhe registar a entrada e saída de peças.

Já numa fase posterior de testes com os *HoloLens 2*, foi possível verificar que após algumas horas de utilização, o equipamento pode causar alguma fadiga na cabeça e na visão do operador. Apesar de permitir manter sempre as mãos do operador livres, o elevado tempo de uso acaba por causar desconforto devido ao peso do equipamento e dores de cabeça pelo forçar da visão. Em alguns dos testes realizados, as imagens e hologramas em movimento emitidos pelos *smart glasses* surgem com algum desfoque o que acelera o desgaste da visão.

No entanto, durante o decorrer do trabalho, verificou-se que é viável a implementação da Realidade Mista como ferramenta de apoio no processo de aprendizagem, por mais simples que seja a tarefa exigida ao operador. Não só serve para melhorar a experiência de aprendizagem, como por vezes, permite ainda eliminar essa fase, fornecendo apoio diretamente em contexto real de produção.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

5.1 Trabalhos Futuros

Esta dissertação aborda um tema bastante recente que, em algumas áreas ainda apresenta escassez de informação. Aquando do término deste trabalho, ficou claro que o que foi desenvolvido representa apenas uma pequena parte do início da investigação da implementação de uma das várias tecnologias desenvolvidas pela da Indústria 4.0.

Numa abordagem futura, importa testar esta aplicação em outros modelos de *smart glasses*. Para além dos *HoloLens 2*, existem já outros de diferentes marcas com novas funcionalidades e designs. É vantajoso testar modelos com dimensões menores de forma a avaliar o cansaço e o desgaste da visão dos operadores durante o seu uso por longos períodos. Uma vez que o modelo utilizado neste trabalho apresentou um baixo desempenho neste ponto.

Propõe-se também, testar o projeto em *softwares* independentes da *Microsoft*. Durante a programação verificaram-se algumas limitações de *software* que não permitiram cumprir todos os pontos que estavam programados inicialmente nos objetivos. Era um dos objetivos específicos conseguir gerar alertas para que o operador percebesse quando estava a cometer erros no processo de montagem. Existem outros *softwares* como *Unity* ou *Unreal*, que em trabalhos futuros permitirão desenvolver aplicações mais completas.

Outro ponto que pode ser desenvolvido futuramente é a melhoria da bancada de trabalho. Implementar um armazém inteligente para facilitar o acesso e controlo do stock, utilização de um robot AGV ou braço robótico para organização e distribuição das peças produzidas. Seria possível também, implementar um sistema de sensores no operador de forma a monitorizar o seu estado durante o período de trabalho. Aliado aos relatórios desenvolvidos no *Power BI*, torna-se possível perceber onde o operador teve uma queda no seu rendimento e quais foram os motivos.

5. Conclusões e Trabalhos Futuros

REFERÊNCIAS

- Abele, E., Chryssolouris, G., Sihn, W., Metternich, J., ElMaraghy, H., Seliger, G., Sivard, G., ElMaraghy, W., Hummel, V., Tisch, M., & Seifermann, S. (2017). Learning factories for future oriented research and education in manufacturing. *CIRP Annals*, Vol. 66, 803–826. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2017.05.005>
- Abele, E., Metternich, J., & Tisch, M. (2019). *Learning Factories: Concepts, Guidelines, Best-Practice Examples*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92261-4>
- Abele, E., Metternich, J., Tisch, M., Chryssolouris, G., Sihn, W., ElMaraghy, H., Hummel, V., & Ranz, F. (2015). Learning Factories for Research, Education, and Training. *Procedia CIRP*, Vol. 32, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.187>
- Anderl, R. (2015). *Industrie 4.0—Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production*. 19th International Seminar on High Technology. <https://doi.org/10.13140/2.1.1039.4406>
- Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International Journal of Production Economics*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527320301559>
- Bartelt, M., Stecken, J., & Kuhlenkötter, B. (2020). Automated production of individualized products for teaching I4.0 concepts. *Procedia Manufacturing*, Vol. 45, 337–342. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.027>
- Carvalho, N., Chaim, O., Cazarini, E., & Gerolamo, M. (2018). Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing. *Procedia Manufacturing*, Vol. 21, 671–678. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.170>
- Cheng, G.-J., Liu, L.-T., Qiang, X.-J., & Liu, Y. (2016). Industry 4.0 Development and Application of Intelligent Manufacturing. *International Conference on Information System and Artificial Intelligence (ISAI)*, 407–410. <https://doi.org/10.1109/ISAI.2016.0092>
- Chryssolouris, G., Mavrikios, D., & Rentzos, L. (2016). The Teaching Factory: A Manufacturing Education Paradigm. *Procedia CIRP*, Vol. 57, 44–48. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.009>
- Dombrowski, U., Richter, T., & Krenkel, P. (2017). Interdependencies of Industrie 4.0 & Lean Production Systems: A Use Cases Analysis. *Procedia Manufacturing*, Vol. 11, 1061–1068. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.217>

Referências

- Doolani, S., Wessels, C., Kanal, V., Sevastopoulos, C., Jaiswal, A., Nambiappan, H., & Makedon, F. (2020). A Review of Extended Reality (XR) Technologies for Manufacturing Training. *Technologies*, Vol. 8, 77–97. <https://doi.org/10.3390/technologies8040077>
- Eder, M., Hulla, M., Mast, F., & Ramsauer, C. (2020). On the application of Augmented Reality in a learning factory working environment. *Procedia Manufacturing*, Vol. 45, 7–12. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.030>
- Eder, M., Spitzer, M., Hebenstreit, M., & Ramsauer, C. (2021). Development and Evaluation of a Mixed Reality Assistance System in the Context of Manual Assembly. *SSRN Electronic Journal*. 11th Conference on Learning Factories 2021. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3858456>
- Ejsmont, K., Gladysz, B., Corti, D., Castaño, F., Mohammed, W. M., & Martinez Lastra, J. L. (2020, janeiro 1). Towards 'Lean Industry 4.0' – Current trends and future perspectives. *Cogent Business & Management*, 1781995.
- Flavián, C., Ibáñez-Sánchez, S., & Orús, C. (2019). The impact of virtual, augmented and mixed reality technologies on the customer experience. *Journal of Business Research*, Vol. 100, 547–560. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2018.10.050>
- García, J. (2021). *OPPO Air Glass: Las primeras gafas de «realidad asistida» de OPPO nos dan instrucciones y hasta sirven de teleprompter*. Xataka. <https://www.xataka.com/otros-dispositivos/oppo-air-glass-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>
- Gowda, R. S., & Suma, V. (2017). A comparative analysis of traditional education system vs. E-Learning. *International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, 567–571. <https://doi.org/10.1109/ICIMIA.2017.7975524>
- Haghighi, A., Zadeh, N. S., Sivard, G., Lundholm, T., & Eriksson, Y. (2014). Digital Learning Factories: Conceptualization, review and discussion. *The 6th Swedish Production Symposium (SPS14)*. <http://conferences.chalmers.se/index.php/SPS/SPS14/paper/viewFile/1729/401>
- Hart, M., Blythe, M., Buck, A., Berdugo, M., Sharabi, K., Sparkman, M., & Sharkey, K. (2022). *What is Power BI? - Power BI*. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/fundamentals/power-bi-overview>
- Herbert, D., Fernandez, J., Vivek, K., Steinmetz, D., Nijemcevic, T., Kumar, S., Owen, A., & Siciliano, S. (2022). *Get started with Power Automate—Power Automate*. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-automate/getting-started>
- Herbert, D., Garty, C., Leon, M., Vivek, K., & Coulter, D. (2022). *Overview of the types of flows in Power Automate(contains video)—Power Automate*. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-automate/flow-types>

Referências

- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. *49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928–3937. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- Holtzman, J., Steinmetz, D., & Vivek, K. (2022, março 24). *Administering a Power Apps enterprise deployment—Power Platform*. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-platform/admin/admin-powerapps-enterprise-deployment>
- Ideia. (2021, abril 28). *Indústria 4.0*. <https://site.ideia.cv/index.php/blog/98-industria-4-0.html>
- Iseminger, D., Simpson, D., Buck, A., Hart, M., Sparkman, M., Coulter, D., & Sharkey, K. (2022). *What is Power BI Desktop? - Power BI*. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-bi/fundamentals/desktop-what-is-desktop>
- Juraschek, M., Büth, L., Posselt, G., & Herrmann, C. (2018). Mixed Reality in Learning Factories. *Procedia Manufacturing*, Vol. 23, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.009>
- Kovar, J., Muralova, K., Ksica, F., Kroupa, J., Andrs, O., & Hadas, Z. (2016). *Virtual reality in context of Industry 4.0 proposed projects at Brno University of Technology*. In 17th International Conference on Mechatronics-Mechatronika (ME), Prague, Czech Republic.
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business & Information Systems Engineering*, Vol. 6, 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Laugesen, A., Vivek, K., Weatherby, J., Maniar, T., Orth, A., Jaiswal, S., Owen, A., Cai, S., & Blythe, M. (2022). *Start building apps—Power Apps*. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-apps/maker/>
- Leal, L. F., Fleury, A., & Zancul, E. (2020). Starting up a Learning Factory focused on Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, Vol. 45, 436–441. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.049>
- Lenart-Gansiniec, R. (2019). Organizational Learning in Industry 4.0. *Index Copernicus*, Vol. 2, 96–108. <https://doi.org/10.7172/1644-9584.82.4>
- Maheso, M. N., Mpofu, K., & Sibanda, V. (2018). Flexible and Adaptable Learning Factories for the Rail Car Manufacturing industry. *Procedia Manufacturing*, Vol. 23, 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.024>
- Makumbe, S., Hattingh, T., Plint, N., & Esterhuizen, D. (2018). Effectiveness of using Learning Factories to impart Lean principles in mining employees. *Procedia Manufacturing*, Vol. 23, 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.163>

Referências

- Maniar, T., Vivek, K., Owen, A., Pareek, S., & Blythe, M. (2022). *Create a canvas app with data from Microsoft Lists—Power Apps*. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-apps/maker/canvas-apps/app-from-sharepoint>
- Maylyan, M. (2022). *Overview of Dynamics 365 Guides—Dynamics 365 Mixed Reality*. <https://learn.microsoft.com/en-us/dynamics365/mixed-reality/guides/>
- Microsoft Corporation. (s.d.a). *HoloLens 2 – Visão geral, funcionalidades e especificações / Microsoft HoloLens*. <https://www.microsoft.com/pt-br/hololens/hardware>
- Microsoft Corporation. (s.d.b). *Realidade Misturada da Microsoft / Guides de RA / Microsoft Dynamics 365*. <https://dynamics.microsoft.com/pt-br/mixed-reality/guides/>
- Müller-Frommeyer, L. C., Aymans, S. C., Bargmann, C., Kauffeld, S., & Herrmann, C. (2017). Introducing Competency Models as a Tool for Holistic Competency Development in Learning Factories: Challenges, Example and Future Application. *Procedia Manufacturing, Vol. 9*, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.015>
- Park, S., Bokijonov, S., & Choi, Y. (2021). Review of Microsoft HoloLens Applications over the Past Five Years. *Applied Sciences, Vol. 11*. <https://doi.org/10.3390/app11167259>
- Powermaia. (s.d.). *Produtividade—Dashboards de indicadores. Powermaia*. <https://www.powermaia.pt/dashboards/produtividade/>
- Prinz, C., Kreggenfeld, N., & Kuhlenkötter, B. (2018). Lean meets Industrie 4.0 – a practical approach to interlink the method world and cyber-physical world. *Procedia Manufacturing, Vol. 23*, 21–26. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.155>
- Raghavendra, N., & Rajini, R. (2012). A qualified analysis of traditional and technology assisted learning—An IT industry outlook. *2012 IEEE International Conference on Engineering Education: Innovative Practices and Future Trends (AICERA)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/AICERA.2012.6306703>
- Sautter, B., & Daling, L. (2021). Mixed Reality Supported Learning for Industrial on-the-job Training. *SSRN Electronic Journal*. 11th Conference on Learning Factories 2021. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3864189>
- Ślusarczyk, B. (2018). INDUSTRY 4.0 – ARE WE READY? *Polish Journal of Management Studies, Vol. 17*, 232–248. <https://doi.org/10.17512/pjms.2018.17.1.19>

Referências

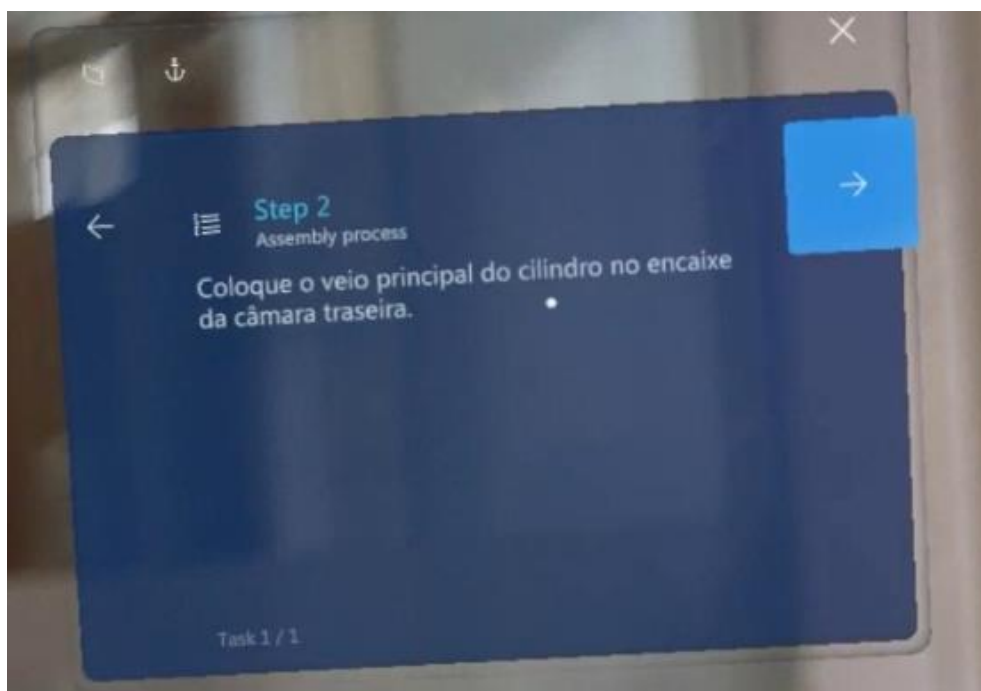
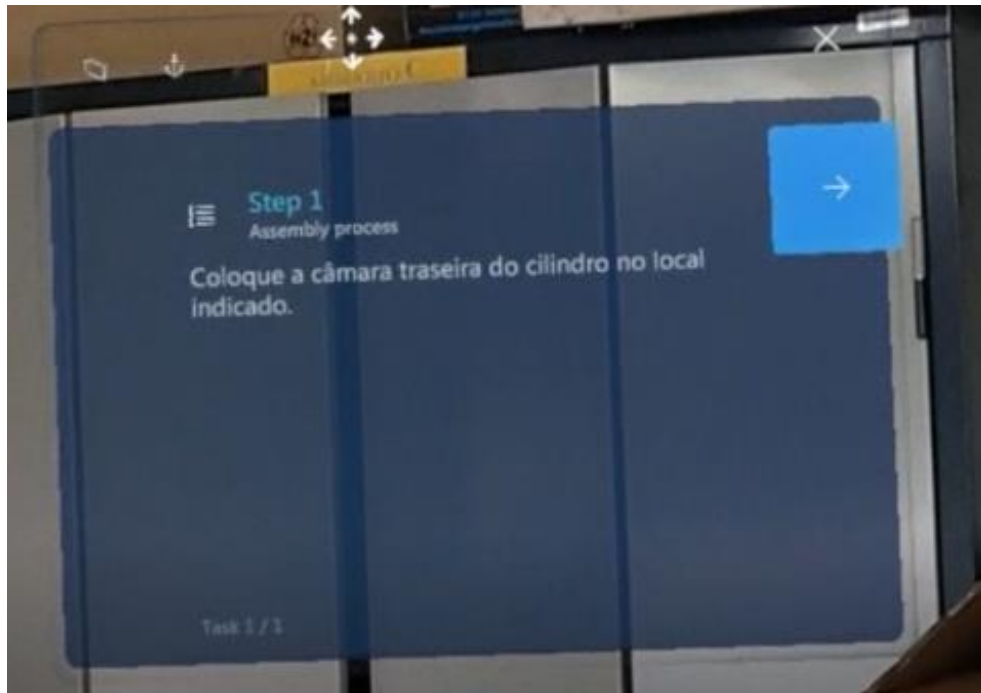
- Sorko, S. R., Trattner, C., & Komar, J. (2020). Implementing AR/MR – Learning factories as protected learning space to rise the acceptance for Mixed and Augmented Reality devices in production. *Procedia Manufacturing*, Vol. 45, 367–372. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.04.037>
- Taj, S. (2008). Lean manufacturing performance in China: Assessment of 65 manufacturing plants. *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 19, 217–234. <https://doi.org/10.1108/17410380810847927>
- Tisch, M., & Metternich, J. (2017). Potentials and Limits of Learning Factories in Research, Innovation Transfer, Education, and Training. *Procedia Manufacturing*, Vol. 9, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.027>
- Tisch, M., Ranz, F., Abele, E., Metternich, J., & Vera, H. (2015). Learning Factory Morphology – Study Of Form And Structure Of An Innovative Learning Approach In The Manufacturing Domain. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 8.
- Trantzas, G., Leon, M., & Herbert, D. (2022). *Introduction to desktop flows—Power Automate*. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-automate/desktop-flows/introduction>
- Velásquez, N., Estevez, E., & Pesado, P. (2018, dezembro 12). Cloud Computing, Big Data and the Industry 4.0 Reference Architectures. *Journal of Computer Science and Technology*. <https://journal.info.unlp.edu.ar/JCST/article/view/1151>
- Verma, S. D. (2021, fevereiro 22). Samsung is reportedly working on AR Glasses—Smartprix.com. *Smartprix Bytes*. <https://www.smartprix.com/bytes/samsung-glasses-lite-ar/>
- Veza, I., Gjeldum, N., & Mladineo, M. (2015). Lean Learning Factory at FESB – University of Split. *Procedia CIRP*, Vol. 32, 132–137. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.223>
- Vidal-Balea, A., Blanco-Novoa, O., Fraga-Lamas, P., Vilar-Montesinos, M., & Fernández-Caramés, T. M. (2020, dezembro 18). Creating Collaborative Augmented Reality Experiences for Industry 4.0 Training and Assistance Applications: Performance Evaluation in the Shipyard of the Future. *Applied Sciences*. <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/24/9073>
- Vivek, K., Maniar, T., Laugesen, A., Weatherby, J., Holtzman, J., Karafilov, T., Jaiswal, S., & Owen, A. (2022). *What is Power Apps? - Power Apps*. <https://learn.microsoft.com/en-us/power-apps/powerapps-overview>
- Wagner, T., Herrmann, C., & Thiede, S. (2017). Industry 4.0 Impacts on Lean Production Systems. *Procedia CIRP*, Vol. 63, 125–131. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2017.02.041>

Referências

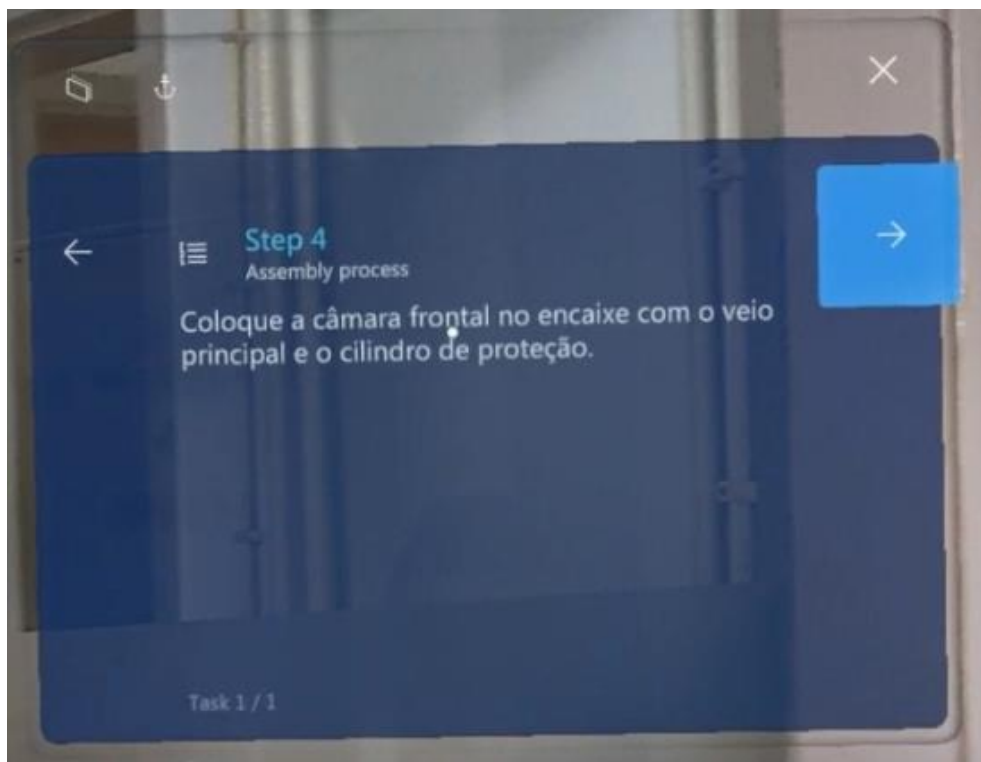
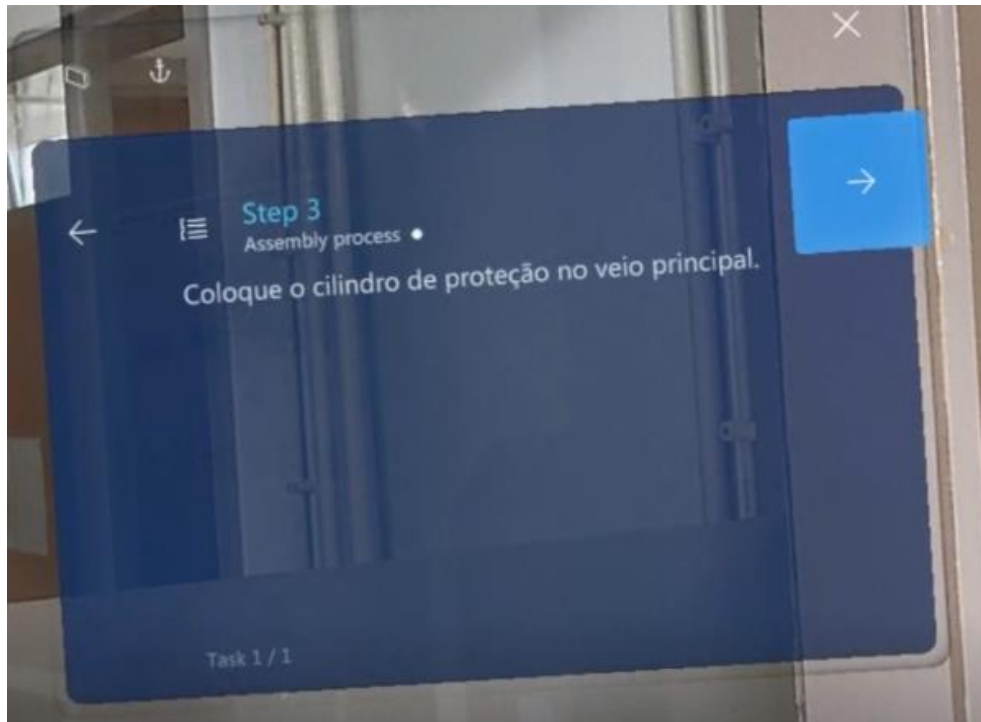
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: State of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, Vol. 56, 2941–2962.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1444806>

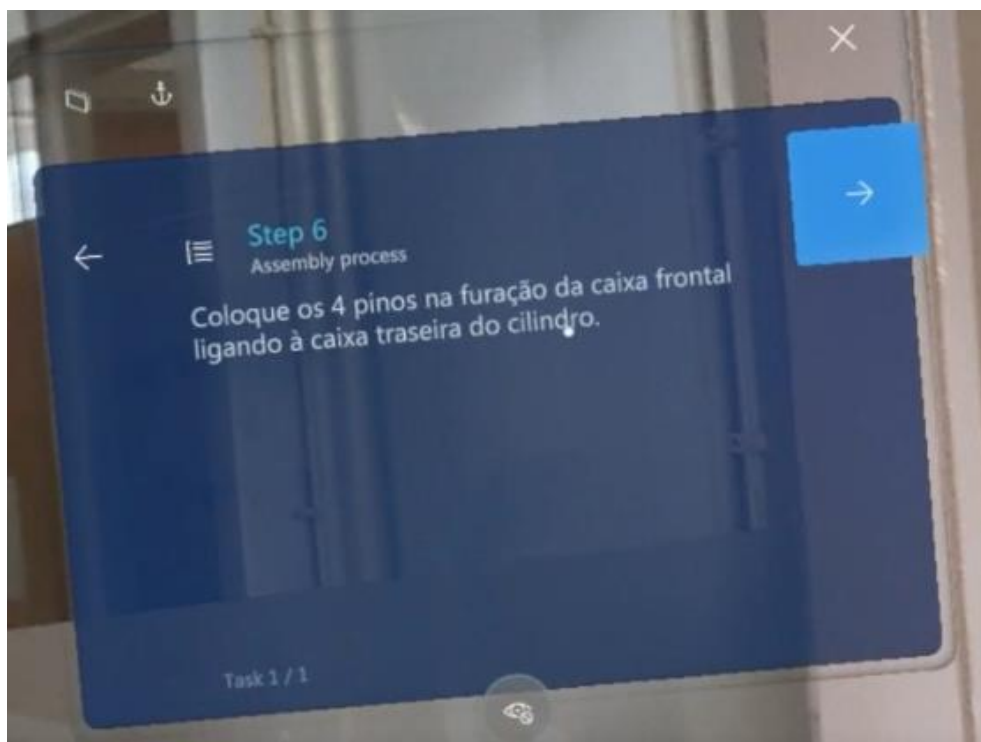
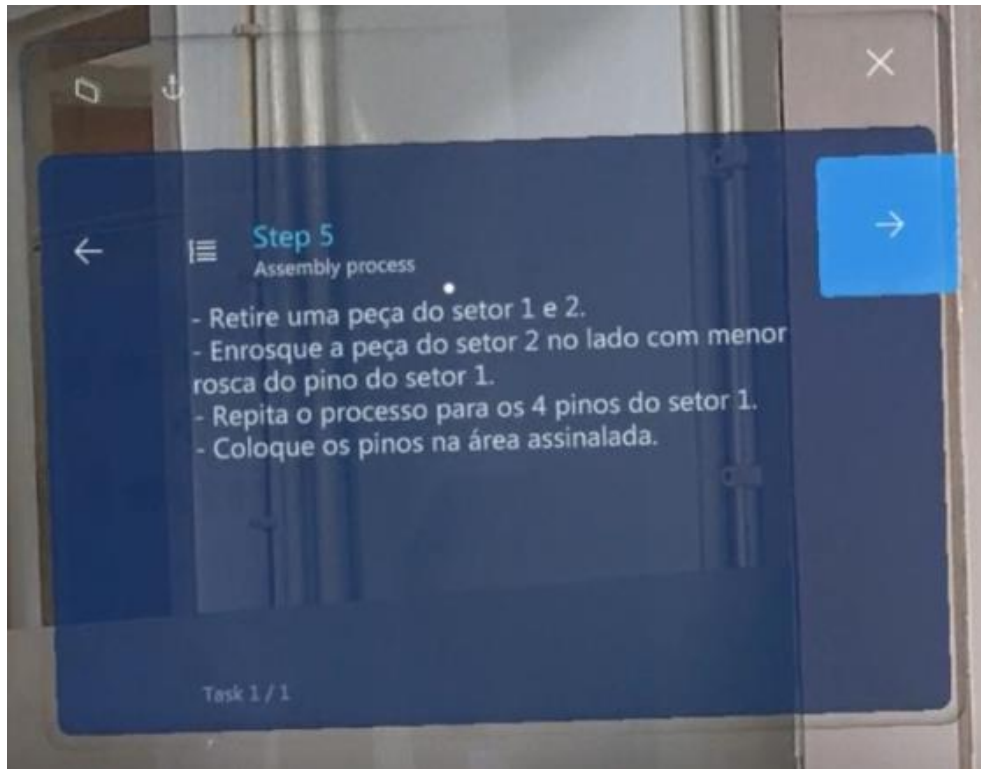
APÊNDICES

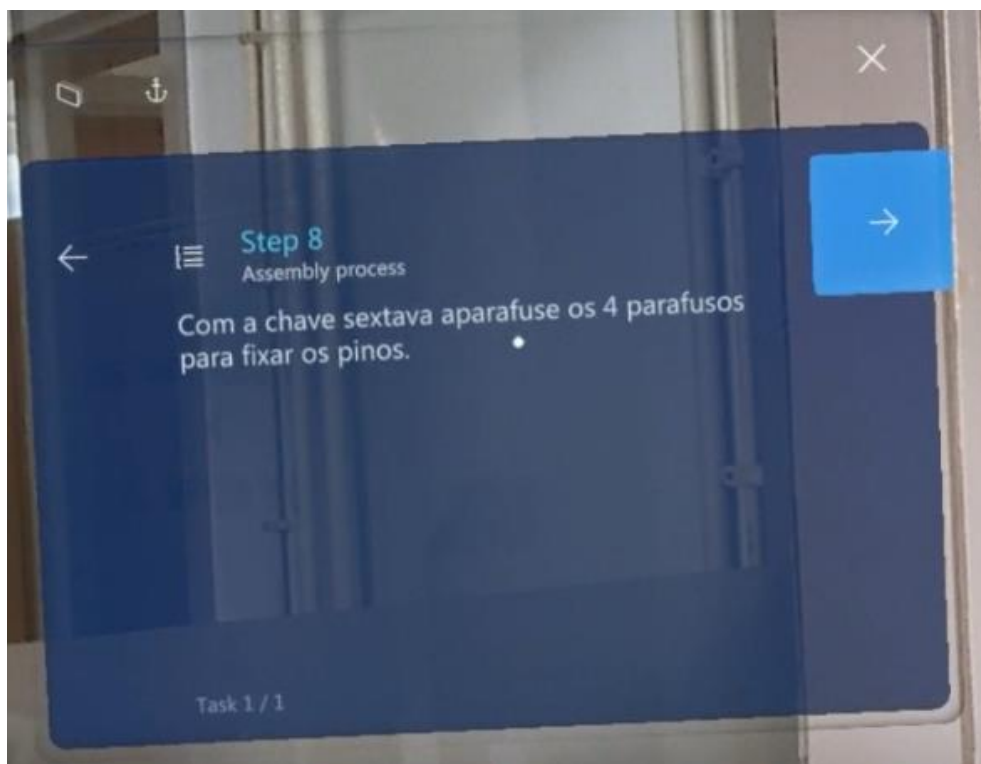
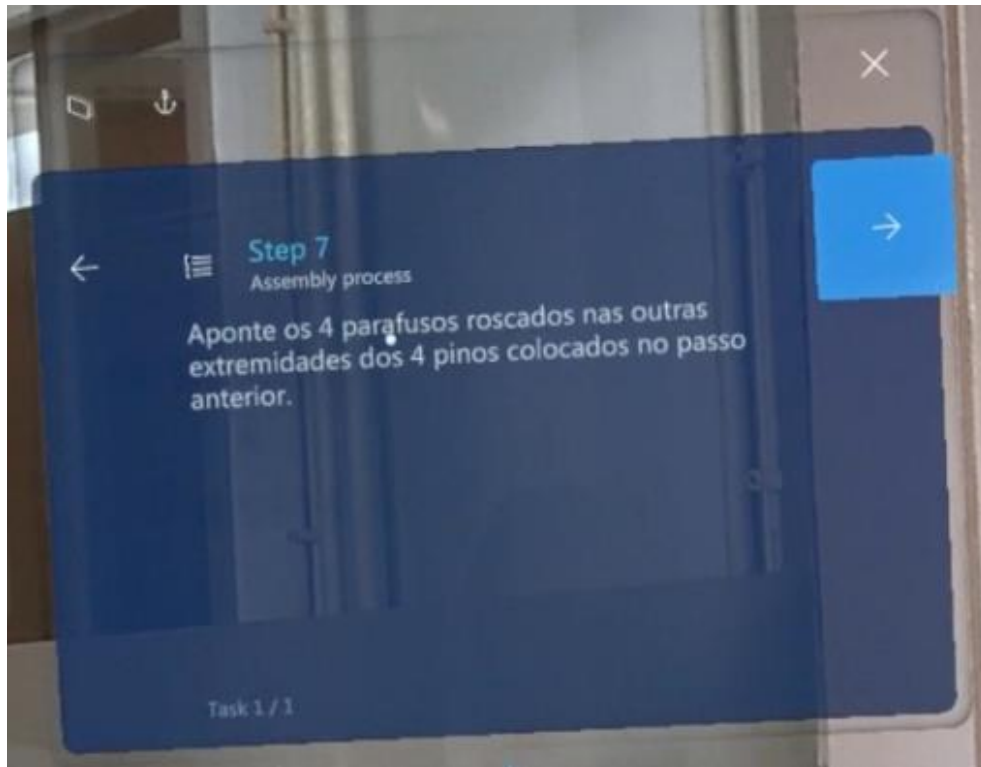
Apêndice A | Janelas informativas Microsoft Dynamics 365 Guides



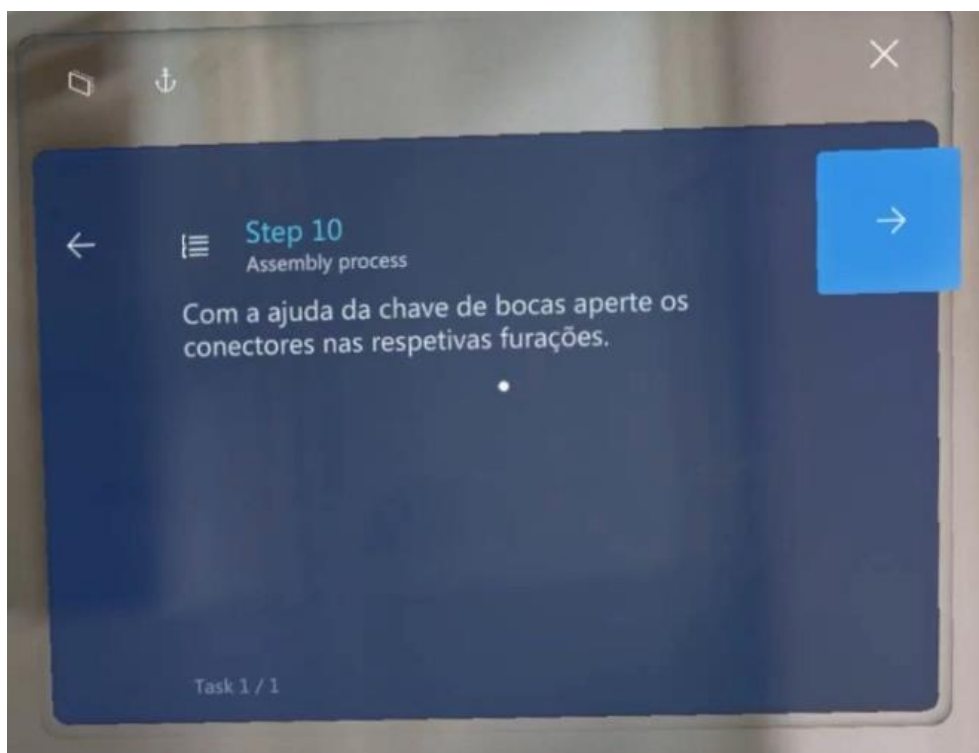
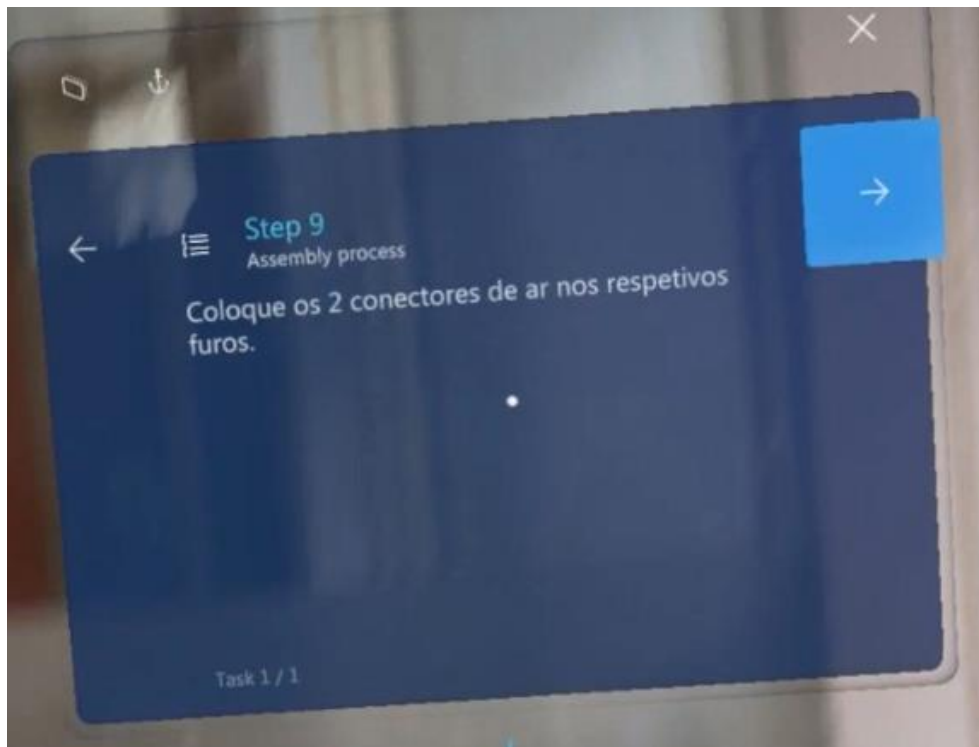
Apêndices



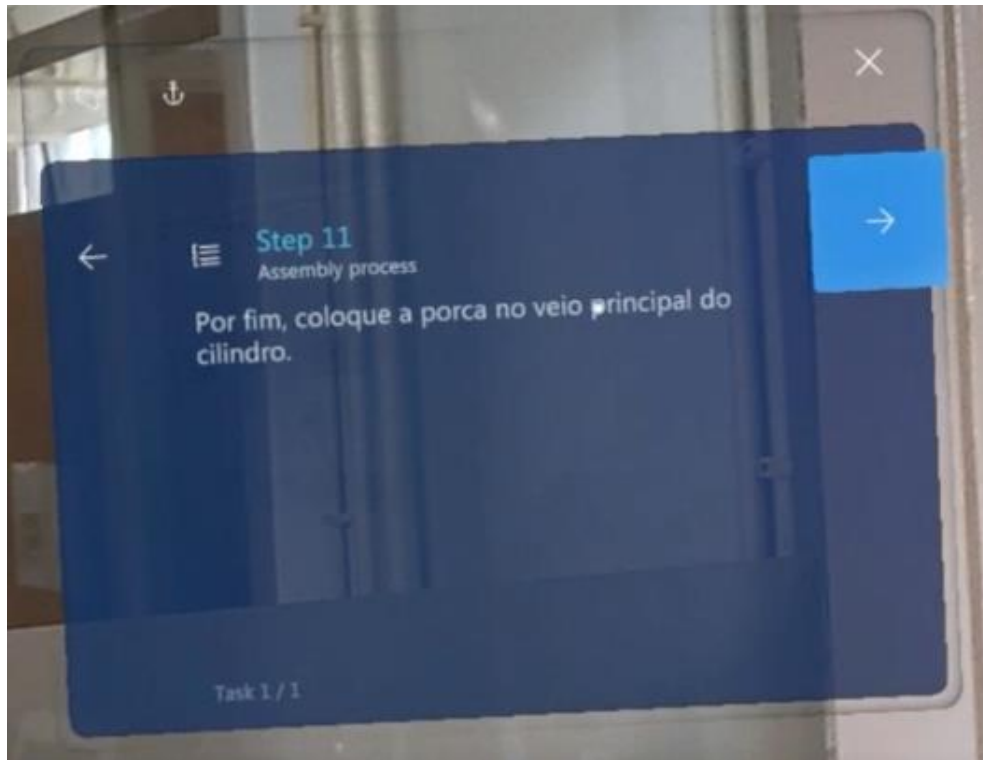




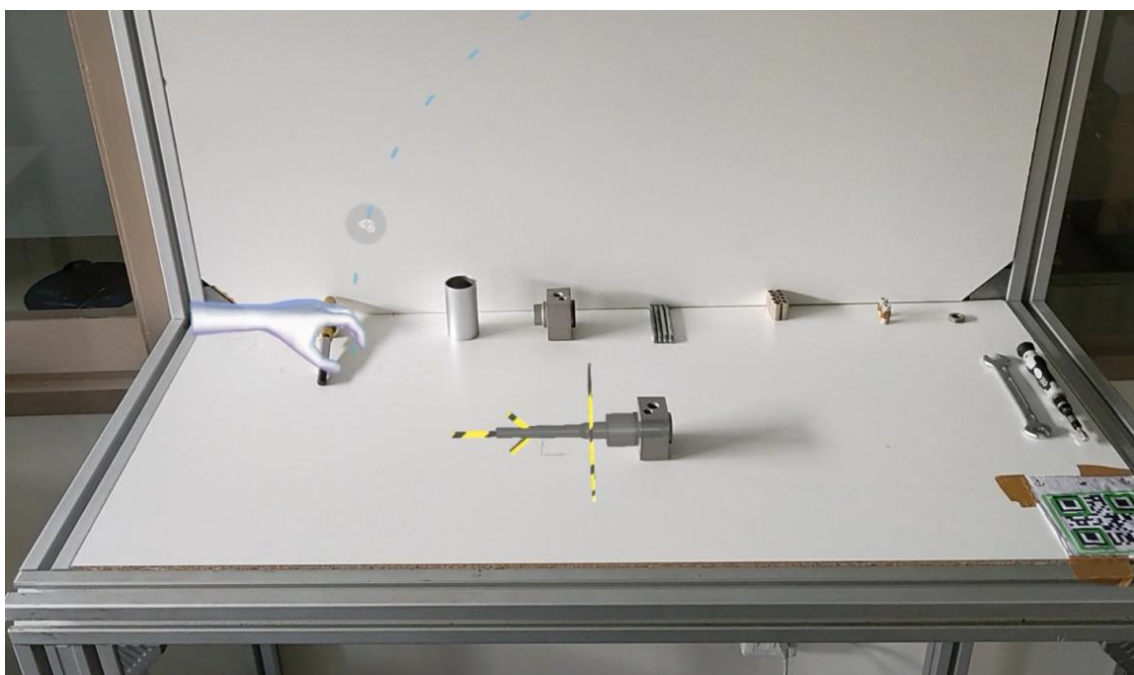
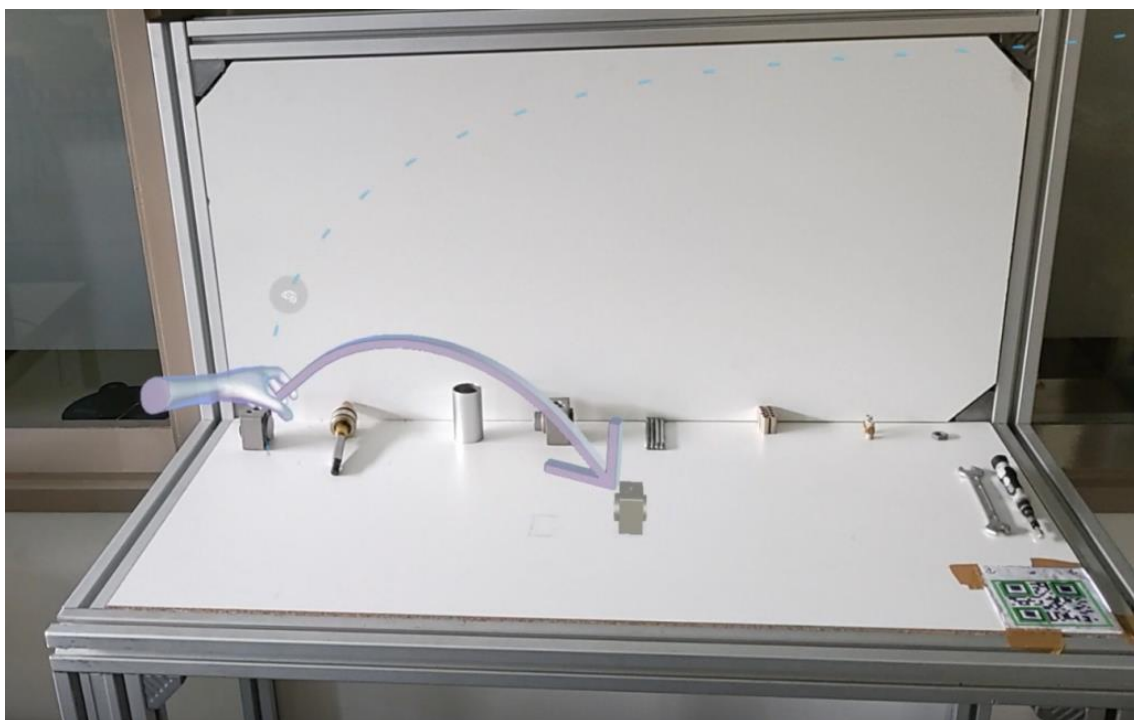
Apêndices



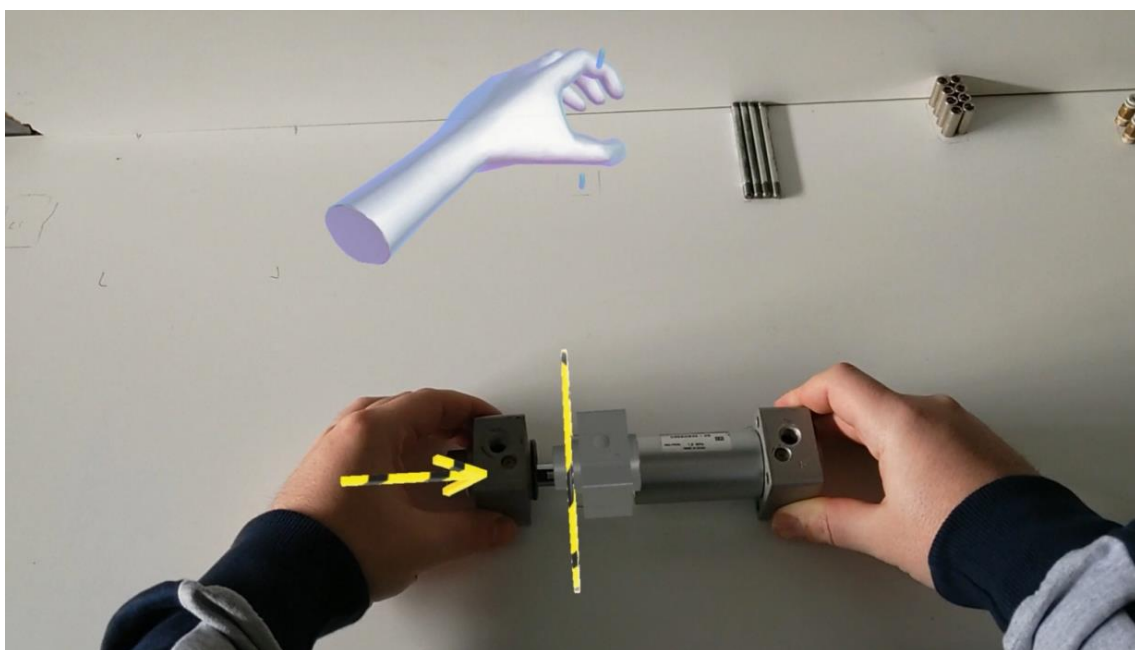
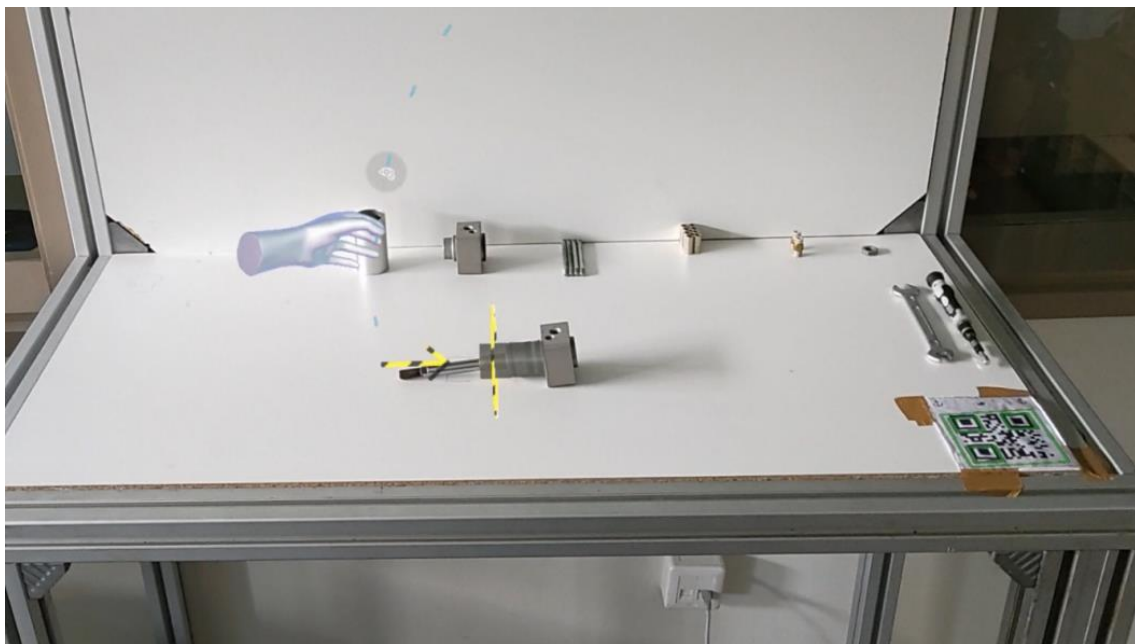
Apêndices

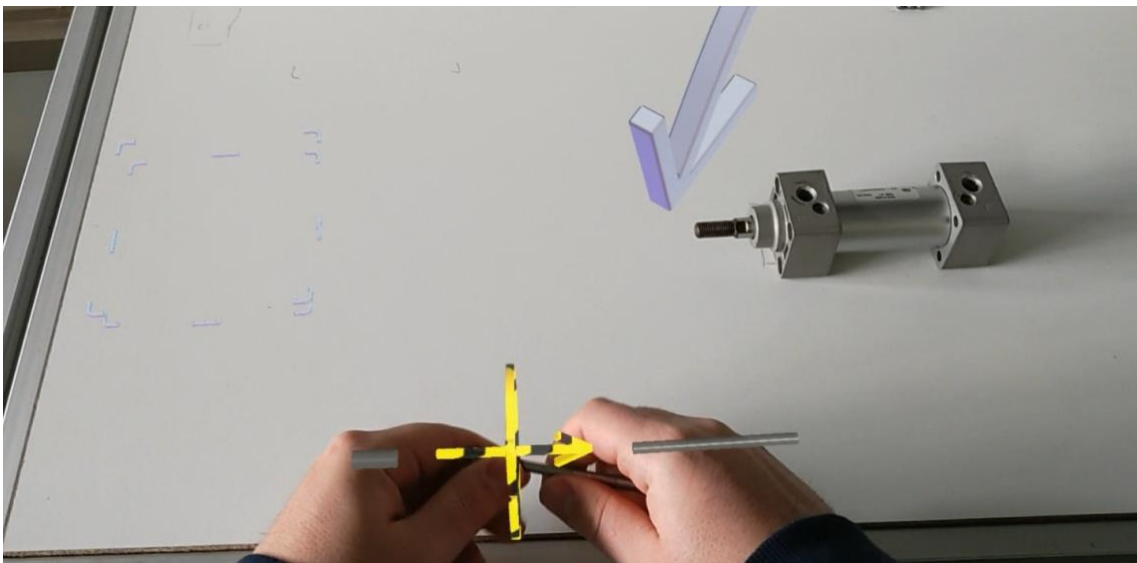
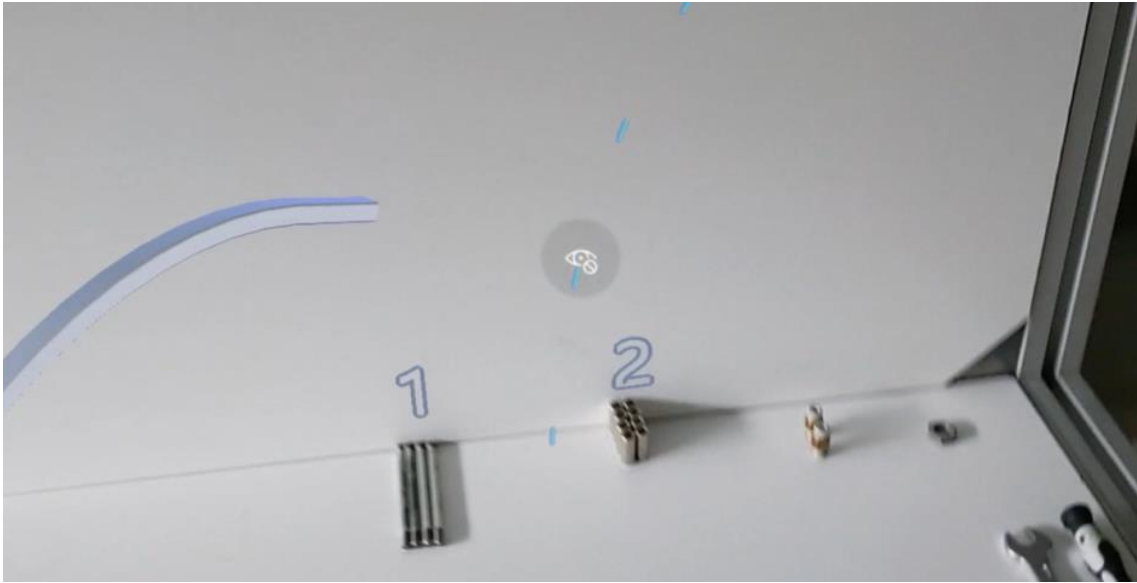


Apêndice B | Visão do operador com os *HoloLens 2* passo a passo

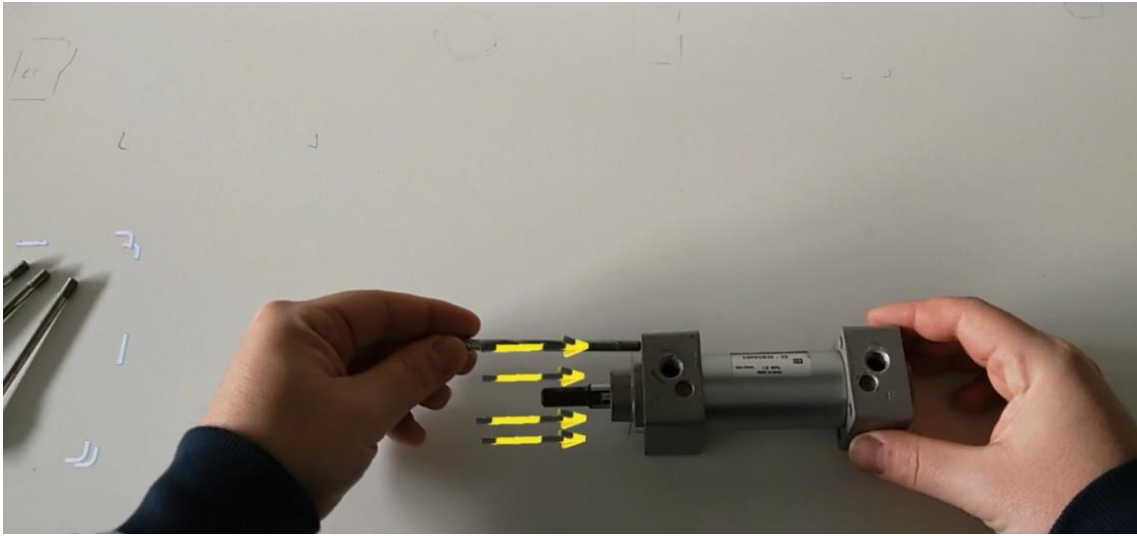


Apêndices

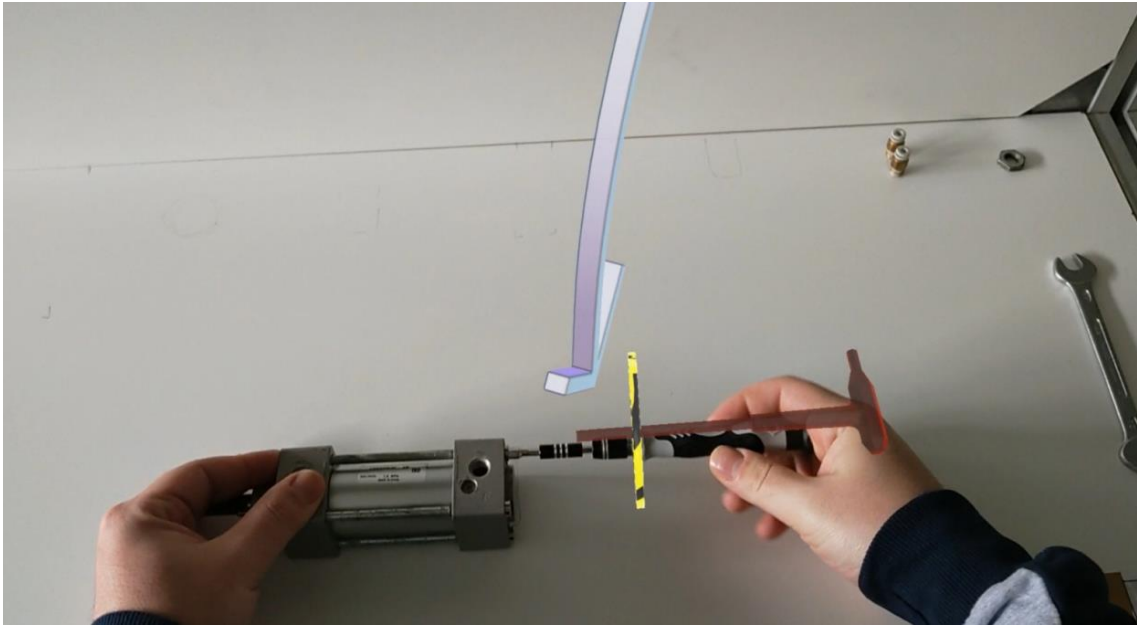




Apêndices



Apêndices



Apêndices

