



APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA DE REALIDADE AUMENTADA A OPERAÇÕES DE MONTAGEM

JOÃO MIGUEL MADUREIRA DA SILVA

novembro de 2018

APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA DE REALIDADE AUMENTADA A OPERAÇÕES DE MONTAGEM

João Miguel Madureira Silva

2017/2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA DE REALIDADE AUMENTADA A OPERAÇÕES DE MONTAGEM

João Miguel Madureira Silva
1130653

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Professor Doutor Manuel Pereira Lopes e coorientação do Professor Doutor Carlos Miguel Vaz de Carvalho.

2017/2018

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO
DO PORTO

isep

JÚRI

Presidente

Professor Doutor Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Orientador

Professor Doutor Manuel Pereira Lopes

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Co-orientador

Professor Doutor Carlos Miguel Vaz de Carvalho

Professor Adjunto, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Arguente

Professora Doutora Carla Alexandra Soares Gerales

Professor Adjunto, Departamento de Gestão Industrial, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança

AGRADECIMENTOS

Gostaria de aproveitar esta oportunidade para agradecer a todos aqueles que me ajudaram e apoiaram de modo a que conseguisse tornar esta tese uma realidade.

Em particular gostaria de agradecer:

Aos meus orientadores, Professor Doutor Manuel Pereira Lopes e Professor Doutor Carlos Miguel Vaz de Carvalho, por todos os ensinamentos e paciência que tiveram durante todo o semestre. Sem a vossa orientação nada disto seria possível.

Aos professores que me acompanharam durante todo o meu percurso académico, sem a vossa ajuda nunca teria chegado onde cheguei.

Aos meus pais por todo o apoio que me deram. Sem vocês provavelmente nunca teria terminado o Mestrado. Todas as lições de vida, esforços e concelhos que me deram nunca serão esquecidos.

À minha irmã por me ter dado motivação quando mais precisava e pela boa companhia que sempre foi.

E a todos aqueles que não foram mencionados, mas que contribuíram de alguma forma para que esta tese fosse realizada.

PALAVRAS CHAVE

Microsoft HoloLens; Realidade Aumentada; Indústria 4.0; Montagem Manual; Formação

RESUMO

A realidade da Indústria 4.0 tem registado inúmeras alterações no que é o ciclo produtivo. Esta revolução aparece com a implementação das tecnologias de comunicação na linha de produção, fazendo com que as próprias máquinas consigam trocar informação importantes entre elas. Apesar de todo este automatismo, as montagens manuais continuam a ser um recurso muito importante nas linhas de produção visto o ser humano ser mais flexível a alterações nas suas operações.

No entanto, é importante refletir em como inserir o operador no fluxo de informação da linha de produção. Esta inserção é benéfica pois, por um lado o operador recebe informação que o auxilia nas tarefas e por outro este também pode fornecer informação a gestores e às próprias máquinas. Outro ponto importante é que o fácil acesso à informação melhora a capacidade de adaptação do operador às alterações nas suas operações.

Para isto foi criada uma simulação de modo a avaliar o potencial da tecnologia da realidade aumentada, como ferramenta que proporcionasse a inserção do operador no fluxo de informação. Foi concluído que apesar de ainda haver um grande espaço para melhorias na tecnologia, esta já apresenta um elevado potencial, podendo nos próximos anos começar a ser implementada nas mais diversas linhas produtivas, e aos mais diversos níveis da cadeia de abastecimento.

KEYWORDS

Microsoft HoloLens; Augmented Reality; Industry 4.0; Manual Assembly; Training

ABSTRACT

With the recent developments of Industry 4.0, we have been observing several changes on the production lines. This revolution is based on the implementation of technologies of information and communication in the machines, creating the possibility for them to exchange information between them. Despite this change in the concept of production, manual assembly continues to be an important asset because of the edge that a human has on the machine when it comes to flexibility of operations.

For this reason, it's important to find a way to insert the Operator in the circuit of information of the production line. This insertion is beneficial because the operator receives all the information that he needs to do his work, and this way, the operator can send information regarding his operation to the other machines or personnel. Another point in favour of this is that it makes it easier for the operator to access important information for his job that helps him to adapt quicker to changes in his operation.

With this purpose in mind, a simulation was created to evaluate the possibility of using Augmented Reality as a tool to insert the operator in the information cycle. It was concluded that, even though there is space for a lot of improvement regarding this technology, it's already possible to observe it's potential to be implemented on an industrial level.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Apk	<i>Aplication</i>
CAD	<i>Computer- aided Design</i>
GBL	<i>Game Based Learning</i>
HHD	<i>Hand-Held Display</i>
HMD	<i>Head-Mounted Display</i>
RA	Realidade Aumentada
SG	<i>Serious Games</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - DIGRAMA "REALITY-VIRTUALITY CONTINUUM" RETIRADO DA PUBLICAÇÃO DE MILGRAM ET AL. 1995	8
FIGURA 2 - INTERVENÇÃO DO OPERADOR NA LINHA DE PRODUÇÃO (GORECKY ET AL., 2014)	12
FIGURA 3 - DIAGRAMA DE <i>SOFTWARE</i> REALIDADE VIRTUAL/REALIDADE AUMENTADA(LI, YI, CHI, WANG, & CHAN, 2018)	15
FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DO PROGRAMA DESENVOLVIDO	16
FIGURA 5 - (A) PEÇA RECONHECIDA ENQUANTO MANUSEADA; (B) PEÇA NÃO RECONHECIDA;.....	17
FIGURA 6 - SEQUÊNCIA DE IMAGENS RETIRADAS DA ANIMAÇÃO 3D.....	18
FIGURA 7 - (A) PEÇA BEM MONTADA; (B) PEÇA MAL MONTADA;	19
FIGURA 8 - FLUXO DE INFORMAÇÃO PARA DESENVOLVIMENTO DA SIMULAÇÃO	20
FIGURA 9 - (A) PEÇAS 1 E 2 PARA MONTAGEM; (B) PEÇA MONTADA;.....	21
FIGURA 10 - CRIAÇÃO DE UMA ANIMAÇÃO NO PROGRAMA <i>3DS MAX</i>	22
FIGURA 11 - POSICIONAMENTO ANIMAÇÃO DE MONTAGEM NO <i>UNITY</i>	23
FIGURA 12 - EXEMPLO DO <i>SCAN</i> DUMA PEÇA	23
FIGURA 13 - EXEMPLOS DE AMBIENTES PROPOSTOS PELA <i>VUFORIA</i> PARA REALIZAÇÃO DO <i>SCAN 3D</i> DE OBJETOS ("VUFORIA OBJECT SCANNER," N.D.)	24
FIGURA 14 - AMBIENTE DE TRABALHO UTILIZADO.	25
FIGURA 15 - <i>VUFORIA SCANNER</i> APÓS RECONHECER O <i>TARGET</i>	25
FIGURA 16 - IMAGEM UTILIZADA PARA RECONHECIMENTO E PROJEÇÃO DE ANIMAÇÕES	26
FIGURA 17 - AVALIAÇÃO DOS PONTOS DE TRANSIÇÃO NO <i>DEV PORTAL DA VUFORIA</i>	26

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - TABELA DE AVALIAÇÃO DE HARDWARE COMPATÍVEL COM RA QUANTO À PORTABILIDADE, REGISTO ESPACIAL E “MÃOS LIVRES” (HOOVER, 2018)	12
--	----

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Contextualização	2
1.2	Organização do Relatório	3
2	ESTADO DA ARTE	5
2.1	Métodos de Simulação Aplicados à Formação	5
2.2	Realidade Aumentada (RA)	8
2.2.1	Vantagens	9
2.2.2	Limitações	11
2.2.3	Hardware	11
3	DESENVOLVIMENTO DO CONCEITO	15
3.1	Desenho do conceito	16
3.1.1	Software	19
3.1.2	Hardware	20
3.1.3	Aplicação Do Conceito	21
3.2	Avaliação do conceito	27
4	CONCLUSÕES	29
	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	31

INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

1.2 Organização do Relatório

1 INTRODUÇÃO

Durante os últimos anos temos observado um aumento da automatização das fábricas. Estas alterações devem-se em grande parte à Indústria 4.0, que se baseia na criação de fábricas praticamente autónomas onde existem fluxos de produtos e informação. O desenvolvimento e inserção das tecnologias de comunicação na indústria tem alterado completamente os processos criando assim novos desafios.

Ao mesmo tempo, tem sido possível também verificar uma alteração nos produtos. Estes têm ganho uma enorme variabilidade de forma a agradarem aos mais diversos consumidores, e ao mesmo tempo os seus ciclos de vida têm diminuído. Visto isto, as linhas de produção têm que apresentar uma grande flexibilidade de reconfiguração, de modo a produzir os produtos substitutos. Ainda não é possível satisfazer este nível de flexibilidade que é exigido pela evolução da indústria, pelo que a mão de obra especializada continua a deter o seu valor (Mourtzis, Zogopoulos, Katagis, & Lagios, 2018).

Weyer et. al., apresentam-nos três paradigmas da Indústria 4.0 que representam os aspetos centrais desta. O primeiro é o Produto Inteligente. Este difere do produto tradicional, pois procura-se que seja ativo no seu próprio fabrico, acrescentando-lhe memória onde são guardadas as instruções de produção. Assim, este produto é capaz de direcionar ele mesmo os recursos necessários para o seu fabrico (Weyer, Schmitt, Ohmer, & Gorecky, 2015).

Outro paradigma é a Máquina Inteligente. Esta contém uma combinação de automação com controlo local inteligente que é capaz de comunicar com outras máquinas. Este tipo de tecnologia permite que as máquinas se consigam reorganizar na fábrica conforme seja necessário. Com este tipo de tecnologia será possível produzir lotes mais pequenos em condições de produção em massa.

Por fim temos o Operador Aumentado. Neste tipo de fábrica, ao contrário do que se possa esperar, não se procura a exclusão da mão de obra especializada. Este tipo de mão de obra é a componente mais flexível da linha de produção. Aqui o que se procura é que o operador seja capaz de seguir toda a linha de produção intervindo sempre que necessário. O seu trabalho passa por monitorizar e analisar a linha de produção, verificando se está com um comportamento desejável, e também por decidir e intervir sempre que necessário.

Nesta dissertação procura-se avaliar o potencial das tecnologias existentes para o auxílio destes operadores aumentados. Para isso será criado um programa que pretende substituir as instruções de montagem existentes neste momento, acrescentando toda a informação necessária para realização da sua operação no campo de visão do Operador.

1.1 Contextualização

Nesta dissertação focar-nos-emos no Operador Aumentado e nos desafios que a mão de obra terá que enfrentar perante a nova revolução industrial. Como já referido a mão de obra especializada mantém grande importância no chão de fábrica, tendo em conta a sua grande versatilidade, tanto ao nível da resolução de problemas como na sua capacidade de se adaptar rapidamente a novas operações manuais.

Para que este pressuposto se mantenha e não colida com as alterações impulsionadas pela Indústria 4.0, é necessário auxiliar estes operadores, inserindo-os no fluxo de informação. Tendo em conta o que já se referiu existem duas principais questões a serem respondidas. Uma primeira questão advém do facto de existir uma necessidade de uma só linha de produção ser capaz de produzir produtos iguais com especificações diferentes ou mesmo produtos variados em lotes mais pequenos. Aqui o desafio que o operador enfrenta é a sua adaptabilidade às alterações impostas na sua operação manual. Para isto, é necessário existir uma solução que permita que a produção se mantenha, sem que o operador tenha necessidade de a parar para aprender como realizar a sua tarefa.

Um desafio mais diretamente relacionado com a Indústria 4.0 é como inserir o Operador Aumentado no fluxo de informação. Aqui o que se procura é que o operador receba toda a informação necessária para a realização das suas tarefas no seu campo de visão, facilitando o acesso às mesmas. Por outro lado, também este deve ser capaz de fornecer informação para a restante linha, pelo que é necessário que a solução encontrada seja capaz de fornecer/criar *feedback*. É de grande importância o operador estar inserido no fluxo de informação, pois como referido este estará responsável por tomar decisões sempre que existam erros de produção. Com a evolução da Indústria, a área operacional que está sob a responsabilidade do operador tem tendência a aumentar (Gorecky, Schmitt, Loskyll, & Zühlke, 2014).

1.2 Organização do Relatório

Esta tese está dividida em quatro capítulos, da seguinte forma.

No primeiro capítulo está presente a introdução ao tema, seguido de uma contextualização do mesmo.

No capítulo seguinte é apresentada a revisão bibliográfica. Aqui estão presentes os principais autores e metodologias, assim como o estado da arte da metodologia em estudo.

Seguidamente no terceiro capítulo abordar-se-á todo o desenvolvimento do projeto. Aqui está presente toda a informação relativa a procedimentos, *Softwares* e *Hardwares* utilizados.

Por fim, as conclusões estão presentes no quarto capítulo.

Revisão Bibliográfica

2.1 Métodos de Simulação Aplicados à Formação

2.2 Estado da Arte Realidade Aumentada (RA)

2.2.1 Vantagens

2.2.2 Limitações

2.2.3 *Hardware*

2 Estado da Arte

2.1 Métodos de Simulação Aplicados à Formação

Game-based learning (GBL) e Gamification

Game-based learning (GBL) e *Gamification* são duas metodologias de adaptação de jogos ou recursos de jogos para o ensino. Apesar de serem considerados conceitos diferentes por alguns autores, também são considerados por outros como sinónimos ou termos relacionados. Com isto podemos verificar que a linha delimitadora de conhecimento entre estes dois conceitos não é nítida (Caponetto, Earp, & Ott, 2014).

Segundo a definição apresentada por Annie Pho e Amanda Dinscore, *Game-Based Learning* corresponde à adoção de mecanismos e princípios de jogos em contexto real de modo a cativar a atenção dos utilizadores (Pho & Dinscore, 2015).

Entende-se por *gamification* como a utilização de mecanismos/técnicas e ferramentas de jogos (ex. atribuição de pontos, crachás e recompensas) num contexto real, ou seja, aplicação de *Serious games* de modo a motivar os intervenientes (Caponetto et al., 2014). *Gamification* pode também ser definida como a criação de um ambiente descontraído de jogo de modo a cativar a atenção e motivar os intervenientes (Hamari, Koivisto, & Sarsa, 2014).

Após análise das definições apresentadas é possível entender esta dificuldade, pois por um lado estamos perante dois conceitos diferentes, mas que em conjunto se podem complementar. A utilização meramente do GBL seria um caso onde se utilizaria interface de jogos no método de ensino, como por exemplo, utilização de simuladores de voo para treino de novos pilotos ou no caso de ensino de gestão simuladores como *SHORTFALL* (Lim, 2017). Já no caso da utilização da metodologia *Gamification* estaríamos perante a atribuição de prémios ou avaliação de desempenho baseada nos mesmos princípios de pontuações em jogos recreativos, como seria o exemplo da criação de um jogo de perguntas e respostas.

Durante a análise destes dois conceitos podemos também verificar que existe mais um ponto de contacto entre os dois conceitos que é o *serious games* (SG). Este conceito aparece na definição de *Gamification* (Caponetto et al., 2014) e no exemplo apresentado de uma aplicação do GBL no ensino de gestão (Lim, 2017).

Serious Games (SG)

Serious games visa a aplicação de jogos ou elementos de jogos que em conjunto contribuem para um final pedagógico (Savin-baden, 208AD). A aplicação de jogos para a formação apesar de ser uma área emergente, ainda não é capaz de cativar por completo o seu público-alvo, existindo relutância quanto à aplicação deste método. Ainda assim já existem universidades relacionadas com gestão e engenharia onde os SG são aplicados de forma a complementar às aulas, ou até mesmo como ferramenta de ensino (Lim, 2017).

Em geral a aplicação de um qualquer tipo de jogo na formação envolve os seguintes componentes (Savin-baden, 208AD):

- Jogo ou ambiente de simulação de eventos (ferramenta de ensino/ método de obtenção de resultados);
- Um mínimo de 2 jogadores/equipas (competição);
- Facilitador (alguém que supervisione os jogadores, não intervindo diretamente nas decisões dos mesmos);
- Reuniões de reflexão onde serão discutidas as decisões tomadas ao longo do jogo/simulação.

Até ao momento, para que os SG consigam atingir o objetivo pretendido é necessário recorrer a aulas de reflexão de modo a consolidar os conhecimentos e/ou que esteja presente um facilitador experiente. Assim, podemos verificar que por si só *serious games* não são um método 100% autónomo (Savin-baden, 208AD).

Existem questões importantes sobre as quais se deve refletir antes da adoção desta tecnologia na formação. Da publicação apresentada anteriormente podem ser retiradas três questões complexas, direcionadas para o ensino, mas que também apresentam interesse para o caso em estudo, que são:

- Como é que a aplicação de SG influenciará o estudo e o método de desenvolvimento das tarefas de cada aluno e como é que os professores (facilitadores) devem interagir com os alunos, neste contexto;
- Também se deve refletir sobre como a aplicação desta metodologia influenciará o papel do estudante e do professor;
- Se o facilitador terá que ser apenas observador sem qualquer influência no desenrolar do jogo ou participante, influenciando diretamente no jogo;

Simulation Games

Entende-se por *Simulation Games* como a imitação da realidade de um sistema, processo ou ambiente, adaptando a realidade dando ênfase aos aspetos mais importantes da mesma (Forssén-Nyberg & Hakamäki, 1998).

Esta ferramenta torna-se importante pois uma simulação apresenta, muitas vezes, auxiliares visuais. Em contexto de gestão, o auxílio visual, ou seja, a possibilidade de o gestor poder ver como as suas decisões influenciaram o sistema em questão, pode facilitar a procura de causas de erros ou pontos de improdutividade. Assim, as simulações podem ser aplicadas de modo a que empresa possa identificar problemas na sua organização e/ou no seu sistema de gestão. Pode ainda auxiliar na avaliação de mudanças dentro da organização, evitando deste modo investimentos que possivelmente não trarão o retorno espetável.

2.2 Realidade Aumentada (RA)

Tendo em conta todo o automatismo que as empresas têm implementado nas suas linhas de produção, a necessidade de os operadores se adaptarem rapidamente às alterações nas suas tarefas de montagem tem vindo a aumentar. A informação e o seu tratamento têm ganho forte importância nas linhas de montagem fazendo com que as operações de montagem manual tenham que ser integradas neste circuito de informação.

Seguindo a essência do que é pretendido nesta tese, que é criar uma metodologia de formação mais atrativa e versátil, optou-se por utilizar a realidade aumentada como objeto de estudo. Este tipo de metodologia de formação começa, cada vez mais, a ser comum nas empresas.

A importância do desenvolvimento de novas ferramentas que possam ter um impacto direto na performance do operador e na habilidade deste se adaptar às novas tarefas que lhe são propostas, é muito elevada. Com a realidade da Indústria 4.0, cada vez mais, as empresas, procuram automatizar as operações. Apesar disto, a mão-de-obra humana continua a ser necessária em operações que mudam com frequência e/ou têm características específicas a serem determinadas pelo cliente (Tang, Owen, Biocca, & Mou, 2003).

Um ponto de partida importante para a compreensão da Realidade Aumentada (RA) é a forma como esta se distingue da tecnologia da Realidade Virtual. De certa forma é possível considerar-se que existe uma relação entre estas duas tecnologias. Pode-se entender como “realidade virtual a total imersão do utilizador-observador num mundo simulado, que pode ou não mimicar as propriedades do mundo real” (Milgram, Takemura, Utsumi, & Kishino, 1995). Neste mesmo estudo, os autores adotam a definição de realidade aumentada como “aumentar o feedback natural que o operador recebe recorrendo à simulação”.

Na figura seguinte está presente uma imagem retirada do estudo acima referenciado, que os autores denominam de “*continuum Reality-Virtuality*”:

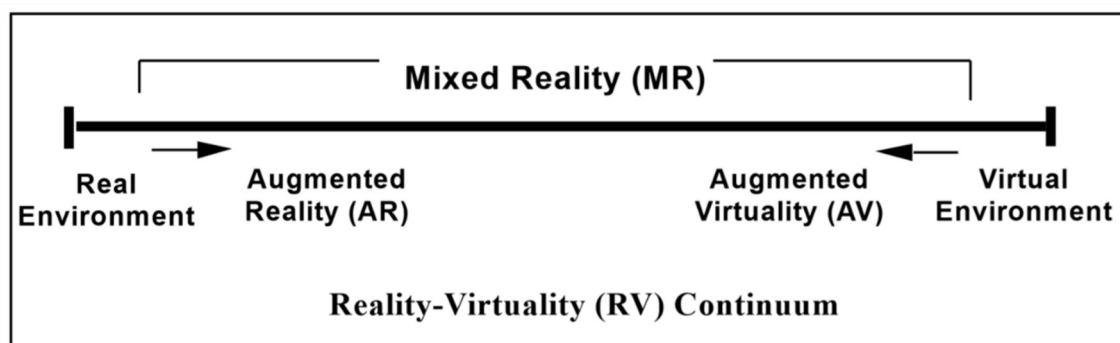


Figura 1 - Digrama "reality-virtuality continuum" retirado da publicação de Milgram et al. 1995

Na figura 1 temos num extremo a realidade, onde toda a percepção do observador provem diretamente do mundo real, conjunto câmara-display e/ou superfície transparente (como vidro), sem a adição de informação ou supressão da mesma (ex. câmara de um tablet, janela, etc). No outro extremo temos a realidade virtual. Esta representa um mundo completamente sintético que pode ser fornecido ao observador através de um monitor ou equipamento imersivo (ex. um jogo de computador, kit realidade virtual, etc).

Nesta representação podemos ainda verificar outros dois pontos no espectro: a Realidade Aumentada e a Virtualidade Aumentada. Nesta tese iremos apenas nos focar na Realidade Aumentada, mas é interessante também mencionar que, ao conjunto destes dois pontos do *continuum*, se chama Realidade Mista visto estar presente em simultâneo, no display do utilizador, informação proveniente do mundo real e mundo virtual.

2.2.1 Vantagens

Este tipo de tecnologias traz as mais diversas vantagens, dependendo da área à qual é aplicada. No caso em questão iremos abordar a formação de operadores para tarefas de montagem manual. Neste tipo de ambiente, o operador tem que ser versátil, de modo a conseguir se adaptar a todas as alterações necessárias ao seu processo produtivo, ter um tempo de realização de uma determinada tarefa o mais baixo possível, ter um menor número de erros produtivos, evitando assim o retrabalho das peças ou mesmo a inutilização das mesmas e a possibilidade de dois elementos da mesma equipa de produção poderem colaborar em caso de necessidade.

Redução de tempo produção

A diminuição dos tempos de produção está diretamente relacionada com o aumento do lucro das empresas. Assim é de todo o interesse que as empresas encontrem métodos que facilitem este aumento (Hou, Wang, & Truijens, 2015).

Existem vários estudos que comprovam que a utilização da tecnologia RA diminui os tempos de produção. Já em 1999 Baird e Barfield compararam dois tipos de instruções baseadas na RA com as instruções em 2D (digital e em papel) (Baird & Barfield, 1999). Os autores concluíram que, o recurso à RA influenciou positivamente os tempos necessários para a conclusão das tarefas de montagem, diminuindo-os significativamente, quando comparado com o recurso aos métodos 2D.

Outro estudo interessante foi também realizado em 1999, onde Boud et al. analisaram o impacto da utilização de RA como ferramenta de formação (Boud, Haniff, Baber, & Steiner, 1999). Os autores pretendiam verificar o impacto imediato destas ferramentas em estudo. Assim, os operadores eram sujeitos a treino utilizando tecnologias como

realidade aumentada, desenhos 2D e realidade virtual, e posteriormente realizavam a montagem recorrendo apenas à memória. Os resultados deste teste mostraram que o recurso à tecnologia RA proporcionou menores tempos de montagem.

Diminuição de erros

Outra vantagem importante da utilização da RA é a redução de erros nos procedimentos dos operadores. Com uma diminuição de erros de fabrico é possível diminuir o tempo e recursos necessários para recuperar produtos defeituosos e também recursos e tempo despendidos no fabrico de produtos irrecuperáveis (Hou et al., 2015).

No estudo de Baird et al. já referenciado, é abordada uma montagem de chips RAM e ROM numa *motherboard* (Baird & Barfield, 1999). Os autores decidiram utilizar este processo, pois é um processo real que pode ter características diferentes, dependendo do objetivo e design do computador a ser produzido. Este estudo mostrou que, com a utilização da tecnologia RA, foi possível diminuir os erros cometidos na montagem. Mais recentemente, foi realizado um estudo que procurava comparar os resultados obtidos entre a utilização de assistência de vídeo e a utilização de RA (Loch, Quint, & Brishtel, 2016). Aqui foi também verificado que o grupo da RA cometeu menos erros de montagem que o grupo de vídeo.

Existem outras áreas onde este tipo de tecnologia foi aplicada para a redução de erros. Em 2017 Doshi et al. realizaram um estudo de modo a avaliar se era possível aumentar a precisão em tarefas como a soldadura (Doshi, Smith, Thomas, & Bouras, 2017). Este teste foi realizado em ambiente industrial, na área automóvel, e foi possível verificar um aumento significativo na precisão, na soldadura por pontos, com a utilização da RA em detrimento dos métodos tradicionais. Neste mesmo ano, Tatić et al. observaram que a utilização da tecnologia de RA na área de manutenção também era capaz de trazer vantagens (Tatić & Tešić, 2017). Neste estudo observou-se uma diminuição nos erros cometidos nos procedimentos em comparação com a utilização de *check-lists* (método tradicional). Este tipo de tecnologia, ao obrigar os utilizadores a seguirem uma ordem específica de passos, também contribuiu para um aumento da segurança ocupacional.

No caso da utilização deste tipo de ferramenta para a formação de operadores, nas áreas de montagem e manutenção, também é possível verificar uma melhoria da performance dos mesmos, reduzindo a quantidade de erros cometidos, quando comparado com os métodos tradicionais (Gavish et al., 2015). Posteriormente, Hořejší em 2015 publicou um estudo onde observou uma diminuição do número de tentativas necessárias para a realização de uma tarefa de montagem de canalizações (Hořejší, 2015).

Colaboração

Com os métodos atuais, a colaboração entre elementos de uma mesma equipa pode criar perdas excessivas, obrigando um ou os dois a saírem do seu local de trabalho, criando assim uma paragem (necessária). Com o recurso à realidade aumentada pode-se evitar este tipo de paragens e até mesmo melhorar o *output* dessa colaboração.

Abramovici et al. obtiveram resultados satisfatórios, quando aplicaram este tipo de tecnologia numa manutenção que requeria comunicação entre dois elementos. Os autores verificaram que este tipo de tecnologia consegue proporcionar uma melhor comunicação entre os elementos, podendo ainda providenciar informações importantes para a realização da tarefa (Abramovici, Wolf, Adwernat, & Neges, 2017).

2.2.2 Limitações

Visto esta tecnologia ainda ser relativamente recente na área industrial, existem algumas limitações da mesma. Os principais exemplos de limitações são, o reconhecimento espacial e de objetos 3D, melhoria dos equipamentos com *display* transparente e a ergonomia dos equipamentos. Em 2013 Nee e Ong concluíram que havia ainda muito a melhorar no reconhecimento espacial dos equipamentos de RA, de modo a providenciar uma melhor experiência para os utilizadores (Nee & Ong, 2013). No que diz respeito à ergonomia dos equipamentos de RA, Dini e Mura concluíram, em 2016, que existe ainda espaço para melhorias ao nível da portabilidade e conforto dos equipamentos de apoio na cabeça (HMD – *Head Mounted Display*) (Mura, Dini, & Failli, 2016).

Mais recentemente, no início de 2018, foi publicado os resultados de um *survey*, do qual Palmarini et al. concluíram que os equipamentos HMD com *display* transparente necessitam de melhorias no que diz respeito a *Hardware* e reconhecimento espacial, e de várias iterações de modo a que este tipo de equipamentos possa ser solidamente implementado (Palmarini, Erkoyuncu, Roy, & Torabmostaedi, 2018).

2.2.3 Hardware

Existem vários tipos de equipamentos capazes de interagir com os sentidos do ser humano, de modo a criar uma experiência de Realidade Aumentada. Exemplos destes equipamentos são: Projetores, *Tablets*, HMD (*Head-Mounted Displays*), HHD (*Hand-Held Displays*) e *Headphones*. Quanto à conectividade, estes também variam. Por exemplo, para fins militares é normal haver uma preferência por equipamentos com “*Zero-Connectivity*”, por razões de segurança, enquanto que, no caso de fins comerciais, é mais comum haver uma preferência por equipamentos *online* de modo a

facilitar a interação em caso de necessidade de assistência externa (Palmarini, Erkoyuncu, & Roy, 2017).

O autor também refere a importância que a fragmentação entre *Software* de desenvolvimento de aplicações RA e o *Hardware* compatível representa. Ou seja, a combinação entre *Hardware* e aplicações desenvolvidas é muito variada, tendo assim que ser bem analisado o ambiente de implementação da tecnologia e uma escolha cuidada das ferramentas. Por outro lado, é necessário haver um certo cuidado pois, as desvantagens de certas combinações *hardware-software*, podem não ser óbvias.

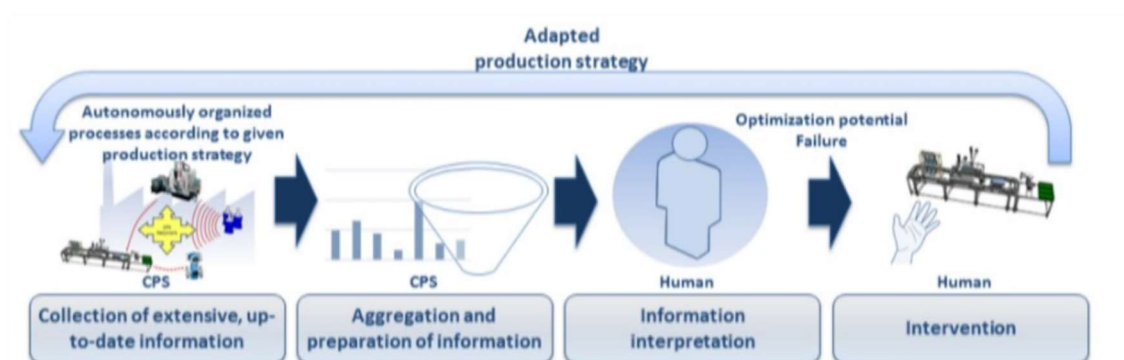


Figura 2 - intervenção do operador na linha de produção (Gorecky et al., 2014)

Na Figura 2 podemos observar um esquema do ciclo de informação com o Operador Aumentado inserido no mesmo. Este ciclo é aplicado apenas no caso da existência de um Operador Aumentado com a responsabilidade de resolver problemas e ou análise de oportunidades de melhoria na linha de produção. Neste ciclo começa-se por recolher toda a Informação atualizada da linha de produção autónoma, que de seguida é filtrada e fornecida ao operador. Por sua vez, o Operador analisa toda a informação que lhe é fornecida intervindo diretamente na linha de produção conforme necessário.

A tabela seguinte apresenta cinco categorias de equipamentos compatíveis com RA. Aqui apenas foram analisados se são ou não móveis, mãos livres e se têm capacidade de reconhecimento espacial.

	HMDs	HHDs	Monitores	Projetores	2D Smart Glasses
Mobilidade	X	X			X
Reconhecimento Espacial	X	X	X	X	
Mãos Livres	X		X	X	X

Tabela 1 - Tabela de avaliação de Hardware compatível com RA quanto à portabilidade, registo espacial e “mãos livres” (Hoover, 2018)

Para o caso do ciclo apresentado anteriormente baseado na Figura 2, as características mais importantes são o reconhecimento espacial e a mobilidade, pois o Operador recebe informação baseada no local onde se encontra e também visto este se encontrar em movimento e não num local específico.

Apesar de existirem cada vez mais autores focados na avaliação, da aplicabilidade, deste tipo de tecnologia, a maioria destes realiza uma comparação de vantagens da utilização dos diferentes tipos tecnologias. Este tipo de trabalhos funciona como uma enumeração de vantagens, com o seu fundamento em base estatística. Isto verifica-se uma vez que é mais complexo realizar um estudo de comparação direta entre tecnologias, sendo a maior dificuldade a determinação de métricas de comparação.

Foi realizado um estudo por Funk et al., onde estes procuram criar uma métrica mais uniforme de avaliação. Segundo os autores, apesar dos vários estudos existentes, o facto de cada um apresentar montagens e diferentes condições de realização de testes, dificulta a comparação de resultados e sua verificação. Os autores questionam também o facto de as medições serem na sua generalidade realizadas de início ao fim da montagem, tornando-se uma variável dependente da tarefa em questão (Funk, Kosch, Greenwald, & Schmidt, 2015).

3. Desenvolvimento do conceito

3.1 Desenho do Conceito

3.1.1 *Software*

3.1.2 *Hardware*

3.1.3 Aplicação do Conceito

3.2 Avaliação do Conceito

3 Desenvolvimento do Conceito

Tendo em vista a resolução dos novos desafios apresentados pela Indústria 4.0, procurou-se avaliar o potencial da tecnologia da Realidade Aumentada, através do desenvolvimento de um possível programa de formação para as operações de montagem.

A ideia passa por reduzir os erros cometidos quando a empresa altera as instruções de trabalho e de forma a minimizar as interrupções da linha de montagem sempre que seja necessário preparar os operadores para tais alterações. Para isto, as funcionalidades da realidade aumentada, utilizadas foram o reconhecimento de objetos reais e a sobreposição de objetos virtuais no mundo real.

Com isto, procurou-se criar uma forma de aumentar a quantidade de informação presente no campo de visão do operador, retirando a necessidade da consulta de lista de procedimentos e/ou instruções de trabalho. Para que tal fosse possível, a integração das funcionalidades acima referenciadas é da maior importância, sendo que o reconhecimento dos objetos utilizados facilitam a seleção de componentes necessários à realização da montagem e avaliação da conformidade do produto final. Já a sobreposição dos objetos virtuais no mundo real é utilizada de modo a facilitar a percepção de como realizar corretamente a tarefa de montagem.

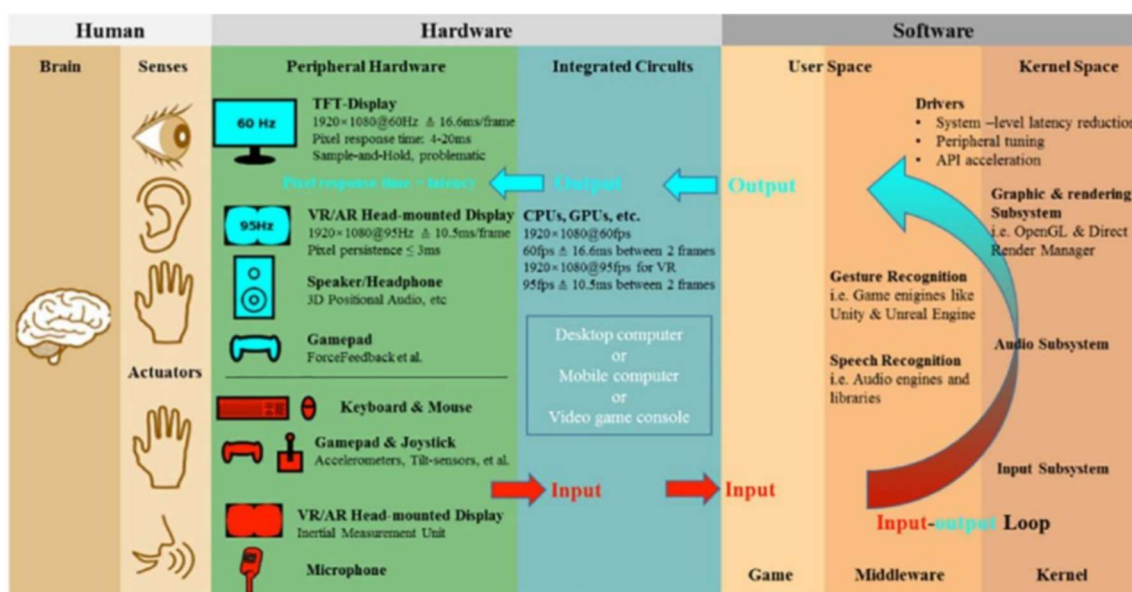


Figura 3 - Diagrama de *software* Realidade Virtual/Realidade Aumentada (Li, Yi, Chi, Wang, & Chan, 2018)

A figura anterior esquematiza a interação do ser humano com a tecnologia de RA. Começando nos atuadores, o Operador fornece um input ao *Hardware* utilizando o tato ou a voz, este input é inicialmente registado pelo *Hardware* e posteriormente interpretado pelo *Software*. Seguidamente o *Software* cria uma resposta que é fornecida pelo *Hardware* como *Output* interpretável pelo ser humano com recurso à audição, tato e/ou visão. Esta informação é processada pelo cérebro do Operador que pode despoletar outro ciclo fornecendo um novo *input* ao *Hardware*.

3.1 Desenho do conceito

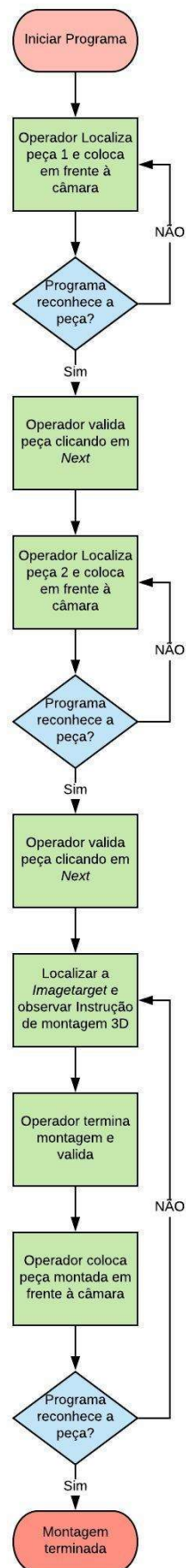


Figura 4 - Fluxograma do programa desenvolvido

Este estudo focou-se na criação de um possível programa para auxílio numa linha de montagem. Para a sua simulação utilizou-se o *Ultralight Helicopter* da *Legó Tecnic*.

O programa está dividido em quatro fases, por passo de montagem. Destas fases, três são de reconhecimento de peças e uma de instrução de montagem. Este método procura garantir que o operador utilize as peças indicadas e monte as mesmas, não deixando passar para o passo seguinte sem que a montagem seja feita corretamente. Toda esta sequência está representada no fluxograma da Figura 4.

A primeira fase é de reconhecimento de peças. Aqui o programa procura reconhecer a primeira peça necessária. Assim que o operador a posicione à sua frente, o programa assume o passo 1 como resolvido e o operador pode validar esta fase e passar à seguinte. Foi estipulado que o operador é que controla a mudança de fase, de modo a que este tenha sempre noção de qual é exatamente a peça em questão. A fase seguinte funciona da mesma forma que a primeira, sendo agora o alvo a peça que se pretende adicionar ao conjunto anteriormente montado.

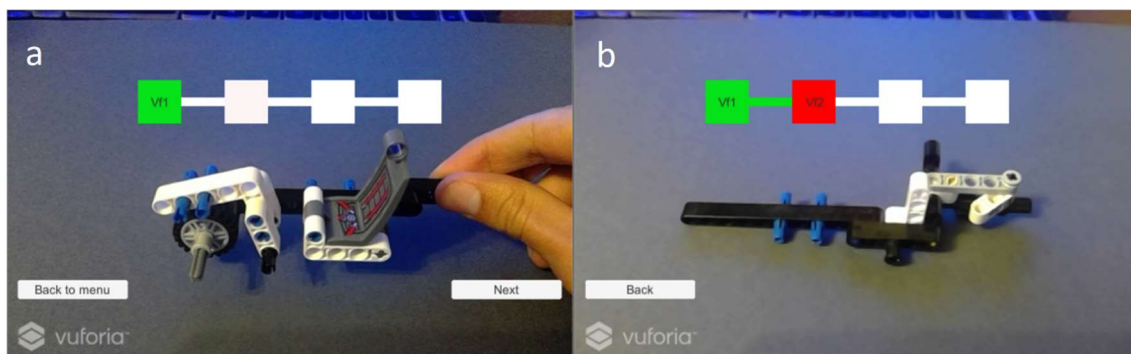


Figura 5 - (a) peça reconhecida enquanto manuseada; (b) peça não reconhecida;

Como podemos verificar na figura anterior, quando a peça não é reconhecida o Operador recebe como *feedback* negativo um quadrado em vermelho no seu progresso e não tem a possibilidade de passar ao passo seguinte.

Na fase três temos a instrução de montagem. Quando o Operador chega a esta fase, o programa inicia uma animação tridimensional, projetada sobre uma imagem física. O operador pode manusear esta imagem física de modo a conseguir analisar de vários ângulos, em caso de necessidade, a animação recolhendo a informação necessária à realização da sua tarefa. Na Figura seguinte temos uma sequência que pretende representar parte dessa animação.

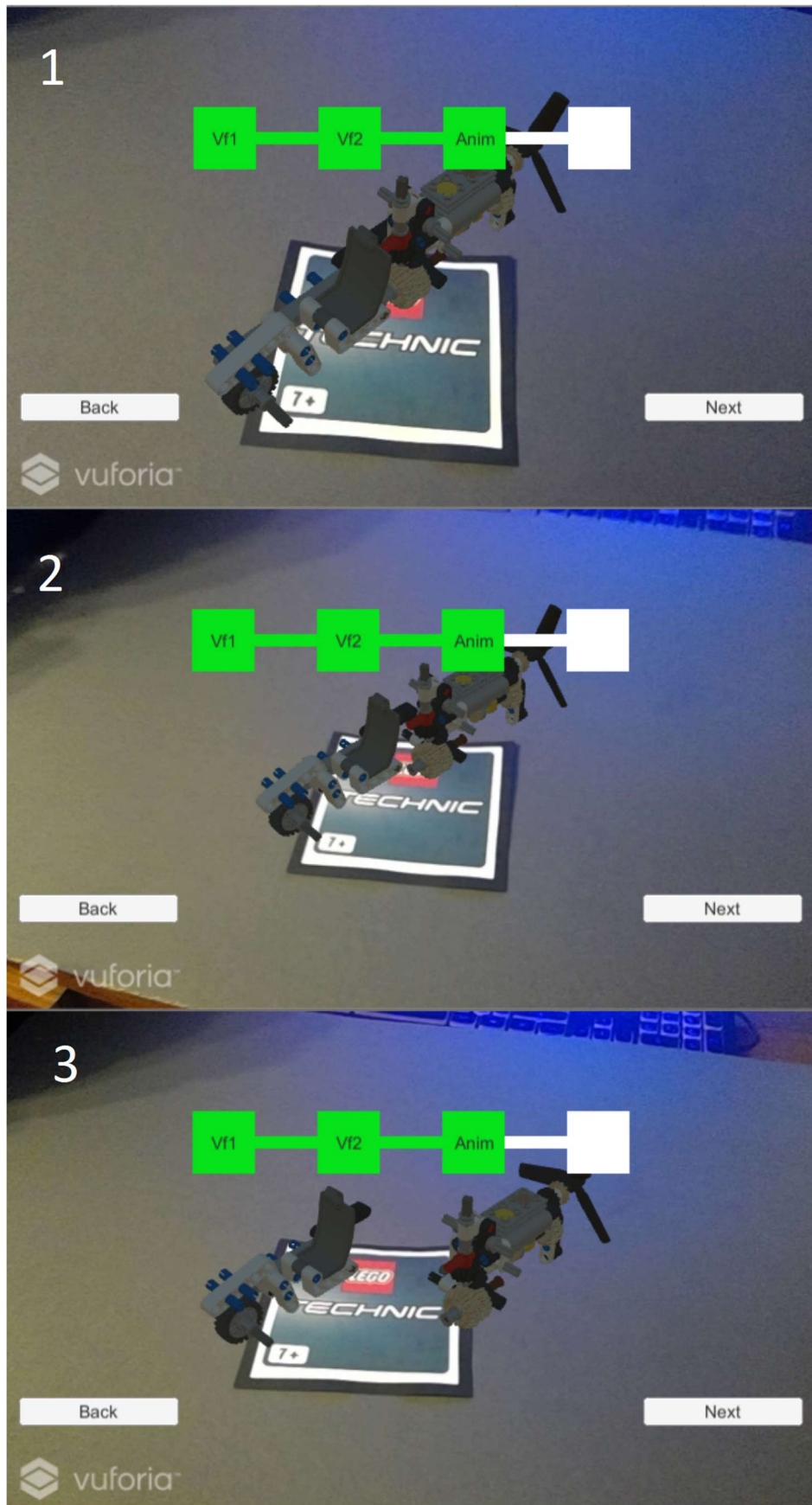


Figura 6 - Sequência de imagens retiradas da animação 3D

Após realizada a montagem temos a fase quatro que é a da verificação final. Esta tem o propósito de garantir que a peça está montada corretamente, sendo este passo semelhante aos passos um e dois.

Na Figura seguinte podemos observar o *feedback* negativo do programa perante uma peça mal montada (Fig 7b) e o *feedback* positivo quando a montagem foi efetuada corretamente (Fig 7a).

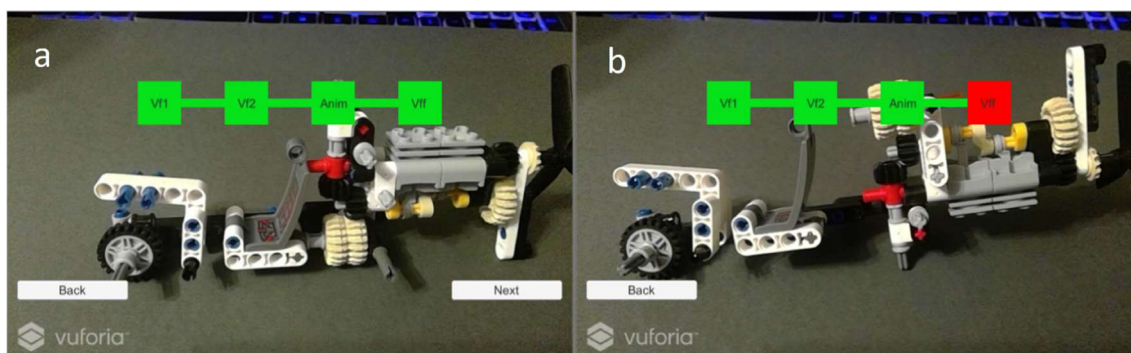


Figura 7 - (a) peça bem montada; (b) peça mal montada;

Esta fase é particularmente importante pois o programa está preparado para rejeitar qualquer peça que não tenha sido montada corretamente, dando o mesmo *feedback* anteriormente mencionado para peças que não são reconhecidas. Para que esta fase corra da melhor forma, o operador tem que colocar a peça de forma a que seja visível a montagem realizada, podendo ser necessário colocar na área de trabalho um contorno onde colocar a peça evitando leituras erradas.

Após concluída toda a sequência, o passo de montagem está completo e um novo ciclo se inicia.

3.1.1 Software

Os *Softwares* utilizados para o desenvolvimento do programa pretendido foram:

- *Unity 3D 2018 com kit Augmented Reality Vuforia 2018;*
- *3DS MAX 2019;*
- *SolidWorks 2017;*
- *Visual Studio 2017;*
- *Vuforia scanner apk.*

Estes programas foram utilizados de forma sequencial, sendo cada um utilizado para realizar uma parte específica do projeto, que é exportada para o programa seguinte compatível.

O primeiro programa a ser utilizado foi o *SolidWorks*. A tarefa associada a este *Software* é o desenho e montagem das peças a serem utilizadas, alimentando o programa seguinte, *3DS MAX*, que é responsável pela realização da animação e conversão do ficheiro CAD para um ficheiro compatível com o *Unity*. O *Visual Studio*, foi utilizado de modo a que seja possível editar os *scripts* necessários. Estes *scripts* foram utilizados principalmente na criação de botões. Por fim, o *Vuforia scanner* foi utilizado de modo a recolher informação gráfica de objetos 3D reais, com a finalidade de serem reconhecidos pelo programa.

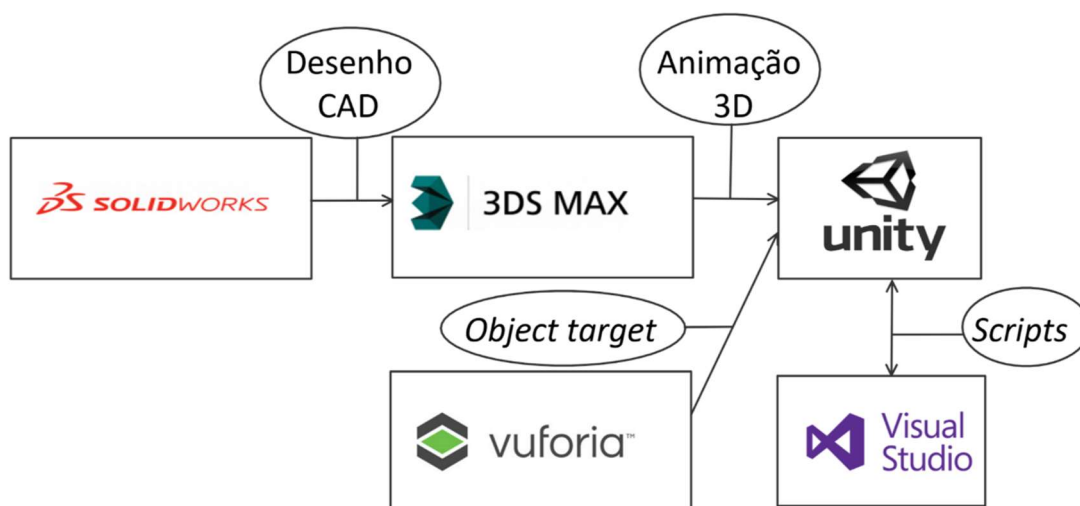


Figura 8 - Fluxo de informação para desenvolvimento da simulação

3.1.2 Hardware

O equipamento utilizado para a criação do programa e teste do mesmo foi o seguinte:

- Telemóvel *Samsung Galaxy J3 2016*;
- *Microsoft Surface Pro 4 i5 4GB RAM*;
- *Desktop custom, Intel core i7 4770k, Nvidia GForce 640 2GB, 8GB RAM*;

Cada um dos equipamentos tem uma tarefa específica. Para a criação do programa, desenho e montagem, e criação das animações 3D, o equipamento utilizado foi o *Desktop*. Este equipamento contém todos os *softwares* com a exceção do *Vuforia scanner*. O *Surface Pro* foi utilizado como equipamento de teste do programa, tirando vantagem da sua câmara traseira e do facto de ser possível testar o programa e alterá-lo em caso de necessidade. Neste equipamento estão instalados apenas o *Unity* e o *Visual Studio*. Por fim, o telemóvel apenas tinha instalada a aplicação *Vuforia scanner*, de modo a recolher a informação supracitada.

Não foi possível utilizar as *Microsoft HoloLens* neste projeto por motivos financeiros. Sendo este equipamento substituído pela utilização do *Surface Pro 4* que é capaz de testar as funcionalidades em avaliação, apesar de apresentar uma mobilidade inferior.

3.1.3 Aplicação Do Conceito

Como já referido anteriormente, os programas foram utilizados em sequência, sendo o primeiro passo a montagem e desenho. Neste passo, o objetivo passa por guardar montagens equivalentes ao objeto final de cada fase. Na figura seguinte será possível verificar o equivalente a uma fase do programa:

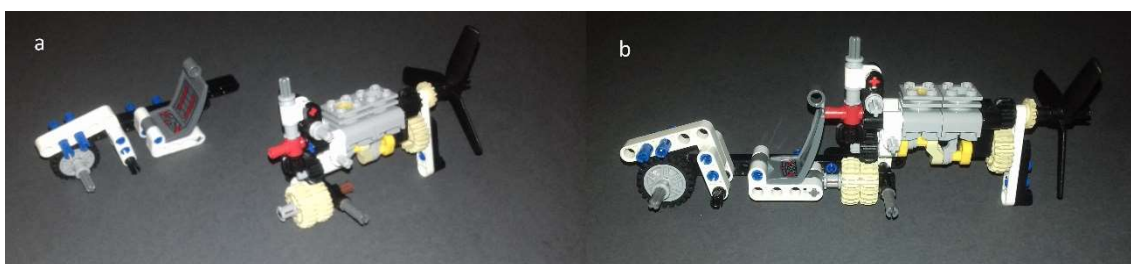


Figura 9 - (a) peças 1 e 2 para montagem; (b) peça montada;

Na Figura 9a podemos observar duas peças que denominaremos peça 1 (peça da esquerda) e peça 2 (peça da direita). Na figura 9b temos a peça final deste passo. Apenas a peça final é carregada para o programa *3DS MAX* com o objetivo de criar a animação que servirá de guia de montagem.

Após a criação da Animação no programa *3DS MAX*, é necessário exportar com um formato compatível com o *Unity*, sendo esta também uma das importâncias em utilizar este programa.

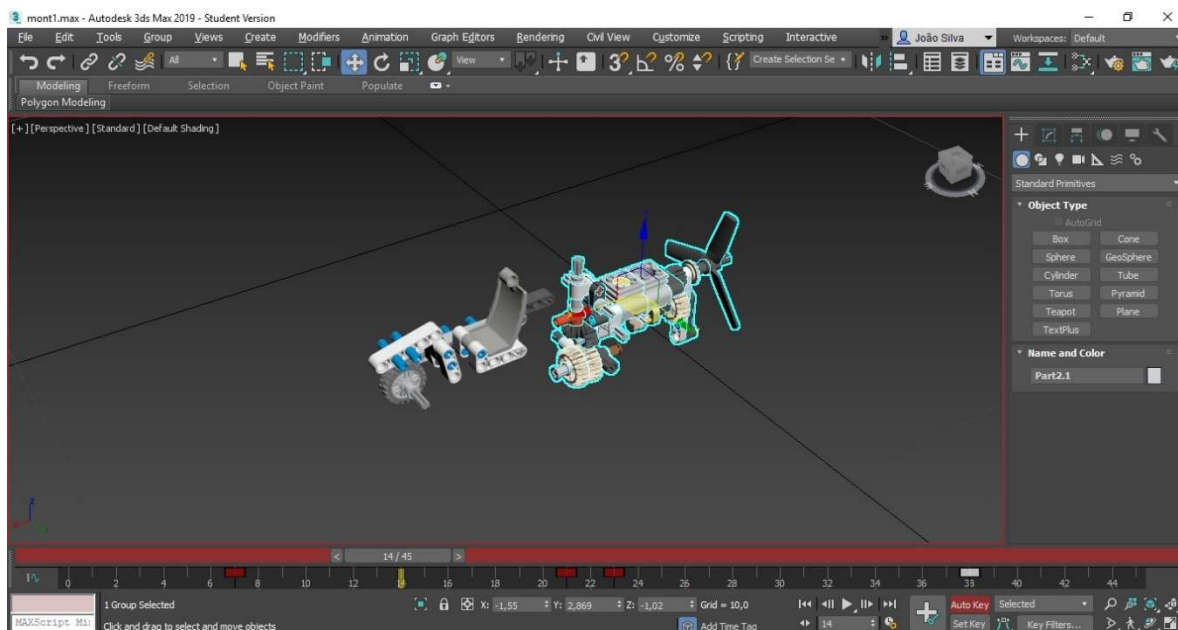


Figura 10 - Criação de uma animação no programa 3DS MAX

Antes que seja possível carregar as animações de cada passo de montagem, para o *Unity*, é necessário realizar mais duas tarefas. Em primeiro lugar é necessário ter aberto um projeto no *Unity*. Este projeto não tem licença de utilização do *toolkit Augmented Reality Vuforia*, pelo que é necessário requerê-la *online*. O processo de requisição de licenças é praticamente instantâneo e grátis no *Dev Portal* da *Vuforia*. Outro passo necessário é ativar, nas definições, os recursos de realidade aumentada. Após estes passos iniciais, podemos criar a interface no *Unity*, recorrendo ao *Visual Studio* sempre que seja necessário editar/criar *scripts*.

O programa é constituído por diversas cenas, sendo que em cada cena está presente uma fase de um passo de montagem. A animação é carregada para as cenas correspondentes às fases de montagem. Esta animação tem que ficar associada a uma *imarget*. Uma *Imarget* funciona como um alvo que a câmara tem que reconhecer de modo a despoletar um evento, que neste caso é a animação. Esta é obtida após ser carregada para o site da *Vuforia* no *Dev Portal* e posteriormente exportada para o *Unity*. A animação mantém sempre a mesma posição em relação à imagem, sendo esta estipulada no programa. Isto faz com que, se o operador rodar a imagem, a animação roda em conjunto.

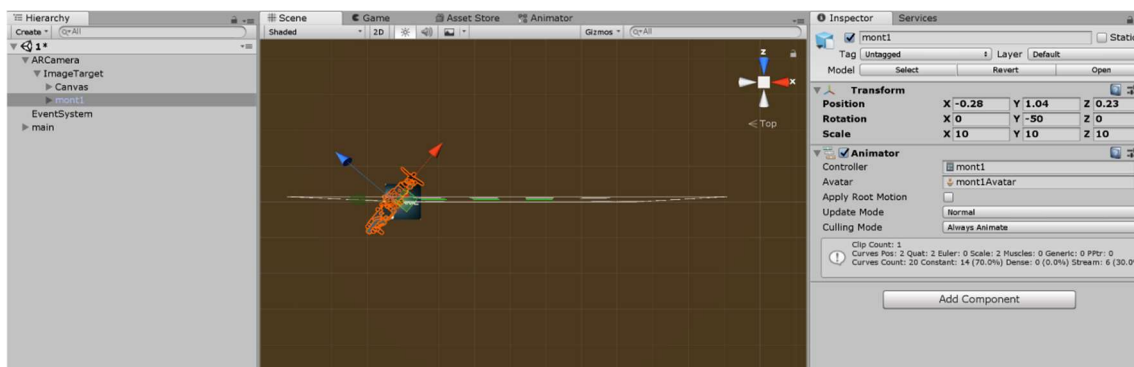


Figura 11 - Posicionamento animação de montagem no *Unity*.

Nas fases de reconhecimento de objetos, fases 1, 2 e 4 de cada passo, apenas são acrescentados *targets* 3D, denominados *3D Object Target*. Estes são obtidos fazendo *scan* do objeto que pretendemos reconhecer com a *apk* da *Vuforia* previamente instalada no telemóvel. Esta aplicação também está munida de um teste de reconhecimento, de modo a testar se este está em conformidade com o que é pretendido. Após ser finalizado o *scan* do objeto, com reconhecimento satisfatório, este é exportado para o *Vuforia Dev Portal* e posteriormente exportado do *Dev Portal* para o *Unity*. Neste caso, assim que o objeto é reconhecido, o programa apenas despoleta uma atualização ao nível do progresso do operador e um botão que permite avançar para a fase seguinte.

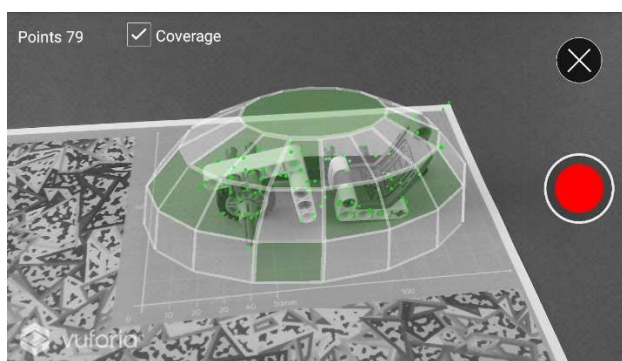


Figura 12 - Exemplo do *scan* numa peça

***Vuforia Scanner* APK**

Esta é provavelmente a ferramenta mais complexa, não ao nível de resultados, mas sim tendo em conta a dificuldade em obter resultados positivos.

Existe um procedimento aconselhado pela *Vuforia* quanto à utilização desta ferramenta. Em primeiro lugar, existe a restrição dos aparelhos compatíveis, aos telemóveis android, para a realização do *scanner*. À data da realização desta tese, os equipamentos aconselhados para a utilização desta aplicação são: *Samsung Galaxy S6*,

S7, S8, S8+ e S9, sendo que estes apresentam os melhores resultados. De acrescentar que os equipamentos são aconselhados e não obrigatórios, pois a aplicação funciona em equipamentos com a versão android atualizada. Já quanto ao ambiente de teste, é sugerido que o scan seja realizado com luz moderada e difundida, e com o mínimo de sombras possíveis. Também é requerido pela aplicação a utilização de uma base específica, que pode ser retirada do site e impressa em papel. Na figura seguinte é possível observar dois ambientes sugeridos pela *Vuforia* para a utilização do seu *software*.

Examples of Scanning Environments



A simple scanning stage using gray cardboard



A stage using a light tent and turntable

Figura 13 - Exemplos de ambientes propostos pela *Vuforia* para realização do *scan 3D* de objetos (“*Vuforia Object Scanner*,” n.d.)

O ambiente utilizado foi o primeiro visto ser mais acessível. O telemóvel utilizado não foi do grupo de equipamentos aconselhados tendo um funcionamento aceitável, mas não o ideal. Nas figuras seguintes pode-se observar o ambiente utilizado para fazer o *scanner* e o teste do programa.



Figura 14 - Ambiente de trabalho utilizado.

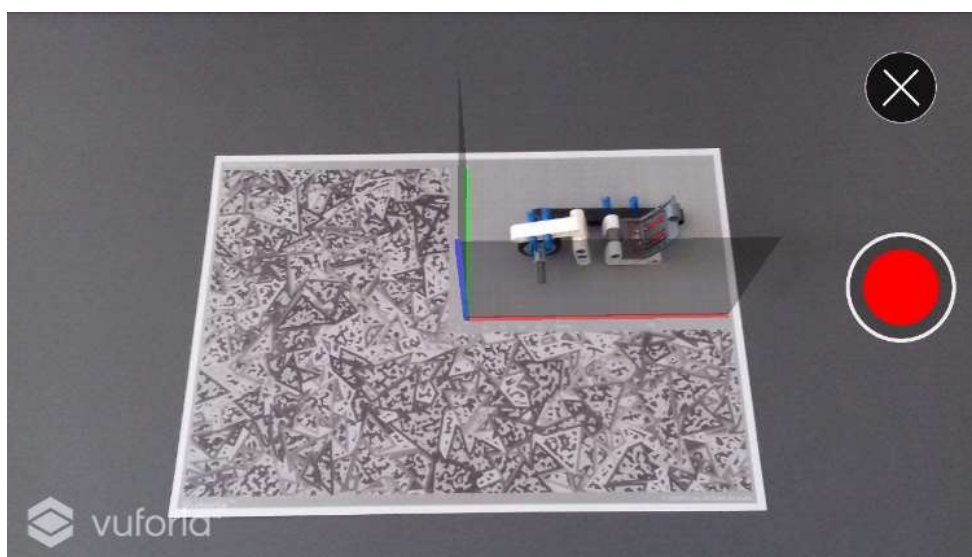


Figura 15 - Vuforia scanner após reconhecer o target.

Nesta tecnologia, o reconhecimento de objetos funciona por pontos de transição, ou seja, pontos onde a cor, morfologia ou desenho muda. Quando se faz o *upload* de uma imagem para o *Dev Portal* da Vuforia, é possível verificar uma avaliação que se chama *augmentability*. Normalmente quanto maior o número de pontos de transição distribuídos pela imagem, melhor desempenho esta terá. As duas imagens que se seguem demonstram os pontos de transição referidos.



Figura 16 - Imagem utilizada para reconhecimento e projeção de animações

Lego_Logo

[Edit Name](#) [Remove](#)

A square image identical to Figure 16, but with yellow star-shaped markers placed at various points on the logo and text to indicate transition points for AR tracking. The markers are concentrated on the 'LEGO' logo, the 'TECHNIC' text, and the '7+' rating box.

[Update Target](#) [Hide Features](#)

Type: Single Image
Status: Active
Target ID: b4338553b74b4eb18ec421b77b99c4fa
Augmentable: ★★★★★
Added: Aug 23, 2018 14:05
Modified: Aug 23, 2018 14:05

Figura 17 - Avaliação dos pontos de transição no *Dev Portal da Vuforia*.

O reconhecimento de objetos 3D baseia-se no mesmo princípio do reconhecimento de imagens (pontos de transição). Com isto é seguro concluir que um maior número de pontos de transição, pode contribuir para um melhor reconhecimento de objetos 3D, favorecendo assim a utilização de objetos mais complexos.

3.2 Avaliação do conceito

No desenvolvimento do programa foram testadas algumas das funcionalidades, sendo focadas a capacidade de projeção de animações sobre *Imagetargets* e a capacidade de reconhecimento tanto 2D como 3D. Todas estas funcionaram e foi possível desenhar um programa inicial baseado nas peças observadas nas Figuras 9a e 9b.

Os passos 1 e 2, que se baseavam no reconhecimento das peças necessárias para a realização da operação de montagem funcionaram corretamente, conseguindo distinguir as peças corretas das peças erradas. Em algumas situações, o programa conseguiu ainda reconhecer a peça enquanto esta era manuseada, mostrando a grande capacidade do reconhecimento. Apesar destes resultados, o reconhecimento não era uniforme quando a luminosidade não era constante.

Na fase da animação, conseguiu-se observar que existe uma grande versatilidade para criação de diferentes animações, podendo estas serem adaptadas especificamente para cada caso. Ainda foi possível verificar que o reconhecimento de imagens praticamente não é afetado por questões de luminosidade. Este fator é muito importante pois, o operador pode ter necessidade de alterar o ângulo da imagem para observar a animação de outro ângulo, alterando o ângulo de incidência da luz sobre a imagem. As animações funcionaram de forma muito fluida, sendo possível perceber exatamente como eram montadas as peças.

Por fim, temos a fase de reconhecimento de peças montadas. Este passo teve um comportamento idêntico ao passo de reconhecimento das peças necessárias para realização da montagem. Tendo correspondido às expectativas, mas continuando, como os passos 1 e 2, dependente da luminosidade do ambiente.

Concluindo, o programa funcionava num ambiente controlado, tendo sido possível provar o conceito e verificar o potencial existente nesta tecnologia. A velocidade e fiabilidade do reconhecimento de imagens é significativa podendo ser utilizado como um auxílio de deteção de problemas, associando *feedback* por imagens com informação que o equipamento fornecido ao Operador Aumentado consegue decifrar. Ainda foi possível ver em ação o programa criado, demonstrando o grande potencial desta tecnologia.

4. Conclusões

4 CONCLUSÕES

Devido à evolução das tecnologias da comunicação e a sua inserção da indústria os operadores necessitam de ferramentas que sejam capazes de filtrar e fornecer a informação necessária à realização das suas tarefas. Com as linhas de produção cada vez mais automatizadas é necessário também se procurar formas de colocar os operadores no fluxo de informação de modo a que estes possam resolver os problemas que possam surgir, de uma forma mais eficiente.

Assim, nesta tese foi avaliado o estado da tecnologia para fazer face a este desafio, tendo sido criado um programa que aumenta a partilha de informação entre operadores e supervisores, e que proporciona a oportunidade de realizar a formação dos operadores na própria estação de montagem, com auxílio passo a passo e *feedback* imediato.

O programa desenvolvido proporciona ao operador a realização de uma montagem sem recorrer a outros meios de informação e de forma muito intuitiva. Sempre que este completa uma tarefa a próxima fica desbloqueada para que se possa avançar. Assim obrigamos o operador a seguir uma sequência, não permitindo alterações na ordem, prevenindo problemas de qualidade por montagem imprópria ou possíveis riscos para o operador.

Concluindo, este tipo de tecnologia apresenta um forte potencial de ser aplicado em ambiente industrial, principalmente com a evolução tecnológica de equipamentos como as *Microsoft HoloLens*. No entanto, existem ainda pequenas questões relacionadas com o atual estado da tecnologia que necessitam de respostas quer ao nível do seu desenvolvimento quer ao nível do método.

Relativamente a trabalhos futuros, após a realização deste projeto e tendo em conta o que já foi mencionado, existe ainda a necessidade de avaliar quais as condições ideais para a criação e teste deste tipo de tecnologia. Assim, é sugerido que se realizem testes que comparem equipamentos android, incluindo pelo menos um da lista fornecida pela *Vuforia*. Por conseguinte também será importante compreender se o ambiente utilizado para realizar o *scan* de objetos tem um impacto significativo na capacidade de esse objeto ser posteriormente reconhecido.

**BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES
DE INFORMAÇÃO**

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Abramovici, M., Wolf, M., Adwernat, S., & Neges, M. (2017). Context-aware Maintenance Support for Augmented Reality Assistance and Synchronous Multi-user Collaboration. *Procedia CIRP*, 59(TESConf 2016), 18–22.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.09.042>
- Baird, K. M., & Barfield, W. (1999). Evaluating the effectiveness of augmented reality displays for a manual assembly task. *Virtual Reality*, 4(4), 250–259.
<https://doi.org/10.1007/BF01421808>
- Boud, A. C., Haniff, D. J., Baber, C., & Steiner, S. J. (1999). Virtual Reality and Augmented Reality as a Training Tool for Assembly Tasks. *Information Visualization, 1999. Proceedings. 1999 IEEE International Conference*, 32–36.
<https://doi.org/10.1109/IV.1999.781532>
- Caponetto, I., Earp, J., & Ott, M. (2014). Gamification and Education: A Literature Review. *Proceedings of the European Conference on Games Based Learning*, 1(2009), 50–57. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1181.8080>
- Doshi, A., Smith, R. T., Thomas, B. H., & Bouras, C. (2017). Use of projector based augmented reality to improve manual spot-welding precision and accuracy for automotive manufacturing. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89(5–8), 1279–1293. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9164-5>
- Forssén-Nyberg, M., & Hakamäki, J. (1998). Development of the production using participative simulation games: Two case studies. *International Journal of Production Economics*, 56–57(97), 169–178.
[https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273\(97\)00028-5](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273(97)00028-5)
- Funk, M., Kosch, T., Greenwald, S. W., & Schmidt, A. (2015). A benchmark for interactive augmented reality instructions for assembly tasks. *Proceedings of the*

14th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia - MUM '15, (Mum), 253–257. <https://doi.org/10.1145/2836041.2836067>

Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778–798. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>

Gorecky, D., Schmitt, M., Loskyll, M., & Zühlke, D. (2014). Human-machine-interaction in the industry 4.0 era. *Proceedings - 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics, INDIN 2014*, 289–294. <https://doi.org/10.1109/INDIN.2014.6945523>

Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does gamification work? - A literature review of empirical studies on gamification. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 3025–3034. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377>

Hořejší, P. (2015). Augmented reality system for virtual training of parts assembly. *Procedia Engineering*, 100(January), 699–706. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.422>

Hou, L., Wang, X., & Truijens, M. (2015). Using Augmented Reality to Facilitate Piping Assembly: An Experiment-Based Evaluation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(1), 05014007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000344](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000344)

Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., & Chan, A. P. C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety. *Automation in Construction*, 86(October 2017), 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003>

- Lim, T. (2017). Deploying serious games for supply chain management : lessons learned and good practices, (February 2018).
- Loch, F., Quint, F., & Brishtel, I. (2016). Comparing video and augmented reality assistance in manual assembly. *Proceedings - 12th International Conference on Intelligent Environments, IE 2016*, 147–150. <https://doi.org/10.1109/IE.2016.31>
- Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). <title>Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum</title>, *2351*, 282–292. <https://doi.org/10.1117/12.197321>
- Mourtzis, D., Zogopoulos, V., Katagis, I., & Lagios, P. (2018). Augmented Reality based Visualization of CAM Instructions towards Industry 4.0 paradigm: A CNC Bending Machine case study. *Procedia CIRP*, *70*, 368–373. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.02.045>
- Mura, M. D., Dini, G., & Failli, F. (2016). An Integrated Environment Based on Augmented Reality and Sensing Device for Manual Assembly Workstations. *Procedia CIRP*, *41*, 340–345. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.12.128>
- Nee, A. Y. C., & Ong, S. K. (2013). *Virtual and augmented reality applications in manufacturing. IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)* (Vol. 46). IFAC. <https://doi.org/10.3182/20130619-3-RU-3018.00637>
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., & Roy, R. (2017). An Innovative Process to Select Augmented Reality (AR) Technology for Maintenance. *Procedia CIRP*, *59*(TESConf 2016), 23–28. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.10.001>
- Palmarini, R., Erkoyuncu, J. A., Roy, R., & Torabmostaedi, H. (2018). A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, *49*(March 2017), 215–228. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.06.002>

Pho, A., & Dinscore, A. (2015). Game-Based Learning Overview and Definition. *Tips and Trends*, (Spring 2015), 1–5. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-3185-5_38

Savin-baden, M. (2018). Extending the Activity Theory Based Model for Serious Games Design in Engineering to Integrate Analytics. *International Journal of Engineering Pedagogy*, 8(1), 109–126. <https://doi.org/10.3991/ijep.v8i1.8087>
Michael

Tang, A., Owen, C., Biocca, F., & Mou, W. (2003). Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '03*, (5), 73.
<https://doi.org/10.1145/642625.642626>

Tatić, D., & Tešić, B. (2017). The application of augmented reality technologies for the improvement of occupational safety in an industrial environment. *Computers in Industry*, 85, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2016.11.004>

Vuforia Object Scanner. (n.d.). Retrieved October 18, 2018, from
<https://library.vuforia.com/articles/Training/Vuforia-Object-Scanner-Users-Guide>

Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., & Gorecky, D. (2015). Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 579–584.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.143>