

Aplicações da Realidade Aumentada na Manufatura: uma Revisão da Literatura

Ivaneu Bender e Ivandro Ceconello

Resumo

No cenário empresarial tem sido cada vez mais comum o emprego de inovações tecnológicas avançadas, mediante o surgimento do conceito de Indústria 4.0, que vem propiciando a otimização dos recursos e elevando a produtividade no setor fabril. Neste contexto, tem-se a Realidade Aumentada, tecnologia habilitadora que utiliza a visualização computacional e o processamento das imagens e das técnicas de computação gráfica. Este estudo teve o objetivo de verificar o estado da arte das aplicações da Realidade Aumentada na Indústria 4.0 por meio de uma revisão sistemática da literatura. Para atingir o objetivo proposto foi desenvolvida uma revisão sistemática da literatura utilizando a base de dados SCOPUS, considerando-se os estudos publicados no período de 2015 a 2020. A Realidade Aumentada é utilizada para aumentar o mundo real por meio de informações digitais, fornecendo uma interação em tempo real com os objetos reais e virtuais. Os resultados da revisão sistemática da literatura indicaram que a Realidade Aumentada se faz presente em várias aplicações na manufatura, incluindo: a criação de manuais virtuais de manutenção; visualização das instruções de trabalho e *design* de produto; desenvolvimento de modelagens e simulações, com a finalidade de aprimorar continuamente as atividades no setor fabril; para facilitar as atividades dos operadores nos processos fabris e de manutenção; e para auxiliar nas atividades apoiadoras desses processos.

Palavras-chave

Indústria 4.0, Realidade aumentada, Manufatura.

Applications of Augmented Reality in Manufacturing: a Literature Review

Abstract

In the business scenario, the use of advanced technological innovations has been more and more common, through the emergence of the concept of Industry 4.0, which has provided the optimization of resources and increased productivity in the manufacturing sector. In this context, there is Augmented Reality, an enabling technology that uses computer visualization and image processing and computer graphics techniques. This study aimed to verify the state of the art of Augmented Reality applications in Industry 4.0 through a systematic literature review. To achieve the proposed objective, a systematic literature review was developed using the SCOPUS database, considering the studies published in the period from 2015 to 2020. Augmented Reality is used to increase the real world through digital information, providing a real-time interaction with real and virtual objects. The results of the systematic literature review indicated that Augmented Reality is present in several applications in manufacturing, including: the creation of virtual maintenance manuals; visualization of work instructions and product design; development of modeling and simulations, in order to continuously improve activities in the manufacturing sector; to facilitate the activities of operators in manufacturing and maintenance processes; and to assist in activities supporting these processes.

Keywords

Industry 4.0, Augmented reality, Manufacturing.

I. INTRODUÇÃO

As empresas no setor industrial buscam investir continuamente em inovações tecnológicas, no intuito de aprimorar os seus produtos e a sua capacidade fabril. Neste sentido, a Quarta Revolução Industrial ou também denominada Indústria 4.0 poderá acelerar os investimentos e/ou alavancar as inovações tecnológicas no setor fabril [1].

A Indústria 4.0 compreende uma das iniciativas de pesquisa alemã com a finalidade de implementar a estratégia de alta tecnologia para enfrentar os desafios do século XXI naquele país. Historicamente na Primeira Revolução

Industrial foram introduzidas a energia hídrica e a energia a vapor; e na Segunda Revolução Industrial foram desenvolvidas as técnicas de produção em massa com o uso da energia elétrica. A Terceira Revolução Industrial foi baseada na aplicação dos sistemas eletrônicos e na inserção da Tecnologia da Informação (TI) para aprimorar a automação da manufatura e; a Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0) implica na introdução e sistemas ciberfísicos [2].

A Quarta Revolução Industrial tem afetado significativamente os processos de produção e o paradigma de produção personalizado que distingue a Indústria 4.0,

permite que os clientes solicitem produtos exclusivos e/ou personalizados, definidos pelos recursos específicos selecionados [3]. O conceito de Indústria 4.0, apresenta como benefícios a customização de produtos; eleva a flexibilidade dos processos fabris; otimiza a tomada de decisão por meio do processamento e do compartilhamento das informações em tempo real; propicia a melhora da eficiência e da produtividade dos recursos; e promove oportunidades na criação de valor [4].

Os recentes avanços digitais, incluindo o surgimento de *softwares* sociais¹; tecnologias móveis; e a Realidade Aumentada têm oferecido oportunidades promissoras para a capacitação dos trabalhadores do conhecimento em seu ambiente de produção, avançando os seus processos de conhecimento, as suas habilidades para a tomada de decisão e, também, auxilia nas práticas de interação dos funcionários no ambiente de trabalho [5].

Neste contexto, a Realidade Aumentada (RA), em inglês *Augmented Reality* (AR), foi proposta como uma tecnologia disruptiva e habilitadora dentro do paradigma de fabricação no conceito de Indústria 4.0 [6]. A Realidade Aumentada surgiu como uma tecnologia habilitadora essencial, que permite a transferência das informações de sistemas de *design* digitalizados e bancos de dados para os operadores humanos, especialmente incluindo as informações de produção e de manutenção [7].

A realização do estudo se justifica, pois pretende preencher a lacuna que falta em relação à aplicação da Realidade Aumentada na manufatura. A Realidade Aumentada é um termo utilizado para a identificação de um conjunto de tecnologias que permite que a visão do ambiente do mundo real seja aumentada por elementos ou objetos gerados por computador [8].

Por sua vez, nos processos de fabricação, existe uma necessidade contínua de melhorar a qualidade dos produtos, bem como a produtividade dos trabalhadores. A Realidade Aumentada utiliza manufatura digital, onde os sistemas de gerenciamento de dados e de tecnologias de simulação são comumente empregados para melhorar a manufatura antes de iniciar a produção [9].

Os sistemas de Realidade Aumentada estão se tornando tecnologias maduras para a aplicação na manufatura e nos sistemas de serviços e o objetivo consiste em apoiar um aumento no desempenho das empresas em termos de prazos de entrega e qualidade, além de ciclos de processos mais curtos [10].

Diante do exposto, surge o seguinte questionamento para este estudo: Quais são as aplicações da Realidade Aumentada na Indústria 4.0 conforme literatura?

Para atender ao questionamento proposto, este estudo tem por objetivo verificar o estado da arte das aplicações da Realidade Aumentada na Indústria 4.0 por meio de uma revisão sistemática da literatura. Para tanto será utilizado como método de pesquisa, a revisão sistemática da literatura utilizando-se a base de dados SCOPUS para realizar a busca das publicações sobre a temática em estudo, considerando as

publicações do período compreendido entre os anos de 2015 a 2020.

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. A Origem do Conceito de Indústria 4.0

A tecnologia está evoluindo em ritmo acelerado e as empresas precisam se adaptar a uma evolução tão constante [11]. No ambiente de negócios competitivos dos dias atuais, o progresso contínuo da Indústria 4.0 ultrapassa os limites da ciência de dados e incentiva a próxima geração de manufatura a se apresentar flexível, inteligente e interoperável [12].

Historicamente, o conceito de Indústria 4.0 teve origem na Alemanha, quando os governantes adotaram estratégias, com a finalidade de tornar o país líder em tecnologia para se fortalecer e tornar-se competitivo mundialmente [4].

O paradigma do conceito da Indústria 4.0, que melhoraria significativamente o setor econômico e o ambiente operacional, foi apresentado no ano de 2011, na Feira de Hannover, pelo governo alemão [13]. Assim sendo, os impactos da Indústria 4.0 nos diferentes países e setores varia conforme os investimentos de capital de cada país em adoções de alta tecnologia, como aquisição de equipamentos inteligentes, inserção de tecnologias de informação avançadas e implantação de processos inovadores [14].

Desse modo, ao final do ano de 2011, o conceito de Indústria 4.0 passou a ser mais conhecido, com a criação da associação de representantes de empresas e da academia na Alemanha, o que promoveu uma abordagem para o aprimoramento da competitividade da indústria naquele país. O governo alemão apoiou e ofereceu incentivos às empresas, anunciando que o conceito de Indústria 4.0 faria parte do Projeto *'High-Tech Strategy 2020 for Germany'*, na busca da liderança em inovação tecnológica. A partir disso, criou-se um grupo de trabalho para lidar com o conceito de Indústria 4.0 e a primeira recomendação descrita relacionada ao referido conceito foi publicada no mês de abril de 2013 [4].

A Indústria 4.0 é utilizada como um termo mais popular para descrever a Quarta Revolução e para o uso crescente das tecnologias de informação e de automação no ambiente fabril [15]. Além disso, a Indústria 4.0 é descrita como a crescente digitalização e automação do ambiente fabril; e a criação de uma cadeia de valor digitalizada para permitir a comunicação entre os produtos, seu ambiente e os parceiros de negócios [16].

A abordagem da Indústria 4.0 transforma o modelo tradicional de pirâmide de automação em um modelo de rede de serviços interconectados, combinando a tecnologia operacional com a tecnologia da informação [17]. Assim, o aspecto fundamental do conceito de Indústria 4.0 compreende o emprego da habilidade de Sistemas Físicos Cibernéticos (*Cyber-Physical System – CPS*), que oportunizem a busca da inteligência e da comunicação para os sistemas técnicos, os quais ao assumirem esta configuração, serão denominados sistemas inteligentes [2].

A terminologia de Indústria 4.0 é considerada recente, porém as suas tecnologias habilitadoras, ilustradas na Figura 1, existem há décadas e têm beneficiado expressivamente várias indústrias. Logo, a Indústria 4.0 é caracterizada por Sistemas Físicos Cibernéticos, os quais permitem a fusão dos mundos reais e virtuais em tempo real [18].

¹ Os *softwares* sociais compreendem ferramentas que auxiliam no aumento das habilidades sociais e colaborativas dos indivíduos e, também, um meio que tem por finalidade facilitar a conexão social bem como a troca de informações entre as pessoas. Exemplos: *Youtube, Orkut, Twitter* e outros [59].

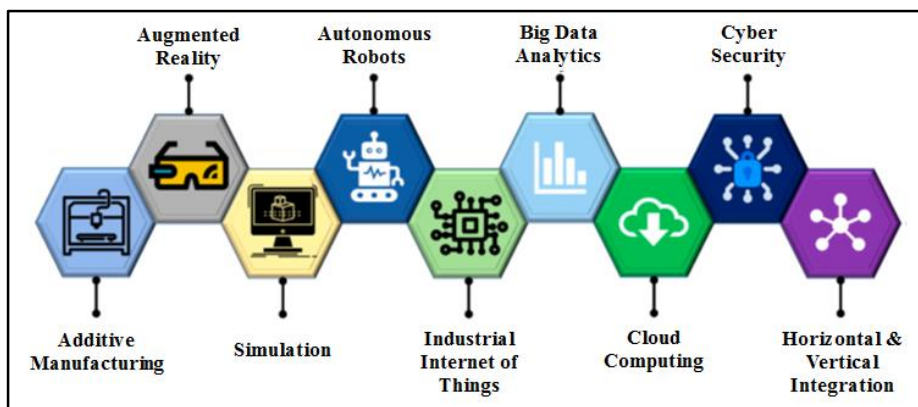


Figura 1: Tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 [18].

Verifica-se na Figura 1 que, existem nove pilares da Indústria 4.0: Manufatura Aditiva (3D); Realidade Aumentada; Simulação; Robôs Autônomos; *Internet* das Coisas; *Big Data*; Computação em Nuvem; Sistemas Físicos Cibernéticos; e Integração Vertical e Horizontal. Esses pilares reconstruíram a produção em um fluxo de produção totalmente integrado, automatizado e otimizado. Assim os pilares da Indústria 4.0 oferecem uma melhor eficiência e relação entre fornecedores, produtores e clientes, incluindo a relação homem-máquina durante a mudança na produção tradicional [19].

As tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 oferecem benefícios significativos à cadeia de valor da manufatura, dentre eles tem-se: maior produtividade e eficiência; o compartilhamento de conhecimentos aumenta trabalho colaborativo; flexibilidade e agilidade; conformidade mais fácil com os regulamentos; melhora a experiência dos clientes; redução de custos e; aumento das receitas. Com esses benefícios, a Indústria 4.0 vem ganhando atenção da academia, empresas e até mesmo de governos. Neste sentido, cada país com experiência em manufatura está financiando as

iniciativas que poderão posicioná-los como promotores de instalações fabris avançadas ou também denominadas de fábricas inteligentes [18].

Em particular, a Realidade Aumentada (RA) compreende uma das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 que é adotada em várias áreas das empresas. É uma técnica que basicamente consiste em sobrepor os objetos virtuais no mundo real ao mesmo tempo em que permite as interações entre os usuários e os sistemas em tempo real. Assim, pode-se afirmar que uma das finalidades da utilização da Realidade Aumentada é fortalecer o mundo real com os conteúdos virtuais [20].

Em síntese, a implantação do conceito de Indústria 4.0 compreende uma estratégia para a obtenção dos seguintes benefícios: integração horizontal das redes de valor em termos estratégicos; integração digital total da engenharia em relação à cadeia de valor com o nível de processo de negócio e; integração vertical e das redes de sistemas de produção [4]; [16]. No conceito de Indústria 4.0 alemão existem seis princípios que o fundamentam nas diferentes abordagens de gestão, os quais estão identificados no Quadro 1.

Princípios	Descrição
Princípio da Interoperacionalidade	Os Sistemas Físicos Cibernéticos existentes em uma fábrica ou ambiente fabril, mesmo que manufaturados por fornecedores diversos sejam capazes de se comunicar uns com os outros por intermédio das redes.
Princípio de Virtualização	Possibilita que os dados obtidos dos Sistemas Físicos Cibernéticos nos produtos e nos equipamentos físicos sejam transmitidos aos modelos virtuais e em simulações, espelhando os comportamentos reais no ambiente virtual. Exemplo: criação de ambiente virtual de produção de suporte ao gerenciamento de fluxos físicos, utilizando sistemas GPS e eliminando potenciais riscos.
Princípio da Descentralização	A crescente demanda por produtos customizados dificulta o controle dos sistemas de forma centralizada. Neste princípio, os processos produtivos com computadores embarcados em conjunto com a <i>Internet</i> das Coisas (IOT) habilitam os Sistemas Físicos Cibernéticos a tomarem decisões por conta própria (níveis operacionais) em tempo real.
Princípio da adaptação da Produção em Tempo Real	Os dados são analisados no instante em que são coletados, assim, é possível que a produção seja realocada ou transferida para outras linhas ou máquinas em caso de falhas e/ou na hipótese de se produzir bens customizados (capacidade de tempo da equipe).
Princípio da Orientação aos Serviços	Os dados e os serviços são disponibilizados em rede aberta, tornando a <i>internet</i> de serviços mais robusta. Logo, a customização dos processos fabris exige maior flexibilidade de adaptação conforme as especificações dos clientes. Incluindo: como criar produtos que atendam aos requisitos do cliente, resolvendo seu problema na combinação de espaço virtual, humanos, serviços e internet para oferecer composição de produtos.
Princípio da Modularidade	Os sistemas modulares são capazes de adaptar-se com flexibilidade às modificações nos requisitos, substituindo ou expandindo os módulos individuais, portanto, os sistemas modulares (equipamentos e linhas produtivas) podem ser facilmente ajustados em caso de flutuações sazonais ou em eventuais adaptações das características dos produtos.

Quadro 1: Princípios da Indústria 4.0. [19]; [21]

Diante do exposto, é preciso compreender que, a Realidade Aumentada está inter-relacionada com os princípios de virtualização (visualização); de descentralização; de adaptação da produção em tempo real; e de orientação aos serviços, detalhados no Quadro 1 [18]; [22]. A indústria de manufatura está mudando e se inserindo em uma nova era com dispositivos inteligentes e conectados. Neste sentido, a Quarta Revolução Industrial está prometendo aumento de crescimento e de produtividade pela fábrica inteligente e dentro das tecnologias habilitadoras está a Realidade Aumentada [23], a qual é abordada na próxima seção.

B. Realidade Aumentada

A Realidade Aumentada é uma das nove tecnologias habilitadoras (Figura 1) que impulsiona a transformação apoiada pela iniciativa do conceito de Indústria 4.0. Nessa transformação, sensores, máquinas, peças de trabalho, operadores e sistemas de TI são conectados à cadeia de valor além de uma única empresa. Logo, a Realidade Aumentada é uma tecnologia essencial ancorada na realização dos objetivos de fabricação inteligente no conceito da Indústria 4.0 [24]. Em particular, existem áreas industriais específicas onde a visualização da informação por meio da Realidade Aumentada é muito eficaz em relação às outras tecnologias, como exemplos no atendimento remoto e na localização dos pontos de fiscalização [25].

Ainda que, as primeiras aparições do conceito de Realidade Aumentada tenham atuado por mais de vinte anos, essa tecnologia só teve uma evolução significativa no ambiente industrial recentemente, graças à miniaturização dos componentes eletrônicos, ao aumento do poder de computação, à autonomia dos computadores e à ampla adoção de *smartphones* e outros dispositivos portáteis. No ano de 1994, a Realidade Aumentada era definida como uma tecnologia que era capaz de elevar o *feedback* natural dos operadores com pistas virtuais e, por outro lado, era concebida como uma forma de realidade virtual em que a tela com a cabeça do participante era transparente. Tais definições foram confirmadas no ano de 1997, quando Ronald Azuma, mencionou que a Realidade Aumentada permitia ao usuário visualizar o mundo real com uma sobreposição de objetos virtuais, entendendo que a Realidade Aumentada era um sistema em que os objetos virtuais 3D eram integrados em um ambiente 3D real e em tempo real, apresentando três critérios básicos: a combinação do ambiente real com os elementos virtuais; a interatividade em tempo real; e adicionar (registrar) elementos virtuais 3D na Realidade Aumentada percebida [26].

A Realidade Aumentada tem se tornado uma tecnologia poderosa para a distribuição de conhecimentos e para a realização de treinamentos de novos profissionais que ganharam muito espaço nas atividades de pesquisa. Tal situação propiciou o surgimento do paradigma de ‘fábricas de ensino’ (*teaching factory*), o que corresponde aos cursos internos de treinamento, que fornecem um meio útil para expandir o seu uso na indústria, citando, por exemplo, a realização de treinamento aos jovens profissionais de engenharia para desenvolver o *design* e a avaliação de produtos empregando a Realidade Aumentada [7].

Mais recentemente, a Realidade Aumentada é definida como uma técnica de computação gráfica, onde os símbolos

virtuais são sobrepostos a uma imagem real do mundo externo, representando uma evolução da realidade virtual [13]. A Realidade Aumentada está relacionada a uma realidade mediada, na qual uma visão da realidade é modificada por meio de um sistema de computador; em contraste, a realidade virtual substitui o mundo real por um mundo simulado [27]. Acrescenta-se que a Realidade Aumentada refere-se ao mapeamento em tempo real do ambiente real, elementos dos quais são aumentados por mídias de apresentação criadas por computador, assim, a cognição do usuário é aprimorada [28].

As pessoas podem experimentar a Realidade Aumentada por meio de equipamentos portáteis (*smartphones Android* e fones de ouvido ARKit da Apple); *Head-Mounted Display* (HMD) (como *Microsoft HoloLens* e *Meta 2*); montagem óptica com visores montados na cabeça e projetores (*Smart glasses* e *Data Glasses*); e informações ambientais de Realidade Aumentada (sistemas de quiosque e instalações interativas de Realidade Aumentada) [12].

Com o crescimento do uso das tecnologias de Realidade Aumentada, os seus dispositivos têm sido empregados para auxiliar no aumento da segurança nas fábricas e para a redução da demanda física dos trabalhadores. Assim, o atrativo da Realidade Aumentada consiste na configuração das informações do ambiente físico para inspirar, contextualizar e orientar a criatividade dos usuários [29]. Em particular, as tecnologias de Realidade Aumentada são apreciadas por sua capacidade de aprimorar a percepção humana do ambiente, sobrepondo informações visuais geradas por computador adicionais à visão do usuário [30].

Por sua vez, a Realidade Aumentada suporta a renderização de geometria em uma escala realista no campo de visão do usuário final do ambiente real. Logo, o *designer* do produto pode visualizar e interagir com o novo *design* do produto de uma forma que seja realista e, também, capaz de conectar o protótipo virtual com *designs* materializados, por exemplo, versões mais antigas do mesmo produto [7].

Uma das principais vantagens do uso da Realidade Aumentada é que ela pode auxiliar os trabalhadores a realizar várias tarefas, possibilitando a mudança da produção em massa para a personalização dos produtos em massa [25]. Apoiando-se na realidade ao incorporar elementos 3D virtuais, a Realidade Aumentada permite integrar precisamente o ambiente virtual (o que tem que fazer) com a realidade (o que existe e o que é visualizado). Em outras palavras, a Realidade Aumentada permite aos usuários visualizar e interagir com os objetos 3D, no ambiente real, mais facilmente do que por meio de uma simulação ou de uma tela de computador [26].

Nos dias atuais, a criação de conteúdo de Realidade Aumentada requer uma gama de conhecimentos especializados, incluindo a modelagem 3D, o *design* de interface, a programação e o rastreamento espacial. Além disso, envolve as alterações na infraestrutura, por exemplo, os marcadores fiduciais, as câmeras; e a interrupção no fluxo de trabalho [6].

No contexto atual, muitas empresas visualizam a Realidade Aumentada como uma tecnologia importante para fornecer novos serviços relacionados aos seus produtos [31]. Ao fornecer as informações flexíveis em tempo real e a possibilidade de obter informações, a Realidade Aumentada no setor fabril, sem o uso das mãos, oferece um benefício

substantial de eficiência, reduzindo a taxa de erros de montagem e fornece maneiras fáceis de se comunicar com os especialistas em tarefas de manutenção [32].

Com relação ao uso da Realidade Aumentada no contexto industrial, muitas empresas estão desenvolvendo aplicações em uma ampla gama de campos, por exemplo, nos setores de logística, marketing, educação, manutenção e outros, no intuito de melhorar os serviços [26].

Como uma das tecnologias de ponta na Quarta Revolução Industrial, a Realidade Aumentada tem sido reconhecida como um suporte interessante de aplicações na manufatura [26]. Na próxima seção são descritos os métodos que foram utilizados para o desenvolvimento do estudo.

III. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo se constitui em uma revisão sistemática da literatura que está orientada pela seguinte questão de pesquisa: Como está sendo aplicada a Realidade Aumentada na manufatura?

As revisões sistemáticas da literatura compreendem uma forma de sintetizar as evidências científicas para responder a uma determinada questão de maneira transparente e reproduzível, procurando incluir todas as informações e as evidências sobre o tópico estudado e para avaliar a qualidade dessas evidências [33].

O estudo contou com a consulta na base de dados SCOPUS mediante acesso no Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior CAPES do Ministério da Educação (MEC), local de pesquisa científica aceito no contexto acadêmico.

Para iniciar a coleta dos estudos foram definidas as seguintes palavras-chave: *Industry 4.0* (Indústria 4.0); *Augmented Reality* (Realidade Aumentada) e; *Manufacturing* (Manufatura), no intuito de atingir ao objetivo proposto.

Com a realização da pesquisa inicial na base de dados SCOPUS considerando-se as palavras-chave definidas foram obtidos 865 estudos. Em seguida foram observados os critérios de busca da ferramenta SCOPUS para selecionar e refinar os artigos para compor o estudo.

Assim sendo, foi realizando um refinamento da busca na base de dados considerando-se o tipo de recurso e foram descartados os seguintes estudos: artigos de jornal não indexados em revistas acadêmicas; atas de congressos; recursos textuais; resenhas; *book chapters* (capítulos de livros); *technical report* (relatórios técnicos); e o resultado do refinamento indicou 779 artigos científicos.

Na etapa seguinte foi realizando um segundo refinamento na base de dados SCOPUS para a definição da data de publicação dos estudos para o período de 2015 a 2020 resultando na obtenção de 668 artigos científicos.

Na sequência optou-se em realizar um terceiro refinamento na ferramenta de busca de dados SCOPUS, excluindo os artigos que não apresentassem os tópicos para atender o objetivo proposto.

Desse modo, foram descartados os estudos que apresentavam os seguintes tópicos na base de dados

SCOPUS: *Internet of Things* (IoT); artigos de revisão de literatura; *digitalization*; *economics*; e *sensors*. Foram obtidos 415 artigos científicos; e deste total optou-se em descartar 4 estudos que eram duplicados, restando 411 artigos.

Com a finalização da busca dos artigos científicos, inicialmente os estudos foram selecionados pelos títulos; na sequência foi realizada a leitura dos resumos; e por fim, por intermédio do texto completo dos artigos, sendo que nesta última etapa os estudos foram submetidos a uma avaliação crítica e foram extraídos os resultados que respondessem a questão problema do estudo.

Para isso, foram considerados os seguintes critérios de inclusão dos artigos para compor o estudo: artigos que foram publicados no período entre os anos de 2015 a 2020; artigos científicos que estavam indexados em revistas acadêmicas; artigos de qualquer idioma; e artigos que continham as palavras-chave definidas para o estudo.

Para os critérios de exclusão foram adotados, os seguintes parâmetros de refinamento: descartados os artigos de revisão de literatura; os artigos apresentados em atas e congressos; as resenhas de artigos; os artigos não acadêmicos; os artigos de relatórios técnicos; os artigos de capítulos de livros; os recursos textuais; os artigos duplicados; os artigos com restrição ao texto completo; e os artigos que citavam a Indústria 4.0 na manufatura, mas com ênfase em outras tecnologias diversa da Realidade Aumentada.

Ao finalizar a leitura dos títulos e dos resumos dos 411 artigos obtidos foram selecionados 44 artigos científicos, os quais foram considerados elegíveis para o desenvolvimento dessa revisão integrativa da literatura e, portanto, foram descartados 367 artigos científicos considerando-se os critérios de exclusão mencionados anteriormente.

Para auxiliar no desenvolvimento da revisão sistemática da literatura foi publicado em 1999, o guia denominado Qualidade dos Relatos de Meta-Análises (Quórum) e atualizado a partir do ano de 2005, o que desencadeou no aprimoramento da ferramenta PRISMA.

A ferramenta PRISMA é utilizada para fornecer uma compreensão contextual abrangente dos estudos anteriores a serem publicados como um relatório transparente e avaliado criticamente para as revisões da literatura e meta-análises sistemáticas [34]. Desse modo, para este estudo foi empregada a ferramenta PRISMA que tem por finalidade garantir a clareza e a transparência dos estudos de revisões sistemáticas e dados recentes indicam que tal ferramenta é muito necessária [34].

Na Figura 2 encontra-se a seleção dos artigos científicos elegíveis para este estudo mediante o desenvolvimento do fluxograma PRISMA.

Com a aplicação do fluxograma PRISMA, identificado na Figura 2, foi definida a base dos artigos científicos para ser analisada com confiabilidade e foram considerados 44 artigos científicos elegíveis para compor o estudo, como descrito na próxima seção.

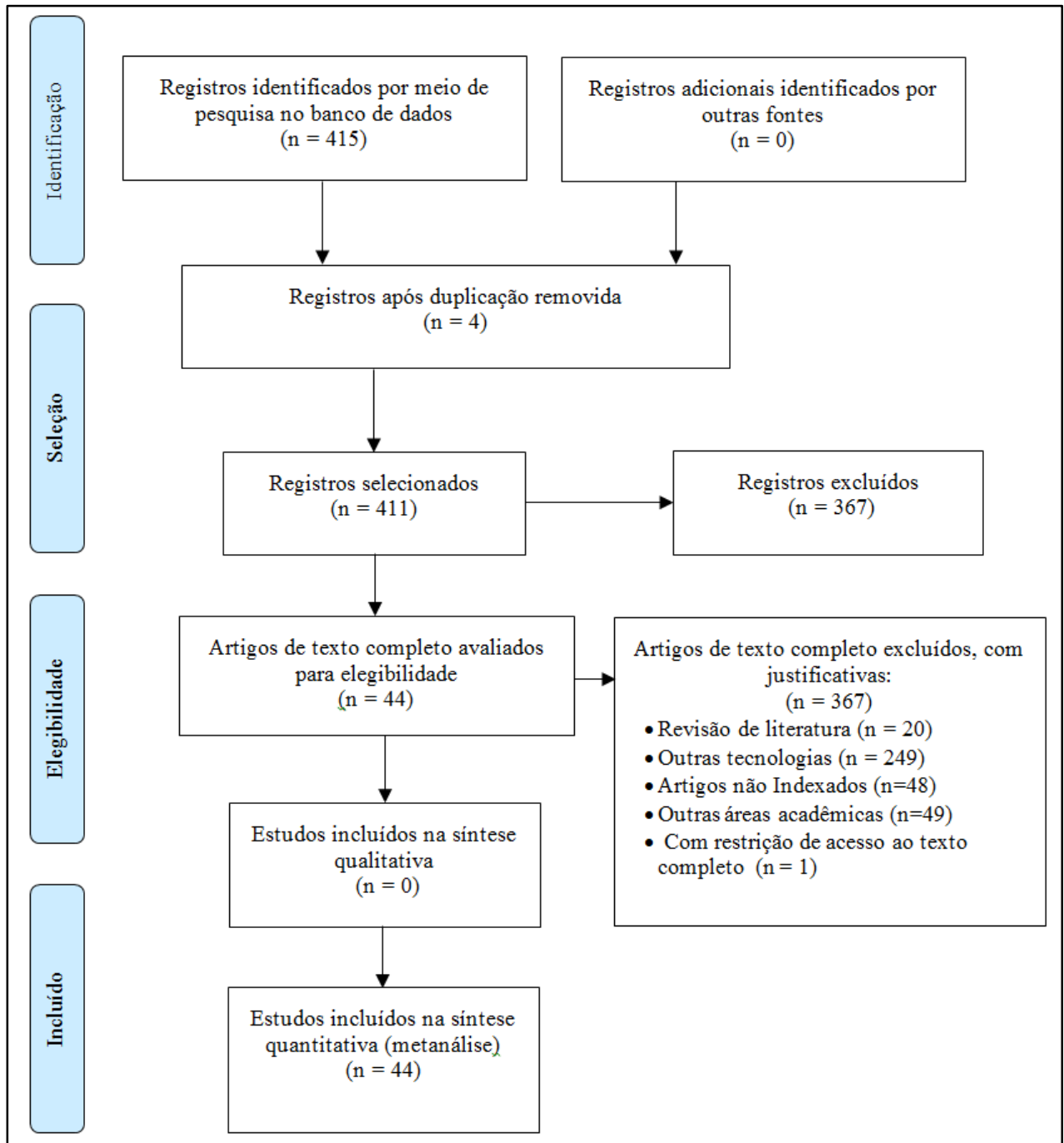


Figura 2: Fluxograma PRISMA

IV. RESULTADOS

Os resultados da pesquisa indicaram 44 artigos científicos elegíveis para compor a revisão sistemática da literatura e para responder ao questionamento proposto.

Na Figura 3 é demonstrada a quantidade de estudos selecionados e o respectivo ano de sua publicação.

Como se verifica na Figura 3, os estudos selecionados são considerados atualizados, porque do total dos 44 artigos elegíveis: 31,82% estudos foram publicados no ano de 2019, ou seja, 14 artigos científicos; no ano de 2018 também 14

artigos foram publicados representando o mesmo percentual de 2019 (31,82%); 20,45% até o primeiro semestre do ano de 2020, ou 9 artigos científicos; 9,09% estudos no ano de 2017 (4 estudos); 4,55% em 2015 (2 estudos); e um estudo foi publicado no ano de 2016, representando 2,27% em relação ao total dos artigos elegíveis para o estudo.

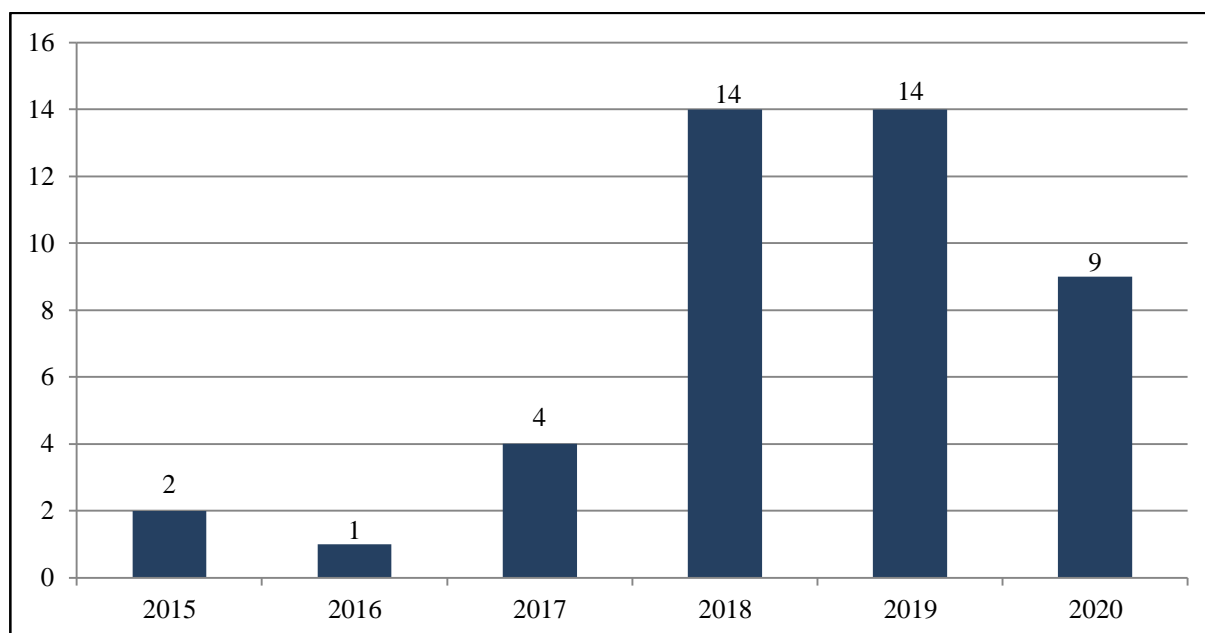


Figura 3: Quantidade de artigos elegíveis por data de publicação

V. REALIDADE AUMENTADA NA MANUFATURA

Nesta seção são relatados os principais aspectos e os resultados obtidos nos 44 estudos elegíveis, no intuito atender ao objetivo do estudo.

Em função da quantidade de artigos científicos selecionados para este estudo optou-se em criar cinco categorias de análise para verificar as aplicações da Realidade Aumentada na manufatura: (1ª) tipo de manufatura; (2ª) setor de aplicação; (3ª) objeto de aplicação; (4ª) ciclo de desenvolvimento do produto (ciclo de vida do produto); e (5ª) *software* e/ou *hardware* utilizados, cujas categorias estão apresentadas na próxima seção.

A. Tipo de manufatura

No Quadro 2 estão apresentadas as aplicações da Realidade Aumentada na manufatura considerando a

categoria do tipo de manufatura, indicando o segmento da empresa; o setor de aplicação; e os resultados que foram obtidos nos estudos.

Como identificado no Quadro 2, é possível afirmar que do total dos 44 estudos analisados, 3 estudos pertenciam à categoria do tipo de manufatura. Nos 3 estudos analisados foi identificado que, a Realidade Aumentada foi aplicada em duas empresas pertencentes ao setor da indústria automotiva; e um estudo foi aplicado a uma empresa do setor da aeronáutica.

Os resultados dos três estudos se apresentaram positivos indicando que a aplicação da Realidade Aumentada está se tornando fundamental para o bom andamento das atividades na manufatura, como exemplos, nas tarefas de manutenção, na montagem e nas linhas de produção, auxiliando os operadores na realização de suas tarefas com maior eficácia.

Segmento	Setor da Empresa	Síntese dos Resultados Obtidos
Indústria do Setor Automotivo	Produção veículos: analisar e validar a precisão e exatidão das soldas por pontos, com e sem indicações visuais.	Testes de produção e técnicas foram desenvolvidos resultando em: redução de 52% do desvio padrão da colocação manual de solda a ponto; após aplicação todas as soldas estavam dentro das especificações exigidas; e os painéis avaliados foram utilizados como produto final disponibilizado aos consumidores [35].
Aeronáutica	Manutenção: modelos de manuais de instrução virtuais aos operadores.	Redução da carga de trabalho do operador; diminuição do tempo para completar as tarefas; aumento da confiabilidade com os manuais virtuais; a aplicação se mostrou útil para a obtenção de manuais de manutenção aumentada e catálogos de peças ilustrados e; a posição da peça a ser mantida é sugerida ao operador de forma intuitiva e real na aeronave [13].
Indústria do Setor Automotivo	Estação de trabalho de montagem.	Recuperou a programação da estação de trabalho; gerou automaticamente as instruções de montagem, utilizando as informações do <i>design</i> de produto, enriquecidas com anotações específicas do pedido com base na personalização do produto; e foram transmitidas no ambiente em nuvem ao operador para suportar o agendamento dinâmico da produção [36].

Quadro 2: Aplicação da Realidade Aumentada por tipo de manufatura

B. Setor de aplicação

No Quadro 3 são demonstradas as aplicações da Realidade Aumentada na manufatura considerando-se a categoria do setor de aplicação; o tipo de aplicação; e uma síntese dos resultados obtidos.

Verifica-se que, a Realidade Aumentada quanto à categoria do setor de aplicação se mostrou mais presente no setor de manutenção, com a realização de 4 estudos; seguido pelo setor de *design* de produto com 2 estudos desenvolvidos e, também, com 2 estudos realizados no setor de montagem; 1

estudo no setor de usinagem; 1 estudo na linha de produção; 1 no setor de controle da qualidade; 1 estudo na logística fabril e; 1 estudo apresentou 22 experimentos realizados em indústrias e universidades; cujas aplicações da Realidade Aumentada se apresentaram positivas.

Acrescenta-se que do total dos 44 estudos, 13 artigos científicos selecionados pertenciam à categoria de setor de aplicação.

Setor	Tipo de Aplicação	Síntese dos Resultados Obtidos
Linha de Produção	Procedimento para rastrear marcadores em camadas com o uso de <i>kit</i> de ferramentas padrão.	Durante a avaliação do rastreamento de marcadores em camadas foi estendida a visualização da distância de rastreamento para as grandes aplicações da tecnologia de Realidade Aumentada nos ambientes internos grandes [27].
Manutenção	Aplicativo para manutenção preditiva.	Forneceu informações em tempo real aos operadores: manuais técnicos; diagramas operacionais; histórico de manutenção; disponibilidade de componentes no armazém e/ou estoque fornecedor, possibilidade de pedido direto; e vídeos de treinamento à manutenção e segurança do trabalho [37].
<i>Design</i> do Produto	Paradigma <i>Teaching Factory</i> (Fábrica de Ensino) no ensino para jovens engenheiros.	Ofereceu visualização intuitiva do <i>design</i> do produto, permitindo ao usuário final visualizar e interagir com o produto, solidificando a impressão de cada equipe de <i>designers</i> sobre o produto final e; facilita a detecção de erros com um protótipo de escala real, melhorando a eficiência dos métodos atuais, fornecendo habilidade útil para a avaliação do projeto [7].
Manutenção	Protocolo de solução industrial à manutenção preditiva: <i>Digital Twin</i> e Realidade Aumentada.	Interação em tempo real para estar em contato com todos os componentes do processo; seguida pela fase de manutenção; pós-manutenção é gerado um relatório entregue ao supervisor de produção [26].
Manutenção	Vocabulário de símbolos gráficos para as instruções de manutenção.	Identificadas ações de manutenção frequentemente utilizadas nos manuais, as quais foram convertidas em símbolos gráficos e; após foi escolhido o melhor dos símbolos e foi integrado em um aplicativo real de recuperação de falhas para manutenção remota [38].
<i>Design</i> do Produto	Protótipo de <i>design</i> utilizando sistema <i>Manual Data Input</i> (MDI).	Percepção das interações eficientes e intuitivas entre os usuários e as ferramentas de máquina em um sistema de manufatura inteligente. Módulos de detecção, <i>design</i> e controle do sistema foram verificados e apoiaram de forma eficaz e eficiente o projeto e a produção de formas personalizadas [29].
Montagem	Processo de montagem do conjunto de central elétrica.	Substituição instruções de trabalhos convencionais por atividades pontuais; auxilia na visualização virtual das instruções de trabalho em uma fábrica, possibilitando de maneira mais intuitiva e imersiva a exibição das informações [20].
Manutenção	Algoritmo de visão computacional capaz de avaliar, em cada etapa de um procedimento de manutenção.	O sistema proposto foi testado em dois casos de uso, um envolvendo um calibrador a laser industrial e outro um calibrador de modelo Lego. Os testes permitiram avaliar a precisão e as limitações do sistema proposto: mesmo que o sistema se mostrasse bastante confiável, ele poderá ser aprimorado para melhorar ainda mais a sua confiabilidade e robustez [39].
Controle de Qualidade de Superfície	Interface de usuário baseada em realidade mista (Realidade Virtual e Realidade Aumentada).	Melhorou a ergonomia e produtividade dos trabalhadores. A metodologia de <i>design</i> e as funcionalidades de interface propostas mostraram eficácia comprovadas por resultados experimentais. [40].
Logística	Experimentação de <i>Multi-Robot Systems</i> (MRS) em ambientes industriais.	Conceito de ARENA foi apresentado e refere-se à representação em pequena escala de uma logística de armazém, gerida por uma experimentação de MRS, para a avaliação de novas tecnologias às fábricas inteligentes. A Realidade Aumentada foi empregada para alcançar a experimentação mais imersiva e realista, permitindo a avaliação de comportamentos inteligentes [41].
Experimentos na Indústria e Universidades (22 casos)	Verificação dos fatores de sucesso de alta relevância da Realidade Aumentada Industrial (<i>Industrial Augmented Reality – IAR</i>).	Aceitação do usuário; visibilidade da informação, ergonomia e usabilidade da interface do usuário; análise das demandas mentais, físicas e temporais e; a carga de trabalho percebida entre os operadores quando adotada a Realidade Aumentada é menor se comparada aos não operadores [32].
Usinagem	Local de corte (<i>Cutting Location - CL</i>) e fase de pré-produção.	Proposta de uma solução de visualização direta para o operador e um ambiente gráfico de informações enriquecido para os participantes do estudo a realizar o acompanhamento do processo de produção em tempo real [42].
Montagem	Teste e avaliação quantitativa: Realidade Aumentada <i>versus</i> abordagem tradicional.	Taxa de aprendizado aumentou 22%; e redução na duração do processo manual de até 51% durante os primeiros ciclos de montagem [3].

Quadro 3: Aplicação da Realidade Aumentada por setor de aplicação

C. Objeto de aplicação

No Quadro 4 são listadas as aplicações da Realidade Aumentada na manufatura levando em conta a categoria do objeto de aplicação, detalhando: os objetos de aplicação da Realidade Aumentada; um breve relato dos estudos; e uma síntese dos resultados obtidos com a aplicação da Realidade Aumentada.

(continua)		
Objeto de Aplicação	Relatos	Síntese dos Resultados Obtidos
Manual do usuário interativo em montagens complexas	Etapas: projetista criou estrutura de montagem com sistema CAD ² ; um usuário inexperiente montou as mesmas peças sem qualquer sugestão e as diferenças entre as duas sequências de montagem foram documentadas e divididas para distinguir pontos críticos na montagem; um manual do usuário virtual foi moldado em um ambiente de Realidade Aumentada e; a montagem foi então realizada pelo mesmo usuário inexperiente, guiado pela tecnologia da Realidade Aumentada.	Os resultados mostraram que o manual interativo proposto se mostrou viável para o usuário nas montagens complexas [43].
Sistema que usa visão de máquina em combinação com os algoritmos de aprendizado para vários estágios de fabricação da linha de produção.	Criação de sistema de visão semelhante ao humano para analisar e interpretar em tempo real todos os fluxos de vídeo de câmeras, detectar e contar continuamente os vários produtos na linha de produção. Todos os recursos detectados e as informações de contagem estavam disponíveis em tempo real, aumentados em uma tela de vídeo e transmitidos para a nuvem, onde puderam ser facilmente processados e armazenados.	A Realidade Aumentada apresenta ampla aplicabilidade na indústria, desde a visualização em tempo real das informações do produto e do fluxo de produção, visualização de simulações cinemáticas e exibição de deformações e cargas, até o projeto, manutenção e logística do produto [44].
Criação de documentação técnica usando símbolos para operações de manutenção e montagem.	Metodologia baseada no uso de símbolos, aplicando-se com sucesso a dois estudos de caso reais. Foi validado o <i>layout</i> das informações com estudo subjetivo dos usuários.	A organização visual das informações se apresentou mais clara que os manuais em formatos iFixit e PDF [21].
Processo de conhecimentos digitais	Auxilia na compreensão dos avanços digitais predominantes em ambientes de produção intensiva de conhecimento, como o uso de Realidade Aumentada.	Transferência de conhecimentos por meio de abordagem técnica para distribuir esses conhecimentos; informações centradas nos trabalhadores e o compartilhamento de conhecimentos mediante abordagem social para a distribuição de conhecimentos; descobertas de conhecimentos por meio de locais de trabalho de fabricação de autoaprendizagem levando em consideração uma abordagem técnica para a criação de conhecimentos; aquisição de conhecimentos por aprendizagem móvel conforme a abordagem social para a criação de conhecimentos [5].
Processo de polimento	Foram aplicadas as soluções de Realidade Aumentada no processo de polimento.	Elevou qualidade e produtividade do trabalho, auxiliou o operador nas aplicações industriais durante as fases críticas dos processos; a avaliação da qualidade das superfícies se apresenta como uma fase-chave no processo de polimento; a metodologia que explora a Realidade Aumentada apoia o operador durante a avaliação da qualidade do polimento e; ocorreu a validação em célula robótica industrial ao polimento automático. [45].
Processos industriais para simuladores.	Desenvolvimento dos três simuladores apresentados foi a rápida definição de múltiplos processos.	A separação da definição do processo e do simulador permitiu alterar facilmente aos atores semelhantes na simulação (exemplo: um braço robótico) simplesmente modificando a interface sem a necessidade de alterar a definição do processo. Teste de vários processos em um único simulador; e foram modeladas três aplicações industriais diferentes com processos distintos [46].

² CAD: *Computer Aided Design*: traduzido para o português como desenho assistido por computador.

(conclusão)		
Objeto de Aplicação	Relatos	Síntese dos Resultados Obtidos
Processos nas linhas de montagem	O sistema deverá funcionar de acordo com o desempenho baseado em habilidades e os fatores causadores de carga de trabalho mental. Além disso, deve ser capaz de funcionar de acordo com, quando e onde, os montadores desejarem aumento e com interação indireta.	Os sistemas mostraram-se incapazes de realizar isso no momento da redação e; a quantidade de aumentos que são considerados torna redundante a função central de Realidade Aumentada (visualização). Embora o sistema não tenha sido apropriado para uso neste caso estudado, os autores entendem que pode muito bem haver casos em que ele seja apropriado se desenvolvido e empregado de maneira adequada [23].
Processo de execução da construção.	Foi mostrado como as novas tecnologias, como o Modelamento de Informações da Construção conectado às Realidades Aumentada e Virtual, podem capacitar as metodologias da <i>Lean Construction</i> (construção enxuta) para aumentar a eficiência durante o processo de execução da construção. A abordagem foi testada usando o jogo de simulação de projetos Villego® com os alunos do curso de Gerenciamento de Projetos do Mestrado de Engenharia Mecânica Industrial de uma Universidade na Itália.	Os resultados do uso das tecnologias citadas foram: reduziu o tempo ocioso no local; aprimorou o nível de qualidade e diminuiu os desperdícios de materiais. Além disso, enquanto a tecnologia de Realidade Aumentada utilizando-se o <i>Microsoft HoloLens</i> foi considerada muito intuitiva, o uso da Realidade Virtual por meio do dispositivo <i>Oculus</i> foi percebido como muito desafiador. Porém, no geral, as tecnologias melhoraram a orientação espaço-temporal dos participantes do projeto [47].
Processo de inspeção da montagem de cabeçote	Registro do sistema de Realidade Aumentada.	Apresentou-se robusto para o tamanho da placa; a visualização com montagem em cabeçote foi apropriada para a inspeção em comparação com a montagem manual; a renderização de imagens em vários estágios se apresentou adequada na região de conflito vergência-acomodação; a superposição de posição com informações de orientação forneceu direção mais eficiente e; as exibições contextuais foram mais apropriadas do que as estáticas durante a inspeção [24].
Processo de Fábrica de Aprendizagem (<i>Learning Factory</i>)	Foi mostrada a importância das tecnologias da Indústria 4.0, tais como <i>Digital Twin</i> , Realidade Virtual e Realidade Aumentada para a aprendizagem baseada em simulação em uma fábrica de aprendizagem de manufatura.	Apresentou uma descrição conceitual, indicando a entrada para a comunidade sobre os aspectos a serem considerados em relação ao uso das tecnologias <i>Digital Twin</i> , Realidade Virtual e Realidade Aumentada em um contexto de fábrica de aprendizado e suas restrições e oportunidades relativas aos processos cognitivos ao trabalhar nesses ambientes de aprendizagem [48].

Quadro 4: Aplicação da Realidade Aumentada por objeto de aplicação

Como verificado no Quadro 4, a Realidade Aumentada foi aplicada em vários processos fabris o que vem propiciando uma melhora na utilização dos recursos humanos, pois auxilia os operadores nas aplicações industriais durante as

fases decisivas dos processos fabris. Verifica-se também que, do total dos 44 estudos, 10 artigos científicos analisados pertenciam à categoria do objeto de aplicação.

D. Ciclo de desenvolvimento do produto

Um dos estudos classificado na categoria de ciclo de desenvolvimento do produto apresentou um caso prático que objetivou verificar a legibilidade do texto em Realidade Aumentada por meio de um *display* usado na cabeça (*Head-Worn Display – HWDs*) utilizando fundos industriais típicos, códigos de cores e níveis de iluminação. Para os ambientes industriais em particular, foi descoberto que a textura do fundo e os níveis de iluminação podem levar a situações em que o texto passa a ser difícil ou completamente ilegível, indicando a necessidade de melhorias no uso do equipamento testado [49].

Em outro estudo um modelo de *layout* com maior incerteza foi analisado e os indicadores de desempenho de fabricação, como tempo de ciclo, rendimento e processo de trabalho em andamento, foram estimados. A estrutura proposta não foi simplesmente uma integração de técnicas de Realidade Aumentada e simulações de fabricação, mas forneceu uma arquitetura de rotulagem de Realidade Aumentada eficiente para os ambientes de fabricação em grande escala e foi adequada para uma renderização rápida em tempo real, utilizando-se as tecnologias de modelagem e a simulação de rede baseadas na Realidade Aumentada [50].

Como verificado, do total dos 44 estudos analisados, foram encontrados 2 estudos específicos classificados na categoria de ciclo desenvolvimento do produto que apresentaram a aplicação da Realidade Aumentada.

No Quadro 5 estão listadas as principais aplicações da Realidade Aumentada na manufatura, as quais estão presentes nas fases do ciclo de vida do produto. [49].

Fases do Ciclo de Vida do Produto	Descrição
Projeto de Produto	A Realidade Aumentada tem sido utilizada para aumentar a maquete de um carro com diferentes ópticas de luz para avaliar <i>in-situ</i> sua aparência, para o projeto de sistemas de tubulação ou para o planejamento de fábrica. Esta forte integração de Realidade Aumentada no fluxo de trabalho de <i>design</i> permite fechar o ciclo entre o <i>mock-up</i> real e virtual para criar um processo de desenvolvimento mais eficiente.
Fabricação	A Realidade Aumentada tem sido utilizada como um substituto para o manual de instruções de montagem em papel. A sobrecarga de desenvolvimento para esse novo manual pode ser justificada porque o ciclo de vida dos produtos está constantemente sendo reduzido. A Realidade Aumentada não pode ser usada apenas para apoiar trabalhadores não qualificados, mas também pode ser considerado para os operadores altamente treinados que usam máquinas complexas. A Realidade Aumentada pode ser usada não somente para apoiar os trabalhadores, mas também para treinar novos trabalhadores, especialmente quando há procedimentos complexos para aprender.
Comissionamento	Este processo ocorre após a produção de um item fabricado e antes de sua utilização; consiste na verificação e documentação de sua qualidade. A Realidade Aumentada, neste caso, oferece a oportunidade de combinar os dados (CAD) diretamente no produto fabricado.
Inspeção e Manutenção	Esta é provavelmente a fase em que todas as potencialidades da Realidade Aumentada podem ser bem exploradas. Na verdade, muitas soluções foram desenvolvidas para apoiar a manutenção do sistema fabricado, por exemplo, para os dispositivos de controle de radar, usinas nucleares, aviões, bondes ou automóveis. Além disso, a Realidade Aumentada pode ser usada para apoiar o usuário, oferecendo acesso a um especialista.
Redesenho e Descomissionamento	Nesta fase, a Realidade Aumentada é mais adequada para a reforma de uma usina, por exemplo, uma usina nuclear.

Quadro 5: Aplicação da Realidade Aumentada no ciclo de vida do produto [49]

E. Software e hardware utilizados

No Quadro 6 são detalhadas as aplicações da Realidade Aumentada na manufatura indicando quais os *softwares* e/ou

hardwares foram utilizados, apresentando também os relatos sintetizados e os resultados obtidos nos estudos selecionados.

(continua)	
Software/Hardware	Relato e Resultados Obtidos
Aplicativo para a Máquina de Medição por Coordenadas (CMM) 3D (Faculdade de Tecnologias de Fabricação da Eslováquia).	Mostrou o valor do elemento realmente medido de acordo com o desenho e forneceu informações adicionais como temperatura ambiente ou data da sonda utilizada. Durante o processo de medição automática, o usuário não precisou seguir o desenho manual, pois o aplicativo exibiu os valores do elemento medido atualizado e real, passo a passo. [51].
Aplicativo para testes de varreduras ultrassônicas	Forneceu aos operadores: informações das etapas do processo; componentes do equipamento ultrassônico e; modalidade adequada de colocação, alinhamento e movimentação no tubo e solda. Utilização <i>tablet</i> e/ou o celular, o operador pode ver na tela os detalhes e as imagens escritas sobre o método de trabalho padronizado mediante assistência durante o processo de treinamento [52].
Aplicativos e dispositivos de simulação	Foi considerado um sistema de Comando Numérico Computadorizado (<i>Computer Numeric Control – CNC</i>) que permite adicionar soluções inovadoras sem perder a funcionalidade anterior. O servidor de Realidade Aumentada foi instalado com sucesso (em modo de teste) em uma máquina em tempo real com LinuxRT. Primeiros testes utilizando um <i>tablet</i> com o <i>Android SDK</i> instalado mostraram a correção da abordagem utilizada – na tela do <i>tablet</i> eram exibidas apenas as informações que eram necessárias (estado do Controlador Lógico Programável (CLP); número de ferramenta e outros) em um determinado momento e; foram acompanhados os movimentos do instrumento [53].
Sistema Cibernético-Físico (CPS) que usa <i>tags</i> ativas de Identificação por Radiofrequência (<i>Radio-Frequency Identification – RFID</i>)	Rastrear tubos e detectar eventos relevantes em que CPS foi integrado e testado em conjunto com o Sistema de Execução de Fabricação (<i>Manufacturing Execution Systems – MES</i>) da Siemens (Simatic IT) e com Realidade Aumentada. Os resultados indicaram que, os <i>gateways</i> de névoa respondem mais rápido do que o servidor de nuvem testado, sendo que esses <i>gateways</i> também foram capazes de processar com sucesso mais amostras em situações de alta carga; e sobrecargas regulares, os <i>gateways</i> de névoa reagiram entre cinco e 481 vezes mais rápido do que a abordagem alternativa da nuvem [11].
Dispositivos para Laboratórios remotos de Ensino de Engenharia 4.0 na Alemanha.	Na segunda fase do projeto foram criados os dispositivos de Realidade Aumentada para desenvolver os novos laboratórios de Realidade Aumentada, os quais serão incorporados aos laboratórios existentes para aprimorar a experiência dos usuários e preparar os alunos para um futuro de realidade mista, no qual o manuseio das informações geradas na tecnologia Realidade Aumentada será uma habilidade essencial na manufatura [54].

(conclusão)	
Software/Hardware	Relato e Resultados Obtidos
Aplicativo para visualizar as instruções de fabricação assistida por computador (<i>Computer Aided Manufacturing - CAM</i>) para os processos de dobra.	A estrutura foi aplicada e validada em máquina dobradeira (<i>Computer Numeric Control - CNC</i>), considerando-se um cenário do mundo real fornecido por fabricante de máquinas CNC. O aplicativo integrou as instruções passo a passo do processo, menus altamente utilizáveis e visualização avançada, incluindo zonas de segurança, indicações e instruções de texto para os operadores [55].
Aplicativo de instrução de instalação.	Os centros de torneamento e de usinagem são utilizados como máquinas-ferramentas típicas, para as quais os aplicativos de instrução de configuração foram criados em uma plataforma de desenvolvimento de jogos de computador amplamente utilizada, aprimorada pela funcionalidade da Realidade Aumentada padrão com base em marcadores de alvo presentes na cena [28].
Aplicativo de Realidade Aumentada Espacial (<i>Spatial Augmented Reality - SAR</i>)	Melhorou o desempenho dos operadores quando comparado ao uso do manual em papel e os usuários o aceitaram bem. Foi descoberto que a Realidade Aumentada Espacial é eficaz para as tarefas difíceis quando comparadas às tarefas simples. A principal vantagem encontrada com a aplicação esteve relacionada à redução das taxas de erros do que aos tempos de conclusão, confirmando a qualidade das opções de <i>design</i> ; logo, o protótipo é uma solução candidata válida para um aplicativo de fabricação inteligente [25].
Sistema de rastreamento, banco de dados e <i>software</i> de análise do <i>headset</i> (fone de ouvido) de Realidade Aumentada.	Finalidade de atestar a aplicabilidade e ajustar o <i>hardware</i> usado ao recurso de aprendizado de máquina. Todo <i>hardware</i> usado (nariz eletrônico, fone de ouvido e gerador de odores) foi integrado na Realidade Aumentada Vestível (<i>Wearable Augmented Reality - WAR</i>). Desse modo, a parte mais essencial do projeto foi construir um banco de dados para mapear as diferentes causas do mesmo cheiro descrito, pois oferece ao sistema uma função básica de reconhecimento e identifica o cheiro de queimado e de vazamento de óleo do entorno das máquinas analisadas [12].
Aplicativo para <i>design</i> de produto (<i>Google Project Tango</i>)	Proposta de tecnologia de Realidade Aumentada para auxiliar os trabalhadores no local de trabalho a detectar e anotar facilmente as variações de <i>design</i> realizadas durante as atividades de trabalho e; a formalizar e automatizar a coleta e transferência desses dados para os <i>designers</i> , a fim de evitar a perda de informações [30].
Aplicativo e <i>Bluetooth Vernier Caliper</i> ativado	Método proposto de inspeção do processo assistido por Realidade Aumentada permitiu que as medições fossem realizadas com um medidor de coordenadas portátil ou com <i>Bluetooth Vernier Caliper</i> ativado, propiciando a transferência de dados sem fio, que foi então comparado com as tolerâncias exigidas. Os monitores acoplados na cabeça para a Realidade Aumentada também permitiram ao usuário capturar as imagens das peças medidas e criar a inspeção automatizada e os relatórios juntamente com os valores medidos [22].
Aplicativo com base no <i>Microsoft HoloLens</i>	Permitiu ao operador monitorar e controlar a máquina-ferramenta ao mesmo tempo, mas também permitiu interagir e gerenciar os dados do <i>Digital Twin</i> simultaneamente, fornecendo uma interface homem-máquina intuitiva e consistente para melhorar a eficiência durante o processo de usinagem. Assim sendo, o sistema desenvolvido auxiliou no monitoramento e no gerenciamento dos dados de usinagem e fornecimento de simulação de processo de usinagem de alta fidelidade por dispositivo de Realidade Aumentada [56].
Aplicativo ARgitu para manutenção de um braço de robô	O método foi integrado em um <i>pipeline</i> completo para os aplicativos de Realidade Aumentada sendo que apresentou bons resultados em cenários não controlados, como fundos desordenados e oclusões, graças ao uso de cônicas. Além disso, o sistema detectou vários tipos de objetos em algumas centenas de milissegundos, atingindo desempenho próximo ao tempo real em muitos casos e rodando quatro vezes mais rápido que as técnicas atuais de última geração e apresentou um tempo de treinamento totalmente automatizado que permite adicionar facilmente novos modelos [31].
Tutoriais Baseados em Vídeo (<i>Video-Based Tutorials - VT</i>)	Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as soluções de Realidade Aumentada e Tutoriais Baseados em Vídeo (<i>Video-Based Tutorials - VT</i>), os usuários obtiveram uma pontuação mais alta na versão de Realidade Aumentada em todos os casos. Além disso, os usuários preferiram explicitamente a versão de Realidade Aumentada ao avaliar três critérios diferentes de usabilidade e satisfação. Para a versão de Realidade Aumentada, foi encontrada uma correlação forte e significativa entre a satisfação e o conhecimento alcançado. Com o uso da solução de Realidade Aumentada foram alcançados resultados de aprendizado semelhantes com pontuações de usabilidade mais altas que os tutoriais baseados em vídeo. Os resultados sugerem que as soluções de Realidade Aumentada compreendem a abordagem mais eficaz para substituir as instruções típicas baseadas em manuais de papel do que em manuais eletrônicos de consumo [57].
Aplicativo de treinamento em reparo aumentado (<i>Augmented Repair Training Application - ARTA</i>)	Foi desenvolvido e implantado um aplicativo de treinamento em reparo aumentado, que consistiu na criação de uma interface baseada em um modelo para oferecer suporte à criação de conteúdo de Realidade Aumentada do usuário final (chão de fábrica) [6].
Método de visualização em nível geométrico (<i>Geometric Level Visualization - GLV</i>).	Mostrou o fluxo de trabalho da visualização em tempo real no nível da informação (<i>Information-level Real-time Visualization - IRV</i>); o nível multinível das instruções de Realidade Aumentada em tempo real e; a expressão visual relacionada, sendo que foi realizada a configuração de <i>software</i> e <i>hardware</i> e a avaliação de três instruções diferentes de Realidade Aumentada em tempo real. A pesquisa foi aplicável apenas às tarefas de montagem e; o usuário precisa apenas analisar as informações visuais que visualizam para entender as operações correspondentes [58].

Quadro 6: *Software* utilizado na aplicação da Realidade Aumentada

No Quadro 6 pode-se verificar que, ao longo do período dos estudos analisados foram desenvolvidos vários aplicativos que têm por finalidade auxiliar as aplicações da Realidade Aumentada direcionadas à manufatura, incluindo os vários setores das empresas. Identifica-se também que,

do total dos 44 artigos científicos elegíveis, 16 estudos foram classificados na categoria de *software* e *hardware* utilizados, quantidade superior quando comparada às demais categorias. Na Figura 4 é apresentada uma síntese dos estudos analisados, classificados nas cinco categorias.

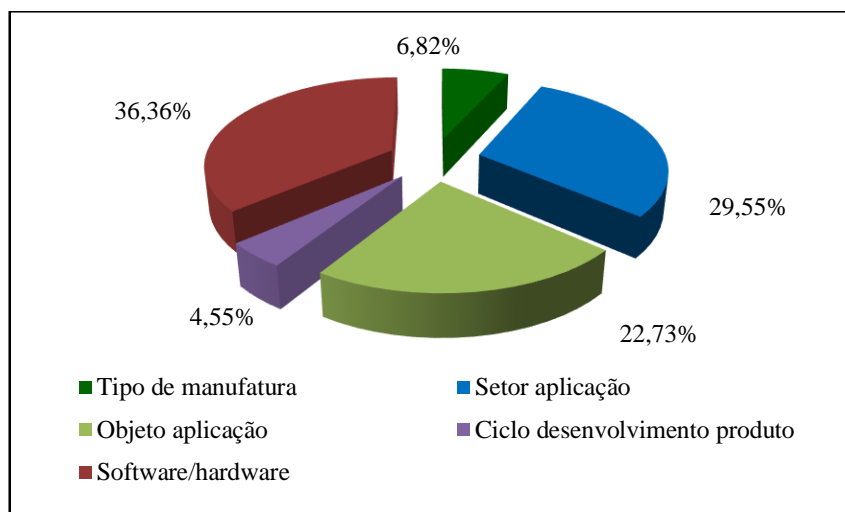


Figura 4: Classificados dos estudos elegíveis por categorias

Observa-se na Figura 4 que, do total dos 44 artigos, 36,36% pertenciam à categoria de *software/hardware* utilizados; 29,55% à categoria de setor de aplicação; 22,73% à categoria de objeto de aplicação; 6,82% à categoria por tipo de manufatura; e 4,55% da categoria do ciclo de desenvolvimento do produto.

VI. CONCLUSÕES

A integração de novas tecnologias na prática atual é uma tarefa desafiadora que surgiu como uma necessidade para as empresas de manufatura. Assim, encontrar maneiras pelas quais as novas tecnologias apoiarão e reforçarão os operadores na linha de produção é uma tarefa importante e visa melhorar as condições de trabalho e a eficiência nos processos fabris. Nesse sentido, o objetivo do estudo consistiu em verificar como a Realidade Aumentada está sendo aplicada na manufatura.

Para alcançar o objetivo, inicialmente foi realizado um referencial teórico relacionado à Indústria 4.0 e sobre a Realidade Aumentada no intuito de compreender melhor os conceitos, as origens e as aplicações. Em seguida, foi realizada uma pesquisa na base de dados SCOPUS para obter os estudos científicos que pudessem responder a questão do estudo. Foram selecionados 44 estudos científicos elegíveis, os quais respondiam ao questionamento proposto e optou-se em considerar as publicações do período entre os anos de 2015 a 2020, mediante a classificação em cinco categorias: tipo de manufatura; setor de aplicação; objeto de aplicação; ciclo de desenvolvimento do produto e; *software/hardware* utilizados.

Neste sentido, com o desenvolvimento do estudo pode-se identificar que, a Realidade Aumentada é considerada uma das principais tecnologias industriais digitais habilitadoras que suporta o amplo escopo dos desafios do conceito de Indústria 4.0 e; facilita a digitalização no setor de

manufatura. Dentre as várias tecnologias digitais habilitadoras, a Realidade Aumentada se representa, de fato, uma aceleração da inovação promissora que apoia os operadores e conduz as fábricas inteligentes a um nível mais elevado de eficiência, acelerando toda a cadeia de produção.

Os resultados do estudo mostraram que do total dos 44 artigos científicos selecionados 36,36% dos estudos foram classificados na categoria de *software/hardware* utilizados (16 estudos); enquanto que 29,55% na categoria de setor de aplicação (13 estudos); 22,73% na categoria de objeto de aplicação (10 estudos); 6,82% na categoria por tipo de manufatura (3 estudos); e 4,55% da categoria do ciclo de desenvolvimento do produto (2 estudos).

Como verificado, as técnicas de Realidade Aumentada têm sido exploradas em várias aplicações, incluindo: a visualização de manuais de manutenção virtuais; criação de conteúdos virtuais para auxiliar nos processos fabris; treinamentos virtuais para os operadores, jovens engenheiros e outros; orientações para os processos de montagem; interface para o controle de robôs; modelagem e simulação de diversos processos de manufatura; *design* de produto; instruções de trabalho virtuais; logística para auxiliar os processos fabris; nas fases do ciclo de desenvolvimento do produto (projeto de produto, fabricação, comissionamento; inspeção/manutenção; redesenho); dentre outras aplicações. Acrescenta-se que, a Realidade Aumentada em alguns estudos analisados foi utilizada em conjunto com outras tecnologias habilitadoras pertencentes à Indústria 4.0, indicando a importância de uma integração entre tais tecnologias no contexto da manufatura em geral.

O estudo não pretendeu esgotar a temática analisada e, portanto, para estudos futuros sugere-se a realização de pesquisas referentes à aplicação na manufatura das demais tecnologias habilitadoras que compõem o conceito da Indústria 4.0.

VII. BIBLIOGRAFIA

- [1] L. Bibby and B. Dehe, "Defining and assessing Industry 4.0 maturity levels-case of the defence sector," *Production Planning and Control*, vol. 29, no. 12, pp. 1.030-1.043, 2018.
- [2] R. Anderl, "Industrie 4.0: advanced engineering of smart products and smart production," *Conference: 19th International Seminar on High Technology*, Piracicaba, Brasil, pp. 1-14, 2014.
- [3] F. Pilati, M. Faccio, M. Gamberi, A. Regattieri, "Learning manual assembly through real-time motion capture for operator training with augmented reality," *Procedia Manufacturing*, vol. 45, pp. 189-195, 2020.
- [4] H. Kagermann, W. Wahlster, J. Helbig, "Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0," *Final report of the Industrie 4.0 Working Group*, pp. 1-84, 2013.
- [5] L. Hannola, A. Richter, S. Richter, A. Stocker, "Empowering production workers with digitally facilitated knowledge processes: a conceptual framework," *International Journal of Production Research*, vol. 56, no. 14, pp. 4.729-4.743, 2018.
- [6] K. Van Lopik, M. Sinclair, R. Sharpe, P. Conway, A. West, "Developing augmented reality capabilities for Industry 4.0 small enterprises: lessons learnt from a content authoring case study," *Computers in Industry*, vol. 117, pp. 1-9, 2020.
- [7] D. Mourtzis, V. Zogopoulos, E. Vlachou, "Augmented reality supported product design towards industry 4.0: a teaching factory paradigm," *Procedia CIRP*, vol. 23, pp. 207-212, 2018.
- [8] E. Bottani and G. Vignali, "Augmented reality technology in the manufacturing industry: a review of the last decade," *IISE Transactions*, vol. 51, no. 3, pp. 284-310, 2018.
- [9] A. Blaga and L. Tamas, "Augmented reality for digital manufacturing," *Procedia Computer Science*, vol. 25, pp. 1-7, 2018.
- [10] P. Caricato, L. Colizzi, M. G. Gnoni, A. Grieco, A. Guerrieri, A. Lanzilotto, "Augmented reality applications in manufacturing: a multi-criteria decision model for performance analysis," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 47, no. 3, pp. 754-759, 2014.
- [11] T. M. Fernández-Caramés, P. Fraga-Lamas, M. Suárez-Albela, M. Vilar-Montesinos, "A fog computing and cloudlet based augmented reality system for the Industry 4.0 shipyard," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 18, no. 6, pp. 1-26, 2018.
- [12] J. Wang, J. Erkoyuncu, R. Roy, "A conceptual design for smell based augmented reality: case study in maintenance diagnosis," *Procedia CIRP*, vol. 78, pp. 109-114, 2018.
- [13] A. Ceruti, P. Marzocca, A. Liverani, C. Bil, "Maintenance in aeronautics in na Industry 4.0 context: the role of augmented reality and additive manufacturing," *Journal of Computational Design and Engineering*, vol. 6, pp. 516-526, 2019.
- [14] N. S. Zabidin, S. Belayutham, C. K. I. C. Ibrahim, "A bibliometric analysis of industrial revolution (IR) 4.0 in construction engineering education," *MATEC Web of Conference*, vol. 266, pp. 1-5, 2019.
- [15] I. D. M. Aripin, E. M. A. Zawawi, Z. Ismail, "Factors influencing the implementation of technologies behind industry 4.0 in the Malaysian construction industry," *Matec Web of Conferences*, vol. 266, pp. 1-6, 2019.
- [16] T. D. Oesterreich and F. Teuteberg, "Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: a triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry," *Computers in Industry*, vol. 83, pp. 121-139, 2016.
- [17] N. Velásquez, E. Estevez, P. Pesado, "Cloud computing, big data and the Industry 4.0 reference architectures," *Journal of Computer Science & Technology*, vol. 18, no. 3, pp. 258-266, 2018.
- [18] J. Butt, "A strategic roadmap for the manufacturing industry to implemente Industry 4.0," *Designs*, vol. 4, no. 11, pp. 1-30, 2020.
- [19] M. Hermann, T. Pentek, B. Otto, "Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review," *Working Paper*, vol. 1, no. 01, pp. 1-16, 2015.
- [20] G. S. Corso and I. Ceconello, "Use of augmented reality as a mean for visualizing work instructions," *Scientia Cum Industria*, vol. 7, no. 2, pp. 94-101, 2019.
- [21] M. Gattullo, G. W. Scurati, M. Fiorentino, A. E. Uva, F. Ferrise, M. Bordegoni, "Towards augmented reality manuals for Industry 4.0: a methodology," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 56, pp. 276-286, 2019.
- [22] U. Urbas, R. Vrabič, N. Vukašinić, "Displaying product manufacturing information in augmented reality for inspection," *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 832-837, 2019.
- [23] D. E. Qeshmy, J. Makdisi, E. H. D. R. Silva, J. Angelis, "Managing human errors: augmented reality systems as a tool in the quality journey," *Procedia Manufacturing*, vol. 28, pp. 24-30, 2019.
- [24] J. M. Runji and C. Lin, "Markerless cooperative augmented reality-based smart manufacturing double-check system: case of safe PCBA inspection following automatic optical inspection," *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 64, pp. 1-22, 2020.
- [25] A. Uva, M. Gattullo, V. Manghisi, D. Spagnulo, G. Cascella, M. Fiorentino, "Evaluating the effectiveness of spatial augmented reality in smart manufacturing: a solution for manual working stations," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 94, no. 1, pp. 509-521, 2018.
- [26] S. Rabah, A. Assila, E. Khouri, F. Maier, F. Ababsa, V. Bourny, P. Maier, F. Mérienne, "Towards improving the future of manufacturing through digital twin and augmented reality technologies", *Procedia Manufacturing*, vol. 17, pp. 460-467, 2018.
- [27] I. Rabbi and S. Ullah, "Extending the tracking distance of fiducial markers for large indoor augmented reality applications," *Advances in electrical and computer engineering*, vol. 15, no. 2, p. 59-64, 2015.
- [28] E. Tzimas, G. Vosniakos, E. Matsas, "Machine tool setup instructions in the smart factory using augmented reality: a system construction perspective," *International Journal for Interactive Design and Manufacturing (IJDeM)*, vol. 13, pp. 121-136, 2018.
- [29] Y. Zhang and T. Kwok, "Design and interaction interface using augmented reality for smart manufacturing," *Procedia Manufacturing*, vol. 26, pp. 1278-1286, 2018.
- [30] F. Bruno, L. Barbieri, E. Marino, M. Muzzupappa, L. D'Oriano, C., Biagio, "An augmented reality tool to detect and annotate design variations in an Industry 4.0 approach," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 105, no. 1, pp. 875-887, 2019.
- [31] J. Zubizarreta, I. Aguinaga, A. Amundarain, "A framework for augmented reality guidance in industry," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 102, no. 9, pp. 4.095-4.108, 2019.
- [32] T. Masood and J. Egger, "Adopting augmented reality in the age of industrial digitalisation," *Computers in Industry*, vol. 115, pp. 103-112, 2020.
- [33] G. Lame, "Systematic literature reviews: an introduction," *International Conference on Engineering Design, ICED19*, pp. 1633-1642, 2019.
- [34] A. Liberati, D. G. Altman, J. Tetzlaff, C. Mulrow, P. C. Gøtzsche, J. P. A. Ioannidis, M. Clarke, P. J. Devereaux, J. Kleijnen, D. Moher, "The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration," *BMJ*, vol. 339, pp. 1-27, 2009.

- [35] A. Doshi, R. Smith, B. Thomas, C. Bouras, "Use of projector based augmented reality to improve manual spot-welding precision and accuracy for automotive manufacturing," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 89, pp. 1.279-1.293, 2017.
- [36] D. Mourtzis, V. Zogopoulos, F. Xanthi, "Augmented reality application to support the assembly of highly customized products and to adapt to production re-scheduling," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 105, pp. 3899-3910, 2019.
- [37] C. N. Deac, G. C. Deac, C. L. Popa, M. Ghinea, C. E. Cotet, "Using augmented reality in smart manufacturing," *Annals of DAAAM & Proceedings*, pp. 727-732, 2017.
- [38] G. W. Scurati, M. Gattullo, M. Fiorentino, F. Ferrise, M. Bordegoni, A. E. Uva, "Converting maintenance actions into standard symbols for augmented reality applications in Industry 4.0," *Computers in Industry*, vol. 98, pp. 68-79, 2018.
- [39] F. Manuri, A. Pizzigalli, A. Sanna, "A state validation system for augmented reality based maintenance procedures," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 10, pp. 1-20, 2019.
- [40] A. Muñoz, X. Mahiques, J. E. Solanes, A. Martí, L. Gracia, J. Tornero, "Mixed reality-based user interface for quality control inspection of car body surfaces," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 53, pp. 75-92, 2019.
- [41] L. Piardi, V. C. Kalempa, M. Limeira, A. S. Oliveira, P. Leitão, "ARENA: augmented reality to enhanced experimentation in smart warehouses," *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 19, no. 19, pp. 1-15, 2019.
- [42] T. Monika, P. Martin, T. Jozef, K. Marek, K. Jakub, "Augmented reality as a support tool in machining process," *TEM Journal*, vol. 9, no. 1, p. 407-411, 2020.
- [43] R. Amicis, A. Ceruti, D. Francia, L. Frizziero, B. Simões, "Augmented reality for virtual user manual," *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, vol. 12, no. 2, pp. 689-697, 2018.
- [44] G. C. Deac, C. N. Deac, C. L. Popa, M. Ghinea, C. E. Cotet, "Machine vision in manufacturing processes and the digital twin of manufacturing architectures," *Annals of DAAAM & Proceedings*, pp. 733-736, 2017.
- [45] F. Ferraguti, F. Pini, T. Gale, F. Messmer, C. Storchi, F. Leali, C. Fantuzzi, "Augmented reality based approach for on-line quality assessment of polished surfaces," *Robotics and Computer Integrated Manufacturing*, vol. 59, pp. 158-167, 2019.
- [46] K. Ottogalli, D. Rosquete, A. Amundarain, I. Aguinaga, D. Borro, "Flexible framework to model Industry 4.0 processes for virtual simulators," *Applied sciences*, vol. 9, no. 23, pp. 1-18, 2019.
- [47] P. Dallasega, A. Revolti, P. C. Sauer, F. Schulze, E. Rauch, "BIM, augmented and virtual reality empowering lean construction management: a project simulation game," *Procedia manufacturing*, vol. 45, pp. 49-54, 2020.
- [48] N. Tvenge, O. Ogorodnyk, N. Peter Østbø, K. Martinsen, "Added value of a virtual approach to simulation-based learning in a manufacturing learning factory," *Procedia CIRP*, vol. 88, pp. 36-41, 2020.
- [49] M. Gattullo, A. E. Uva, M. Fiorentino, J. L. Gabbard, "Legibility in Industrial AR: text style, color coding, and illuminance," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 35, no. 2, pp. 52-61, 2015.
- [50] H. Lee, "Real-time manufacturing modeling and simulation framework using augmented reality and stochastic network analysis," *Virtual Reality*, vol. 23, no. 1, p. 85-99, 2019.
- [51] J. Torok, M. Kocisko, M. Teliskova, M. Janak, "Increasing of the work productivity of CMM machine by applying of augmented reality technology," *Matec Web of Conferences*, vol. 68, pp. 1-5, 2016.
- [52] C. G. Amza, A. Zapciu, D. Popescu, O. Teodorescu, "Augmented reality application for training in pipe defects ultrasonic investigation," *Matec Web of Conferences*, vol. 121, pp. 1-7, 2017.
- [53] V. Chekryzhov, I. Kovalev, A. Grigoriev, "An approach to technological equipment performance information visualization system construction using augmented reality technology," *Matec Web of Conferences*, vol. 224, pp. 1-7, 2018.
- [54] J. Grodotzki, T. R. Ortelt, E. Tekkaya, A., "Remote and virtual labs for engineering education 4.0," *Procedia Manufacturing*, vol. 26, pp. 1349-1360, 2018.
- [55] D. Mourtzis, V. Zogopoulos, I. Katagis, P. Lagios, "Augmented reality based visualization of CAM instructions towards Industry 4.0 paradigm: a CNC bending machine case study," *Procedia CIRP*, vol. 70, pp. 368-373, 2018.
- [56] Z. Zhu, C. Liu, X. Xu, "Visualisation of the digital twin data in manufacturing by using augmented reality," *Procedia CIRP*, vol. 81, pp. 898-903, 2019.
- [57] P. Morillo, J. Orduña, J. Carmen, "Comparative study of AR versus video tutorials for minor maintenance operations," *Multimedia Tools and Applications*, vol. 79, no. 11-12, p. 7.073-7.100, 2020.
- [58] Z. Wang, S. Zhang, W. He, X. Zhang, Y. Yan, "Information-level real-time AR instruction: a novel dynamics assembly guidance information representation assisting human cognition," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 107, no. 3-4, p. 1.463-1.481, 2020.
- [59] R. Pereira, M. C. C. Baranauskas, S. R. P. Silva, "Softwares sociais: uma visão orientada a valores," *Conference: Proceedings of the IX Symposium on Human Factors in Computing Systems (IHC'10)*, 2010.