



TECNOLOGIAS PROMISSORAS DA INDÚSTRIA 4.0: VANTAGENS COMPETITIVAS PARA A INDÚSTRIA MANUFATUREIRA

RAFAEL S.M.S. CORREIA - rafaelsmscorreia@gmail.com
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

ANTONIO BATOCCHIO – batocchi@fem.unicamp.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS- UNICAMP

ÁREA: 1 – ENGENHARIA DE OPERAÇÕES E PROCESSOS DE PRODUÇÃO
SUBÁREA: 1.1 – GESTÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO E OPERAÇÕES

RESUMO: A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL SE DIFERENCIA DE TODAS AS POSTERIORES POR CULMINAR EM FUSÕES E INTERAÇÕES DE TECNOLOGIAS DOS MAIS VARIADOS CAMPOS DA CIÊNCIA, COMO A NANOTECNOLOGIA, O SEQUENCIAMENTO DE GENES, OS COMPUTADORES QUÂNTICOS E MÁQUINAS INTELIGENTES E CONECTADAS, NOS DOMÍNIOS FÍSICOS, DIGITAIS E BIOLÓGICOS. NESSE CENÁRIO, TECNOLOGIAS EMERGENTES E INOVAÇÕES SE DISSEMINAM DE FORMA MUITO RÁPIDA. A QUARTA REVOLUÇÃO SE MANIFESTA NO DESENVOLVIMENTO DE FÁBRICAS INTELIGENTES QUE OBJETIVAM A SUPERAÇÃO DOS DESAFIOS IMPOSTOS À INDÚSTRIA ATUAL. SÃO ELES: A FABRICAÇÃO DE PRODUTOS SUPER PERSONALIZADOS, CICLOS DE VIDA CADA VEZ MENORES E UMA INTENSA CONCORRÊNCIA MUNDIAL. AS COMPANHIAS DE SUCESSO SERÃO VERDADEIRAMENTE DIGITAIS, TENDO SEUS PRODUTOS FÍSICOS MANUFATURADOS NO CENTRO, PORÉM SUPORTADAS POR INTERFACES DIGITAIS E INOVAÇÕES, QUE NO FUTURO IRÃO POSSIBILITAR O TRABALHO CONJUNTO DE CLIENTES E FORNECEDORES EM UM AMBIENTE DIGITAL. HÁ AUTORES QUE COMPARAM O SURGIMENTO DA I4.0 AO ADVENTO DA INTERNET NOS ANOS 90, E AFIRMA QUE AS EMPRESAS MANUFATUREIRAS PRECISAM SE PREPARAR PARA ADOPTAR SUAS TECNOLOGIAS PARA SE MANTEREM COMPETITIVAS NO MERCADO, ONDE O USO DESSAS INOVAÇÕES SERÁ CRUCIAL PARA A PERFORMANCE E SUSTENTABILIDADE DA EMPRESA. DENTRO DESSE CONTEXTO, O OBJETIVO DESTES TRABALHOS É IDENTIFICAR AS MAIS PROMISSORAS TECNOLOGIAS RELACIONADAS À REVOLUÇÃO INDUSTRIAL 4.0 PARA A INDÚSTRIA MANUFATUREIRA AUTOMOTIVA, SELECIONAR SEUS PRINCIPAIS CAMPOS DE APLICAÇÃO, COMO ESSAS APLICAÇÕES GERAM VANTAGEM COMPETITIVA E REALIZAR UMA PESQUISA QUALITATIVA, ATRAVÉS DE ENTREVISTAS DE EMPATIA COM PLANEJADORES DE MANUFATURA DE LINHAS DE PRODUÇÃO DE DIFERENTES NÍVEIS DE MATURIDADE E IMPLEMENTAÇÃO DE TECNOLOGIAS EM UMA DADA EMPRESA.

PALAVRAS-CHAVES: INDÚSTRIA 4.0; INDUSTRIA MANUFATUREIRA; TECNOLOGIAS DIGITAIS; COMPETITIVIDADE; SETOR AUTOMOTIVO.

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia é uma peça fundamental da existência humana. É ela que destaca o homo sapiens dentre as demais espécies neste planeta e possibilita desde a mais fácil obtenção de recursos indispensáveis, como alimento e água potável, às viagens para fora da atmosfera. O surgimento de novos conjuntos de tecnologia gera transformações importantes em todas as partes da indústria e sociedade, que impactam não só na produtividade, mas também na forma das pessoas perceberem, agirem e serem. (PHILBECK e DAVIS, 2018).

Segundo Schwab (2016), esses desenvolvimentos rápidos das tecnologias e formas de ver o mundo que trazem mudanças radicais nos sistemas econômicos e estruturas sociais são as ditas Revoluções. Apesar de ainda haver discussões sobre o uso da palavra “revolução” para caracterizar os eventos históricos de desenvolvimento industrial, devido ao fato das mudanças geradas se desenrolarem por muitas décadas, é um fato que as Revoluções Industriais, com o uso de novos maquinários e redefinição de como o trabalho é organizado, alteram todo o contexto da vida. (STEARNS, 2020).

Este trabalho está estruturado com os seguintes tópicos: introdução, motivação, objetivos, base teórica (indústria 4.0 e competitividade), método a ser usado, estudo de caso (em uma indústria manufatureira automotiva multinacional) e conclusões.

2. MOTIVAÇÃO

O mercado automotivo manufatureiro dos Estados Unidos da América valia cerca de 2,64 trilhões de dólares americanos em 2021 e se mantém em crescimento (BOZZELLA, 2022), mostrando o tamanho e importância desse mercado. Além disso os esforços para implementação das Indústrias 4.0 por todo mundo são concretos, como por exemplo o Industrial Internet Consortium (EUA), a Indústria 4.0 (Itália), o Produktion 2030 (Suécia), o Made in China 2025 e o Society 5.0 (Japão), (XU et. al 2021). Mostrando assim a importância da discussão sobre esses temas e de se desenvolverem estratégias viáveis para uma melhor adoção dessas tecnologias para se manter competitivo no mercado mundial.

Um fato importante de se realçar é o quanto esses ciclos de revolução aconteceram e acontecem em espaços de tempo cada vez menores, devido ao desenvolvimento exponencial da tecnologia (Biagio, 2022). Dessa forma, se torna essencial manter um olhar atento às novas tecnologias em ascensão e em como elas se encaixam e moldam os novos ciclos revolucionários que tanto impactam em nossa sociedade.

Outro importante fator a ser considerado ao se tratar do tema é a resistência à aplicação da I4.0 por parte dos tomadores de decisão em empresas manufatureiras, causada, em parte, pela falta de conhecimento sobre a dimensão das vantagens de aplicação dessas tecnologias em sua produção (HAMADA, 2019). Ao mesmo tempo, segundo Ito et. al (2021), operários muitas vezes não entendem o motivo da aplicação dessas novas soluções da quarta revolução industrial e podem se mostrar muito mais positivos a elas quando resultados são demonstrados. Observando então como o conhecimento das vantagens competitivas das tecnologias a serem aplicadas na produção é algo fundamental para diversos profissionais do processo produtivo, se faz necessário o enriquecimento do debate sobre o tema.

3.OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é identificar as mais promissoras tecnologias relacionadas à Revolução Industrial 4.0 para a indústria manufatureira automotiva, selecionar seus principais campos de aplicação, como essas aplicações geram vantagem competitiva e realizar uma pesquisa qualitativa, através de entrevistas de empatia com planejadores de manufatura de linhas de produção de diferentes níveis de maturidade e implementação de tecnologias em uma dada empresa.

4.BASE TEÓRICA

4.1.A Indústria 4.0

Segundo Weyer et. al (2015), a quarta revolução se manifesta no desenvolvimento de fábricas inteligentes que objetivam a superação dos desafios impostos à indústria atual. São eles: a fabricação de produtos super personalizados, ciclos de vida cada vez menores e uma intensa concorrência mundial.

Lee, Kao e Yang (2014) acreditam que as fábricas inteligentes da I4.0 hoje em dia são majoritariamente concentradas na otimização e inteligência do controle da produção, porém caminharão para predição de desempenho do produto manufaturado, realizando aprimoramento do mesmo com o auxílio de sistemas avançados de predição, máquinas interconectadas e colaborativas e grande aquisição de dados que serão analisados e interpretados.

Para Schwab (2017), a quarta revolução industrial se diferencia de todas as posteriores por culminar em fusões e interações de tecnologias dos mais variados campos da ciência,

como a nanotecnologia, o sequenciamento de genes, os computadores quânticos e máquinas inteligentes e conectadas, nos domínios físicos, digitais e biológicos. Nesse cenário, tecnologias emergentes e inovações se disseminam de forma muito rápida. Dessa forma a enumeração de todas as tecnologias e soluções envolvidas nesta revolução é de difícil realização e envolve diversos campos de estudo, porém as seguintes são algumas das mais importantes e inovadoras segundo os textos acadêmicos estudados:

- a. **Cyber-Physical Systems (CPS):** São sistemas que possibilitam a integração de operações da realidade física com capacidades computacionais e possibilitam a comunicação de ambas com o ser humano através de meios diversos. É dito que uma das chaves para o desenvolvimento tecnológico na produção é essa habilidade de interação e otimização do mundo físico com o auxílio da computação, comunicação e controle (BAHETI e GILL, 2011).
- b. **Internet Of Things (IoT):** É o conceito de presença de dispositivos computadorizados (sensores) interconectados pela internet em todos os objetos do meio físico, tendo todos estes uma presença e representação na internet e permitindo com que enviem e recebam dados. Isso possibilita a comunicação e interação entre máquinas e entre as máquinas e aplicações na nuvem (MOUHA, 2021).
- c. **Cloud Computing (CC):** É um método de fornecimento de recursos compartilhados pela nuvem, tornando-os mais fáceis de serem utilizados através de automação e padronização. Esses recursos variam e podem incluir aplicações como plataformas de implantação, armazenamento, computação e desenvolvimento (HURWITZ e KIRSCH, 2020).
- d. **Big Data:** Termo para massivo conjunto de dados com estruturas grandes, complexas e variadas e seus desafios de armazenamento, análise e visualização para utilização em processos e obtenção de resultados. Na manufatura esse conceito pode ser de grande utilidade para o planejamento da cadeia de suprimentos, desenvolvimento das operações de produção, suporte de vendas e previsão de demandas (SAGIROGLU e SINANC, 2013).
- e. **Manufatura Aditiva:** Compreende as tecnologias com capacidade de adicionar e juntar material para construir uma estrutura ou montagem completa a partir de dados de um modelo 3D. Esse recurso tem permitido o aprimoramento de designs através de rápida prototipação e criação de equipamentos de ferramental personalizados na indústria automotiva, mas também tem o potencial de fazer parte diretamente do processo de produção, através da integração de métodos de manufatura aditiva com os recursos já mais comumente utilizados (PRASHAR, VASUDEV e BHUDDHI, 2023).
- f. **Robôs Autônomos:** Os robôs na I4.0 são utilizados para exercer tarefas repetitivas, possibilitando ao ser humano se preocupar com a resolução de problemas específicos, apenas.

Esses robôs, no entanto, podem ainda contar com recursos de machine learning e IA possibilitando-os a atuação em problemas cada vez mais complexos e adversos e tornando seu trabalho mais preciso e resistente a falhas (GOEL e GUPTA, 2020).

g. Gêmeos Digitais: Conceito de criação de um modelo digital de um sistema físico. Esse modelo digital recebe dados do sistema físico e possibilita monitoramento em tempo real de suas condições, além de ter a capacidade de enviar informações para o sistema físico. Tal aplicação é de grande vantagem por possibilitar aos tomadores de decisão o acesso a informações do sistema e atuação no mesmo sem a necessidade de estarem fisicamente presentes (WANG, 2020).

h. Machine Learning: É o conceito de criação de algoritmos de aprendizado que, ao serem alimentados com “experiências” na forma de dados, criam modelos que conseguem realizar previsões a partir de novas observações (ZHOU, 2021).

i. Inteligência Artificial (IA): É a capacidade de máquinas e/ou sistemas computacionais de realizar atividades e tomar decisões que se assemelham ou superam àquelas advindas da inteligência humana, de forma autônoma (ERTEL, 2018). Na manufatura, a AI tem grande potencial em aplicações como o reconhecimento de padrões através de dados altamente não lineares, análise de dados não estruturados, criação de robustez em tarefas repetitivas e realização de tarefas que exijam alta interpretabilidade e velocidades rápidas de computação (KIM et al. 2022).

j. Realidade Virtual: Consiste na criação de ambientes virtuais que fazem com que os sentidos humanos percebam a experiência de estar ou interagir com eles como real. Uma de suas funcionalidades que se destacam como vantagem para o setor manufatureiro é a capacidade de projetar e interagir com o design de sistemas complexos de manufatura, possibilitando o aprimoramento da futura interação do operador com os sistemas antes que qualquer investimento seja feito (MALIK, MASOOD e BILBERG, 2020).

k. Realidade Aumentada: Conceito de apresentação de dados do ambiente virtual através de uma camada de informação que é adicionada ao ambiente físico. Essas tecnologias têm grande potencial de aprimorar as interações entre homem e máquina em processos importantes da indústria, como no auxílio na montagem de produtos, na manutenção de maquinários e em operações de investigação de problemas de qualidade (EGGER e MASOOD, 2020).

l. 5G/6G: Esses novos padrões de comunicação celular são mais velozes, mais flexíveis e apresentam uma menor latência que seus predecessores. O 5G e seus três principais casos de uso (eMBB, mMTC e URLLC) possibilitam aplicações diversas, como a Realidade Virtual e

Carros Autônomos, já o 6G é ainda mais potente e viabiliza a melhor aplicação dos conceitos de Realidade Aumentada e Estendida, IA, suporte mais eficiente ao IoT e veículos voadores (SILVA e GUERREIRO, 2020).

m. Computadores Quânticos: São sistemas computacionais que fazem uso do fenômeno mecânico-quântico para processamento de dados, resultando em velocidades de processamento muito maiores. Essa tecnologia possibilita que simulações muito mais complexas, com mais variáveis e maior detalhamento, sejam realizadas em tempo muito menor do que anteriormente, favorecendo otimizações nas áreas de ciência dos materiais, engenharia e design e produção e logística (BAYERSTADLER et al. 2021).

4.2.A Competitividade

Zagloel e Jandhana (2016) reforçam que a competitividade é um termo amplo, que envolve diversos fatores, sobretudo no que diz respeito ao nível da instituição à que a competitividade se aplica. Porém no que tange ao setor industrial, eles concordam que fatores de produção, como mão de obra competente ou infraestrutura, condições de demanda, presença de indústrias relacionadas ou de suporte nas proximidades e como o governo nacional onde a indústria está presente apoia negócios são algumas das principais variáveis da competitividade na indústria.

Dentro do conceito de infraestrutura, segundo De Carolis et al. (2017), as companhias de sucesso serão verdadeiramente digitais, tendo seus produtos físicos manufaturados no centro, porém suportadas por interfaces digitais e inovações, que no futuro irão possibilitar o trabalho conjunto de clientes e fornecedores em um ambiente digital. Ghobakhloo (2018) compara o surgimento da I4.0 ao advento da internet nos anos 90, e afirma que as empresas manufatureiras precisam se preparar para adotar suas tecnologias para se manterem competitivas no mercado, onde o uso dessas inovações será crucial para a performance e sustentabilidade da empresa.

Çelik e Uzunçarşılı (2023) também expõem como a aplicação de inovações tecnológicas e a conciliação entre o gerenciamento de competências pré-existentes e investimentos em novas tecnologias e oportunidades constituem vantagens competitivas em empresas manufatureiras e como tais vantagens são de fundamental importância ao seu desempenho.

5.MÉTODO

Este capítulo irá focar as metodologias de pesquisa aplicadas para a elaboração deste trabalho, apresentando os procedimentos e fundamentos das etapas necessárias para sua utilização e como estes foram desenvolvidos.

O primeiro método aplicado foi o da Revisão Sistemática da Literatura (GALVÃO e RICARTE, 2019), onde buscou-se delimitar a fronteira do conhecimento sobre o tema estudado, assim como obter percepções e insights gerais.

Em seguida se realizou uma pesquisa qualitativa (ALSAAWI (2014); BEITIN (2012)) no formato de entrevistas estruturadas com planejadores de manufatura de linhas de produção de diferentes níveis de maturidade e implementação de tecnologias em uma filial de uma empresa multinacional do ramo manufatureiro automotivo. O intuito foi o de adquirir percepções e insights destes indivíduos sobre o tema desenvolvido, por serem eles os profissionais mais próximos dos processos de manufatura, e comparar tais informações com os resultados da Revisão Sistemática feita.

6.ESTUDO DE CASO

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos na Revisão Sistemática da Literatura sobre as soluções e tecnologias da Quarta Revolução Industrial e suas vantagens competitivas para empresas manufatureiras automotivas, os resultados das entrevistas estruturadas realizadas com os planejadores de manufatura de uma filial brasileira de uma empresa manufatureira automotiva multinacional e, finalmente, serão comparados e discutidos ambos os resultados, gerando relações e insights que contribuam para o enriquecimento da literatura sobre o tema.

Revisão Sistemática da Literatura: os 25 artigos selecionados foram estruturados por sua relevância aos pontos centrais deste trabalho em um mapa mental para melhor avaliar e relacionar seus conteúdos e descobertas (FIGURA 1).

Ao analisar os artigos que se debruçam com mais ênfase sobre as soluções e tecnologias da I4.0, se percebe o destaque das tecnologias de CPS, IoT, Cloud Computing, Big Data, Robótica, Machine Learning, Inteligência Artificial e Realidade Aumentada, com tecnologias como Gêmeos Digitais e Realidade Virtual sendo citadas com menos frequência e as soluções relacionadas a 5G/6G e Computadores Quânticos sendo raramente mencionados.

FIGURA 1 – Mapa mental gerado RSL



Fonte: Os autores

Entrevistas Estruturadas: É importante ressaltar que as respostas dadas pelos entrevistados e registradas em vídeo foram muitas vezes extensas e precisaram ser sintetizadas para possibilitar sua apresentação e melhor visibilidade de suas ideias centrais. O perfil dos entrevistados está na TABELA 1.

TABELA 1 – Perfil dos entrevistados

Nº Entrevistado	Tempo de Experiência	Produtos Manufaturados	Maturidade do Processo Produtivo	Tecnologias e soluções da I4.0 aplicadas no processo produtivo
1	Planejamento: 2 Anos Profissional: 5 anos	Aquecedor de combustível	3 Anos	Cyber-Physical Systems, Internet Of Things, Big Data, Robôs Autônomos, Soluções de Machine Learning e IA integradas a Sistemas de Visão
2	Planejamento: 14 Anos Profissional: 30 anos	Valvula Injetora de Combustível	26 anos	Big Data, Robôs Autônomos, Soluções de Machine Learning e IA integradas a Sistemas de Visão
3	Planejamento: 15 Anos Profissional: 19 anos	Módulos de controle	27 anos	Cyber-Physical Systems, Internet Of Things, Big Data, Robôs Autônomos, Soluções de Machine Learning e IA integradas a Sistemas de Visão
4	Planejamento: 15 Anos Profissional: 24 anos	Módulos de controle	27 anos	Cyber-Physical Systems, Internet Of Things, Big Data, Robôs Autônomos, Soluções de Machine Learning e IA integradas a Sistemas de Visão
5	Planejamento: 17 Anos Profissional: 30 anos	Galeria distribuidora de combustível	20 anos	Big Data, Robôs Autônomos, Soluções de Machine Learning e IA integradas a Sistemas de Visão
6	Planejamento: 2 Anos Profissional: 4 anos	Galvânica	55 anos	Cyber-Physical Systems, Internet Of Things, Big Data
7	Planejamento: 2 Anos Profissional: 2 anos	Motores Elétricos	19 anos	Cyber-Physical Systems, Internet Of Things, Big Data, Robôs Autônomos

Fonte: os autores

As questões que foram feitas são as seguintes: (a) O que representa a indústria 4.0 na manufatura? (b) Quais os maiores problemas enfrentados em suas linhas de produção?; (c) Quais as tendências do mercado em relação à I4.0? e (d) Quais soluções e tecnologias você aplicaria se tivesse a oportunidade?

Os autores elaboraram resumos das entrevistas para conservar as informações chaves apresentadas pelos entrevistados e dispostas em uma tabela para melhor visualização e comparação dos resultados. Devido a limitação de espaço do texto, será apresentada somente uma das perguntas (TABELA 2), para que se tenha ideia do nível de considerações realizadas pelos entrevistados.

TABELA 2 – Resposta dos entrevistados na Questão (d)

Nº Entrevistado	Quais soluções e tecnologias você aplicaria se tivesse a oportunidade?
1	Equipamentos ainda mais novos: câmeras de visual automático
2	Interligação das máquinas com a rede, sistema de manutenção automatizado.
3	Conexão de mais máquinas, mais alertas e gerenciamento automático de vida útil, sistemas preventivos de qualidade.
4	Atualização das máquinas para modelos mais novos que facilitariam a implementação de soluções de conectividade. Automatização das áreas de apoio: apontamento de refugo, logística, etc.
5	Rastreabilidade das peças desde o início de sua fabricação e conectada em cada processo. Monitoramento automático de paradas da máquina, quantas peças foram feitas, tempo de produção de cada peça
6	Automatização de processos, como: visual de componentes, setup automático das máquinas, conexão dos processos com a rede para acesso remoto dos dados e controle da linha. Operação automática das máquinas. Digitalização dos documentos. Conexão das máquinas à rede. Controle de gastos em infraestrutura (água, energia)
7	Melhoria de interface entre a produção e as outras áreas como a logística e a manutenção. Compartilhamento de informações de produção de forma rápida e automática. Digitalização de documentos.

Fonte: os autores

Ao se debruçar sobre as respostas aferidas à pergunta “d” fica clara a importância das tecnologias da I4.0 para a manufatura, porém algumas claramente se destacam. CPS, IoT e Big Data novamente se mostram tecnologias centrais para os planejadores de manufatura entrevistados, com as soluções derivadas diretamente de sua aplicação, como conectividade, acesso a dados e monitoramento, sendo citadas em 7 das 7 respostas fornecidas pelos entrevistados. Fato que dá ainda mais suporte a essa hipótese é o de que funcionários que já

possuem tais tecnologias em seus sistemas produtivos reforçarem que gostariam de investir em mais aplicações relacionadas a essas tecnologias e expandi-las nos sistemas manufatureiros de que são responsáveis.

7.CONCLUSÕES

Neste trabalho buscou-se analisar as principais tecnologias e soluções da Quarta Revolução Industrial e suas vantagens competitivas para empresas manufatureiras do setor automotivo através de uma análise sistemática da literatura e posterior confronto dos resultados desta análise com os resultados obtidos de uma pesquisa qualitativa com planejadores de manufatura de uma filial de uma empresa multinacional do ramo automotivo.

Em tal análise pode-se observar destaque das tecnologias e soluções de CPS, IoT, Big Data, Robôs Autônomos, Machine Learning e IA como fundamentais para a competitividade de empresas desse ramo no ponto de vista dos funcionários mais próximos do sistema produtivo, o que corrobora com os dados encontrados na literatura estudada.

Também é interessante observar que tecnologias como Cloud Computing, Realidade Virtual e Aumentada, Manufatura Aditiva e Gêmeos Digitais não são muito consideradas e destacadas por esses profissionais, mas que, segundo considerações retiradas da análise sistemática da literatura conduzida, poderiam servir de auxílio para dores no sistema produtivo apontadas pelos mesmos e indica que aqueles que souberem aplicar tais tecnologias de forma eficiente podem gerar vantagens competitivas às suas empresas.

Diante disso, e também considerando os desafios apontados na manufatura relacionados ao aumento de complexidade dos sistemas e às barreiras para implementação das tecnologias e soluções da I4.0, fica flagrante a importância da obtenção, difusão e absorção de conhecimento sobre essas ferramentas por todos os funcionários da empresa para que as companhias possam melhor implementar tais tecnologias e permanecer competitivas e atualizadas, fato que também é constantemente reforçado na literatura estudada.

Se faz evidente também a atual irrelevância, na realidade dos funcionários entrevistados, de tecnologias emergentes como o 5G/6G e Computadores Quânticos. Tal falta de imediata importância também é clara na literatura estudada e mostra que tais tecnologias ainda estão distantes de representar ganhos em competitividade, pelo menos no futuro próximo.

Dissonante da literatura está a importância dada a temas de sustentabilidade social e ambiental, pelo menos no que tange aos entrevistados. Tal aspecto das empresas

manufatureiras, apesar de ser comumente encontrado e discutido na literatura, não foi observado nem uma única vez em todas as respostas e considerações obtidas dos profissionais entrevistados. Isso mostra que, ou tal relevância é superestimada pelos textos acadêmicos analisados, ou a difusão da relevância de tal tema não é efetivamente difundido pelos membros do sistema produtivo.

Finalmente, observa-se a necessidade de mais pesquisas e textos acadêmicos que analisam a perspectiva de outros cargos em empresas manufatureiras, como gerentes e operadores no chão de fábrica, que poderiam complementar e ampliar a visão sobre o tema. Outra possibilidade frutífera para o ampliamiento do conhecimento sobre o assunto estudado seria a extensão de semelhante pesquisa qualitativa para empresas de dimensões e setores diferentes para analisar como os resultados flutuam considerando culturas empresariais distintas.

REFERÊNCIAS

- ALSAAWI, A. **A critical review of qualitative interviews**. European Journal of Business and Social Sciences, v. 3, n. 4, 2014.
- BAHETI, R. e GILL, H. **Cyber-physical systems**. The impact of control technology, v. 12, n. 1, p. 161-166, 2011.
- BAYERSTADLER, A. et al. **Industry quantum computing applications**. EPJ Quantum Technology, v. 8, n. 1, p. 25, 2021.
- BEITIN, B. K. **Interview and sampling**. The SAGE handbook of interview research: The complexity of the craft, p. 243-253, 2012.
- BIAGIO, L. A. **Um Método para a Migração dos Recursos de Transformação em Empresas Manufatureiras Sistemistas para a Indústria 4.0**. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas, São Paulo, 222p., 2022.
- BIGLIARDI, B.; BOTTANI, E. e CASELLA, G. **Enabling technologies, application areas and impact of industry 4.0: a bibliographic analysis**. Procedia manufacturing, v. 42, p. 322-326, 2020.
- BOZZELLA, J. **The Driving Force: emerging innovation and policy**. Industry Report, Alliance Automotive Innovation, USA, 2022, 42p.
- BUTT, J. **A strategic roadmap for the manufacturing industry to implement industry 4.0**. Designs, v. 4, n. 2, p. 11, 2020.
- ÇELİK, D. e UZUNÇARŞILI, Ü. **Is the Effect of Organizational Ambidexterity and Technological Innovation Capability on Firm Performance Mediated by Competitive**

Advantage? An Empirical Research on Turkish Manufacturing and Service Industries. SAGE Open, v. 13, n. 4, p. 21582440231206367, 2023.

DACAL-NIETO, A. et al. **Integrating a data analytics system in automotive manufacturing: background, methodology and learned lessons.** Procedia Computer Science, v. 200, p. 718-726, 2022.

DE CAROLIS, A. et al. **A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies.** In: Advances in Production Management Systems. The Path to Intelligent, Collaborative and Sustainable Manufacturing: IFIP WG 5.7 International Conference, APMS 2017, Hamburg, Germany, September 3-7, 2017, Proceedings, Part I. Springer International Publishing, 2017. p. 13-20.

DEVAGIRI, J. S. et al. **Augmented Reality and Artificial Intelligence in industry: Trends, tools, and future challenges.** Expert Systems with Applications, p. 118002, 2022.

DOS SANTOS, L. M. A. L.; COSTA, M. B.; KOTHE, J. M. **Industry 4.0 collaborative networks for industrial performance.** Journal of Manufacturing Technology Management, v. 32, n.2, p.245-565, 2021. Published online in EMERALD (www.emeraldinsight.com). DOI: 10.1108/JMTM-04-2020-0156.

EBRAHIMI, M.; BABOLI, A. e ROTHER, E. **The evolution of world class manufacturing toward Industry 4.0: A case study in the automotive industry.** Ifac-Papersonline, v. 52, n. 10, p. 188-194, 2019.

EGGER, J. e MASOOD, T. **Augmented reality in support of intelligent manufacturing—a systematic literature review.** Computers & Industrial Engineering, v. 140, p. 106195, 2020.

EL-WARRAK, L. et al. **Analyzing industry 4.0 trends through the technology roadmapping method.** Procedia Computer Science, v. 201, p. 511-518, 2022.

ERTEL, W. **Introduction to artificial intelligence.** Springer, 2018.

ESLAMI, M. H. et al. **Knowledge-sharing across supply chain actors in adopting Industry 4.0 technologies: An exploratory case study within the automotive industry.** Technological Forecasting and Social Change, v. 186, p. 122118, 2023.

FERREIRA, J. J. et al. **Industry 4.0 implementation: Environmental and social sustainability in manufacturing multinational enterprises.** Journal of Cleaner Production, v. 404, p. 136841, 2023.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F. **Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies.** International Journal of Production Economics, v.210, p. 15-26, 2019. Published online in ELSEVIER (www.elsevier.com/locate/ijpe). DOI: 10.1016/j.ijpe.2019.01.004.

GALVÃO, M. C. B. e RICARTE, I. L. M.. **Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação.** Logeion: Filosofia da informação, v. 6, n. 1, p. 57-73, 2019.

GHOBAKHLOO, M. **The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0.** Journal of manufacturing technology management, v. 29, n. 6, p. 910-936, 2018.

GIAMPIERI, A. et al. **A review of the current automotive manufacturing practice from an energy perspective.** Applied Energy, v. 261, p. 114074, 2020.

GOEL, R. e GUPTA, P. **A Roadmap to Industry 4.0: Smart Production, Sharp Business and Sustainable Development,** Chapter Robotics and industry 4.0, Springer, p. 157-169, 2020.

HAMADA, T. **Determinants of Decision-Makers Attitudes toward Industry 4.0** Adaptation. Social Sciences, v.8, n.5, p.140, 2019. Published online in MDPI (www.mdpi.com/journal/socsci) DOI: 10.3390/socsci8050140

HURWITZ, J. S. e KIRSCH, D. **Cloud computing for dummies.** John Wiley & Sons, 2020.

IKOME, J.M.; LASEINDE, O. T. e KATUMBA, M. G. K. **The future of the automotive manufacturing industry in developing nations: A case study of its sustainability based on South Africa's paradigm.** Procedia Computer Science, v. 200, p. 1165-1173, 2022.

ITO, A. et al. **Dealing with resistance to the use of Industry 4.0 technologies in production disturbance management.** Journal of Manufacturing Technology Management, v. 32, n. 9, p. 285-303, 2021.

JAVAID, M. et al. **Enabling flexible manufacturing system (FMS) through the applications of industry 4.0 technologies.** Internet of Things and Cyber-Physical Systems, v. 2, p. 49-62, 2022.

KAMBLE, S. S. et al. **A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs - A review and empirical investigation.** International Journal of Production Economics, v.229, p. 04-19, 2020. Published online in ELSEVIER (www.elsevier.com/locate/ijpe). DOI: 10.1016/j.ijpe.2020.107853.

KIM, S.W. et al. **Recent advances of artificial intelligence in manufacturing industrial sectors: A review.** International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, p. 1-19, 2022.

LEE, J.; KAO, H. e YANG, S. **Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment.** Procedia CIRP, v. 16, p. 3-8, 2014.

LI, C.; CHEN, Y. e SHANG, Y. **A review of industrial big data for decision making in intelligent manufacturing.** Engineering Science and Technology, an International Journal, v. 29, p. 101021, 2022.

LLOPIS-ALBERT, C.; RUBIO, F. e VALERO, F. **Impact of digital transformation on the automotive industry.** Technological forecasting and social change, v. 162, p. 120343, 2021.

MAHMOODI, E.; FATHI, M. e GHOBAKHLOO, M. **The impact of Industry 4.0 on bottleneck analysis in production and manufacturing: Current trends and future**

perspectives. Computers & industrial engineering, v. 174, p. 108801, 2022.

MALIK, A. A.; MASOOD, T. e BILBERG, A. **Virtual reality in manufacturing: immersive and collaborative artificial-reality in design of human-robot workspace.** International Journal of Computer Integrated Manufacturing, v. 33, n. 1, p. 22-37, 2020.

MOUHA, R. Ait. **Internet of things (IoT).** Journal of Data Analysis and Information Processing, v. 9, n. 2, p. 77-101, 2021.

MULJANI, N. e ELLITAN, L. **Developing competitiveness in industrial revolution 4.0.** International Journal of Trend in Research and Development., v. 6, n. 1, p. 1-3, 2019.

NTAMO, D. et al. **Industry 4.0 in action: Digitalisation of a continuous process manufacturing for formulated products.** Digital Chemical Engineering, v. 3, p. 100025, 2022.

PADILLA-LOZANO, C. P. e COLLAZZO, P. **Corporate social responsibility, green innovation and competitiveness—causality in manufacturing.** Competitiveness Review: An International Business Journal, v. 32, n. 7, p. 21-39, 2021.

PAPULOVÁ, Z.; GAŽOVÁ, A. e ŠUFLIARSKÝ, Ľ. **Implementation of automation technologies of industry 4.0 in automotive manufacturing companies.** Procedia Computer Science, v. 200, p. 1488-1497, 2022.

PHILBECK, T. e DAVIS, N.. **The fourth industrial revolution.** Journal of International Affairs, v. 72, n. 1, p. 17-22, 2018.

PRASHAR, G.; VASUDEV, H. e BHUDDHI, D. **Additive manufacturing: expanding 3D printing horizon in industry 4.0.** International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM), v. 17, n. 5, p. 2221-2235, 2023.

SAGIROGLU, S. e SINANC, D. **Big data: A review.** In: 2013 international conference on collaboration technologies and systems (CTS). IEEE, 2013. p. 42-47.

SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution.** Currency, 2017.

SIDDAWAY, A. P.; WOOD, A.M.; HEDGES, L.V. **How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses.** Annual review of psychology, v. 70, p. 747-770, 2019.

SILVA, M.M. e GUERREIRO, J. **On the 5G and Beyond.** Applied Sciences, v. 10, n. 20, p. 7091, 2020.

STEARNS, P.N.; **The Industrial Revolution in World History**, 5 Ed.; 2020.

WANG, Z. **Digital twin technology.** In: Industry 4.0-impact on intelligent logistics and manufacturing. IntechOpen, 2020.

WEYER, S. et al. **Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems.** IFAC-PapersOnLine, 48 (3), 579-584.

In: 15th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing. 2015.

XU, X. et al. **Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception.**
Journal of Manufacturing Systems, v. 61, p. 530-535, 2021.

ZAGLOEL, Y. e JANDHANA, I. B. M. P. **Literature review of industrial competitiveness index: research gap.** In: Proceeding of Industrial Engineering and Operations Management (IEOM) Conference. Kuala Lumpur, Malaysia. 2016.

ZHOU, Z.H. **Machine learning.** Springer Nature, 2021.