



REVISTA BRASILEIRA DE MECATRÔNICA
FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA

**A APLICABILIDADE DA TECNOLOGIA 5G NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0:
IMPULSIONANDO IoT, IA, COMPUTAÇÃO EM NUVEM E SEGURANÇA CIBERNÉTICA**

**THE APPLICABILITY OF 5G TECHNOLOGY IN THE CONTEXT OF INDUSTRY 4.0: EMPOWERING
IOT, AI, CLOUD COMPUTING AND CYBERSECURITY**

João Victor Delomo Luque^{1, i}
Daniel Octávio Tambasco Bruno^{2, ii}
Juliane de Almeida Crispim^{3, iii}
José Roberto dos Santos^{4, iv}
Victor Pereira Bernardes^{5, v}

Data de submissão: (14/02/2024) Data de aprovação: (09/09/2024)

RESUMO

Este artigo explora a importância do setor de telecomunicações e o avanço tecnológico representado pela tecnologia 5G, a quinta geração de telefonia móvel. O 5G oferece velocidades de dados móveis superiores, menor latência e a capacidade de conectar simultaneamente diversos dispositivos, impulsionando o desenvolvimento em pilares da Indústria 4.0, como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Computação em Nuvem e Segurança Cibernética. O objetivo geral deste estudo é investigar a influência da implementação do 5G e em seus resultados operacionais e de inovação no contexto da Indústria 4.0. A justificativa para o estudo baseia-se no interesse e no investimento global na tecnologia 5G, que apresenta avanços significativos em relação às gerações anteriores e seu impacto na indústria. Este trabalho é uma Revisão Sistemática da Literatura, que inclui a análise de teses, dissertações e artigos sobre a implementação do 5G. A análise contribui para o avanço do conhecimento científico e tecnológico, subsidiando decisões estratégicas e impulsionando o desenvolvimento socioeconômico. A pesquisa como um todo, apresenta aplicações de 5G integradas em combinações tecnológicas, por meio da conectividade avançada, em laboratórios, simuladores e ambientes controlados. Por outro lado, os resultados do estudo em relação à implementação de 5G e indústria 4.0 na indústria brasileira mostraram que há poucos estudos na área e a maioria deles se trata de revisões de literatura,

¹ Especialista em Tecnologia na Escola SENAI "Engº Octavio Marcondes Ferraz". E-mail: joao.luque@sp.senai.br

² Professor da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: daniel.bruno@sp.senai.br

³ Instrutura de Formação Profissional na Escola SENAI "Engº Octavio Marcondes Ferraz". E-mail: juliane.crispim@sp.senai.br

⁴ Especialista e Docente na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. E-mail: joseroberto@sp.senai.br

⁵ Supervisor de Projetos e Tecnologia na Escola SENAI "Engº Octavio Marcondes Ferraz". E-mail: victor.bernardes@sp.senai.br

o que evidencia a necessidade de verificar, na prática, questões relacionadas à implementação da tecnologia 5G na indústria 4.0, tendo em vista os seus pilares.

Palavras-chave: 5G; aplicabilidade; Indústria 4.0.

ABSTRACT

This article explores the importance of the telecommunications sector and the technological advancement represented by 5G technology, the fifth generation of mobile telephony. 5G offers superior mobile data speeds, lower latency, and the ability to connect multiple devices simultaneously, driving development in pillars of Industry 4.0, such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Cloud Computing, and Cybersecurity. The general objective of this study is to investigate the influence of 5G implementation and its operational and innovation results in the context of Industry 4.0. The justification for the study is based on the global interest and investment in 5G technology, which presents significant advances compared to previous generations and its impact on the industry. This work is a Systematic Literature Review, which includes the analysis of theses, dissertations, and articles on the implementation of 5G. The analysis contributes to the advancement of scientific and technological knowledge, supporting strategic decisions and boosting socioeconomic development. The research as a whole presents 5G applications integrated into technological combinations, through advanced connectivity, in laboratories, simulators, and controlled environments. On the other hand, the study results regarding the implementation of 5G and Industry 4.0 in the Brazilian industry showed that there are few studies in the area and most of them are literature reviews, which highlights the need to verify, in practice, issues related to the implementation of 5G technology in Industry 4.0, considering its pillars.

Keywords: 5G; applicability; Industry 4.0.

1 INTRODUÇÃO

O setor de telecomunicações desempenha um papel fundamental em qualquer país, oferecendo serviços essenciais que geram valor tanto para as gerações atuais quanto para as futuras. Os avanços nesse setor têm ocorrido num ritmo acelerado, a ponto de já não se imaginar a vida em seus variados aspectos sem esses desenvolvimentos, mesmo que muitos tenham ocorrido há apenas cerca de vinte anos atrás. Atualmente, uma parcela significativa da população se beneficia dos serviços móveis por meio de smartphones, acesso a vídeos sob demanda e Internet de alta velocidade por meio de redes de fibra óptica (Spadinger, 2021).

A tecnologia 5G, considerada a quinta geração de telefonia móvel, oferece velocidades de dados móveis superiores, menor latência e capacidade de conectar simultaneamente um maior número de dispositivos. Trata-se de um avanço significativo em relação ao 4G e é fundamental para o desenvolvimento de tecnologias como inteligência artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT). O 5G desempenha um papel importante na produção industrial, impulsionando a Internet industrial e gerando ganhos em produtividade. O 5G configura-se como uma transformação completa na infraestrutura de telecomunicações, sendo altamente integrativo e capaz de fornecer cobertura móvel universal para diversos dispositivos. As redes 5G estão se expandindo rapidamente no mundo todo, com expectativas

de cobrir uma parte significativa da população global até o final de 2022. Países ao redor do mundo estão investindo fortemente em pesquisa e desenvolvimento do 5G, com a China emergindo como líder nessa área. Os países veem o 5G como um setor estratégico para fortalecer suas posições políticas e econômicas e liderar o desenvolvimento global dessa tecnologia (Prestes, 2022).

As tecnologias estão em constante desenvolvimento e atingem uma infinidade de áreas, transformando a forma como os indivíduos interagem nesses contextos. Desde a Primeira Geração (1G) até a Quarta Geração (4G), houve aprimoramento de serviços e desenvolvimento na área. O 5G veio, portanto, revolucionar este tipo de tecnologia, possibilitando o alcance de inúmeras possibilidades, como as Cidades Inteligentes (Smart Cities), entre várias outras (Lucca e Mauro, 2020).

Neste contexto, a Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, representa uma transformação profunda nos processos de manufatura e produção industrial, impulsionada pelo avanço e integração de tecnologias digitais emergentes. Esse paradigma é caracterizado pela convergência de tecnologias cibernéticas, físicas e biológicas, culminando na criação de fábricas inteligentes, onde sistemas interconectados e autônomos operam em tempo real (Sacomano et al., 2018).

A transição para a Indústria 4.0 envolve a adoção de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Computação em Nuvem, Segurança Cibernética e, mais recentemente, a rede 5G. Esses elementos tecnológicos são integrados em Sistemas Ciberfísicos (CPS), os quais permitem a comunicação e a coordenação entre máquinas, produtos, sistemas de produção e humanos. Assim, a Indústria 4.0 representa uma evolução estratégica e tecnológica no setor industrial, possibilitando uma produção mais eficiente, flexível e customizável. A interconexão de Sistemas Ciberfísicos, impulsionada pela tecnologia 5G, é a chave para desbloquear todo o potencial desta nova era industrial, onde a digitalização e a automação são elementos centrais para a competitividade e a inovação contínua, o que justifica o desenvolvimento de pesquisas sobre esta temática.

1.1 Problema de pesquisa

Qual é a aplicabilidade da tecnologia 5G na Indústria 4.0 e seus impactos em IoT, IA, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética?

1.2 Objetivo(s)

Este artigo científico versa sobre a tecnologia 5G e sua aplicabilidade na Indústria 4.0. O objetivo geral é investigar as influências da implementação da tecnologia 5G e seus resultados operacionais e de inovação no contexto da Indústria 4.0, com foco em quatro pilares específicos: IoT, IA, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética. Esse estudo permitirá primeiramente a verificação de aplicações 5G em estudos de caso feito em simuladores, laboratórios e ambientes controlados na sessão 2 deste artigo e na sessão 4 discutiremos as lacunas encontradas em ambientes reais no contexto brasileiro. Para isso, consideraram-se os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar a tecnologia 5G e suas especificidades;
- Definir Indústria 4.0 a partir da integração tecnológica de seus pilares;

- Discutir o impacto da tecnologia 5G na eficiência e produtividade dos processos industriais e de inovação;
- Expor a proximidade do setor de telecomunicações com a indústria 4.0;
- Destacar os desafios da implementação em casos reais, as lacunas do conhecimento e as disparidades entre os achados acadêmicos perante os sites dos fornecedores completos de rede 5G para a indústria 4.0;
- Por fim, direcionar novos estudos da área, com forte sugestão aos empíricos.

1.3 Justificativa

A implementação da tecnologia 5G tem despertado interesse e atraído investimentos de diversos países ao redor do mundo. Suas características, como maior velocidade, menor latência e capacidade de conectar um número significativamente maior de dispositivos, representam avanços substanciais em relação às gerações anteriores de tecnologia móvel. Atualmente estamos vivenciando o início da quarta revolução industrial e o 5G está sendo visto mais que uma evolução de telefonia e sim como uma revolução. Isso se deve ao aprimoramento que ele traz para soluções 5G, como MIMO massivo, computação em borda e fatiamento de rede, que convergem tecnologicamente com quatro pilares da indústria 4.0: IoT, IA, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética. No entanto, é essencial avaliar se esses avanços têm, de fato, gerado resultados positivos.

Este estudo busca investigar em um primeiro momento a aplicabilidade do 5G em estudos que evidenciam a potencialização tecnológica a partir das combinações de IoT, IA, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética em soluções 5G, evidenciando os avanços tecnológicos disponíveis no atual cenário já na sessão 2 deste artigo (Revisão de Literatura). Posteriormente, na sessão 4 deste artigo (Resultados e Discussão), evidenciaremos as lacunas do conhecimento sobre a aplicabilidade do 5G na indústria 4.0, uma vez que encontramos poucos estudos com essa temática ao pesquisarmos com as palavras-chave “Aplicabilidade 5G” e “Indústria 4.0” em artigos de língua vernácula. Além disso os autores supracitados apontam a baixa maturidade das empresas brasileiras em relação à Indústria 4.0, que ainda desconhecem seus principais aspectos e a confundem com digitalização ou mera automação (Almeida *et al.*, 2023).

Ao contextualizar as especificidades do 5G, identificar sua aplicabilidade e descrever os resultados obtidos, será possível verificar se essa tecnologia tem efetivamente demonstrado suas potencialidades e contribuído para o desenvolvimento das áreas em que é aplicada. Compreender os benefícios e os desafios enfrentados na implementação do 5G é fundamental para subsidiar decisões estratégicas, como no contexto das organizações.

Além disso, essa análise contribui para o avanço do conhecimento científico e tecnológico, permitindo o aprimoramento contínuo dessa tecnologia e de suas aplicações. Ao impulsionar o progresso e o desenvolvimento socioeconômico, a pesquisa fornecerá insights valiosos para a otimização do uso do 5G, promovendo um impacto positivo nas indústrias e na sociedade como um todo e direcionando pesquisas futuras para as lacunas do conhecimento identificadas na pesquisa apresentada.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Evolução da Tecnologia sem Fio

No atual contexto, a indústria de dispositivos móveis, impulsionada pelo crescente avanço tecnológico, tem se desenvolvido significativamente, lançando, a cada curto ciclo de tempo, dispositivos adaptados às novas técnicas de comunicação móvel (Uguetto, 2022).

Em termos gerais, a comunicação sem fio se dá entre dois pontos, sem a necessidade de cabos ou fibras, sendo transmitidas por ondas. Ela é utilizada em diversos tipos de dispositivos: GPS, televisão, satélites, telefones, entre outros.

Em julho de 2024 completaram-se no Brasil dois anos da implementação da tecnologia 5G. Brasília foi a primeira capital a ter a faixa de 3,5 GHz liberada para a tecnologia 5G e, até o momento do estudo, o sinal estava ativo a um total de 589 cidades, com uma cobertura média de 45% e 28 milhões de usuários com aparelhos celulares que permitem a conectividade a essa tecnologia, conforme a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL, 2024).

Por meio da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD Contínua), divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2022, alguns quesitos da pesquisa já foram alterados devido inserção da tecnologia 5G no país, o que provocou, por exemplo, a instituição de política pública para substituir gradualmente a transmissão de TV aberta por meio de antenas parabólicas grandes, as quais podem interferir no 5G, por mini parabólicas que não ocasionam interferência. Assim, no ano de 2022, houve inovação na coleta de dados sobre a existência de dispositivos inteligentes que poderiam ser acessados por meio da Internet, como ventiladores, câmeras e caixas de som. Desse modo, segundo a pesquisa, dos 68,9 milhões de domicílios conectados à Internet no território brasileiro, um total de 14,3% já possuía algum tipo de dispositivo inteligente. Considera-se que esse percentual tende a crescer com a implementação da tecnologia 5G, da qual se versa adiante (PNAD Contínua, 2022).

2.2 Tecnologia 5G: Contextualização e Especificidades

A quinta geração de telefonia móvel, ou 5G, surge como uma evolução da quarta geração, ou 4G, oferecendo vantagens significativas em relação à sua antecessora. O 5G apresenta uma série de melhorias em relação ao 4G, incluindo menor latência e maior capacidade de conectividade e segurança. Uma das principais vantagens do 5G em relação ao 4G é a sua velocidade. Enquanto o 4G oferece velocidades de download de até 100 megabits por segundo (Mbps), o 5G pode chegar a velocidades de até 10 gigabits por segundo (Gbps). Isso significa que o 5G é capaz de fornecer downloads muito mais rápidos do que o 4G, permitindo que os usuários acessem conteúdo de alta qualidade de maneira mais rápida e eficiente (Wang *et al.*, 2020).

Conforme os autores, outra vantagem do 5G é a sua menor latência, que é o tempo que leva para uma rede responder a uma solicitação de um dispositivo. Enquanto o 4G tem uma latência média de cerca de 30 milissegundos (ms), o 5G tem uma latência de cerca de 1 ms. Isso significa que o 5G é capaz de fornecer uma resposta mais rápida do que o 4G, o que é especialmente importante para aplicativos que requerem resposta imediata, como jogos

online e realidade virtual. Além disso, o 5G oferece uma capacidade de conectividade maior do que o 4G. Enquanto o 4G pode conectar cerca de 1.000 dispositivos por quilômetro quadrado, o 5G é capaz de conectar até um milhão de dispositivos por quilômetro quadrado. Isso significa que o 5G é capaz de suportar uma grande quantidade de dispositivos conectados ao mesmo tempo, permitindo que os usuários acessem a rede de maneira mais eficiente e evitando congestionamentos (Wang *et al.*, 2020).

O 5G possui características muito distintas das tecnologias anteriores, as quais possibilitam diversas expectativas em comparação, por exemplo, com o 4G. Os avanços observados nesse tipo de tecnologia englobam diversas funcionalidades, conforme caracterizado por Spadinger (2021), sintetizadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Caracterização da Tecnologia 5G.

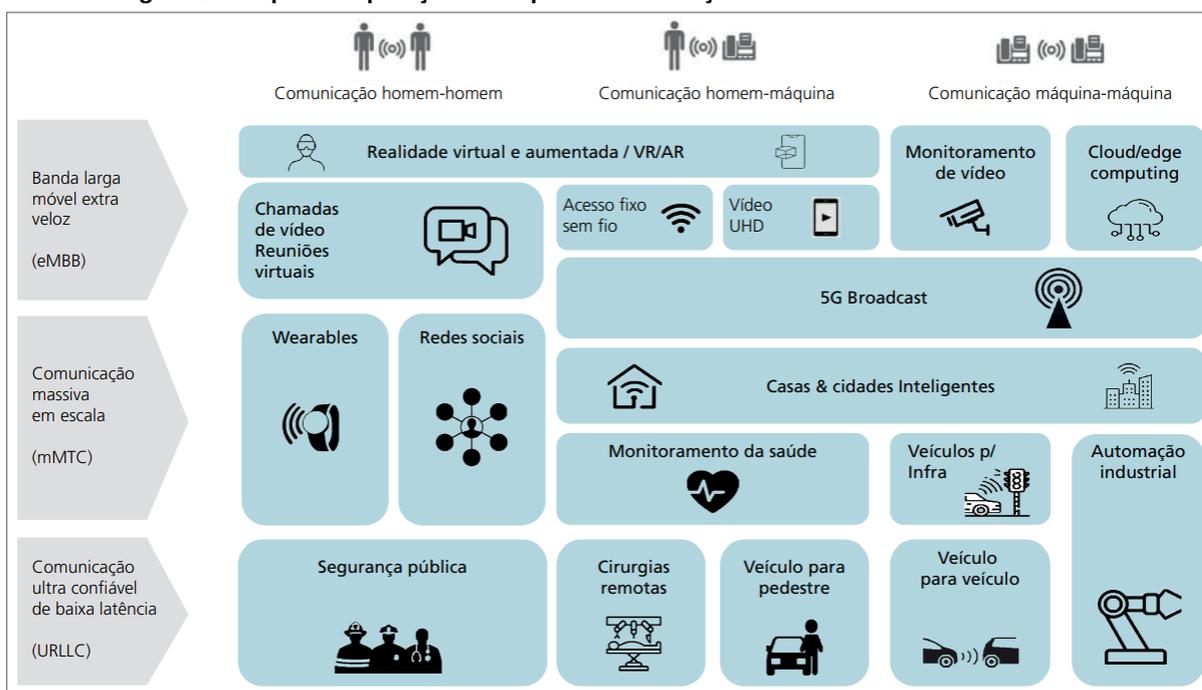
Funcionalidade	Características
Baixa latência do 5G	As redes de baixa latência do 5G oferecem tempos de resposta rápidos para aplicações críticas, como veículos autônomos e robôs, que dependem de respostas instantâneas.
Maior velocidade na banda larga móvel 5G	O 5G possibilita o suporte a aplicações que exigem grandes quantidades de dados em movimento, como aplicativos de realidade virtual ou aumentada (AR/VR).
Network slicing	Com o 5G, será possível fornecer serviços de rede personalizados, adaptando sub-redes virtuais para atender às necessidades específicas de cada aplicação. Cada serviço terá uma rede adaptada às suas necessidades específicas.
Redes em malha 5G	Espera-se uma maior densidade de conexões com o 5G, permitindo que os dispositivos se conectem entre si e melhorem as redes existentes, resultando na criação de novas aplicações.
Localização 5G	O 5G proporcionará suporte para localização em rede em um espaço tridimensional, com precisão de 1 a 10 metros em 80% das ocasiões, e precisão superior a 1 metro em ambientes internos.

Fonte: Adaptado de Spadinger (2021).

Observa-se, portanto, segundo os pressupostos dos autores, que o 5G oferece maior segurança do que o 4G na medida em que usa criptografia de ponta a ponta, o que significa que as informações são criptografadas durante todo o processo de transmissão, desde o dispositivo do remetente até o dispositivo do destinatário. Isso torna mais difícil para invasores interceptar ou roubar informações, oferecendo maior proteção para os usuários e suas informações pessoais Wang *et al.* (2020).

Com essas melhorias, espera-se que o 5G abra novas possibilidades para a comunicação móvel, tornando possível a implementação de novas tecnologias integradoras, conhecidas como pilares da Indústria 4.0. Tais aplicabilidades são discutidas por Spadinger (2021), conforme consta na Figura 1.

Figura 1 - Grupos de Aplicações 5G e potenciais serviços associados.



Fonte: Spadinger (2021, p. 12).

Considerando o contexto apresentado, observa-se a existência, agora, de fábricas e cidades inteligentes, proporcionadas pelos avanços aqui referidos. Este estudo buscou identificar a aplicabilidade da tecnologia 5G especificamente, no contexto da Indústria 4.0, considerando os seguintes pilares: IoT, IA, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética.

2.3 Os pilares tecnológicos da Indústria 4.0 para essa temática: IoT, IA, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, representa uma transformação significativa no ambiente de manufatura e produção, caracterizada pela integração de tecnologias digitais avançadas em sistemas físicos e biológicos. Essa revolução é sustentada por pilares tecnológicos fundamentais, entre eles a Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Computação em Nuvem e Segurança Cibernética. Esse conceito de indústria surgiu no ano de 2011, na Alemanha, em um evento de tecnologia industrial que apresentou uma nova tendência: *smart factories*, isto é, fábricas inteligentes.

A aplicação do conceito de Indústria 4.0 tornará as fábricas inteligentes de forma que sejam capazes de ter maior autonomia na programação de manutenções, antecipação de falhas e adaptação para mudanças não planejadas, por exemplo. O objetivo da indústria 4.0 seria o de melhorar os processos de fabricação, considerando uma avultada dimensão, ou seja, os mais variados aspectos para se tornar mais eficiente e satisfazer as necessidades do mercado consumidor. Um detalhe: as fábricas inteligentes deveriam ter todos os seus processos (máquinas, pessoas e sistemas) conectados por meio de Internet, em toda a cadeia produtiva (Yamada e Martins, 2018).

A integração da IoT, IA, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética cria uma base tecnológica que possibilita a inovação contínua e a otimização dos processos industriais, garantindo a competitividade das empresas no mercado global. As implicações dessas

tecnologias são vastas e abrangentes, impactando desde a eficiência operacional até a segurança e a inovação nas indústrias.

A IoT é muito mais do que coisas conectadas. Trata-se da progressiva automatização de setores inteiros, tanto da economia quanto da vida social, fundamentando-se na comunicação máquina-máquina. A IoT estará presente cada vez mais na “logística, agricultura, transporte de pessoas, saúde, produção industrial”, dentre muitas outras possibilidades (Magrani, 2021, p. 16).

A Inteligência Artificial é outro pilar essencial, proporcionando capacidades avançadas de análise de dados e automação. Sistemas de IA aplicados na Indústria 4.0 podem “aprender com grandes volumes de dados, identificar padrões e tomar decisões autônomas” (Russell; Norvig, 2016, p. 42). Isso inclui desde a automação de tarefas repetitivas até a implementação de sistemas de controle adaptativo que melhoram a flexibilidade e a resposta dos processos de produção. Além disso, a IA facilita o desenvolvimento de algoritmos preditivos que são vitais para a manutenção preditiva e a gestão eficiente de recursos.

A Computação em Nuvem oferece uma infraestrutura robusta e escalável para o armazenamento, processamento e análise de grandes volumes de dados gerados pelos dispositivos da IoT e sistemas de IA. A computação em nuvem proporciona acesso sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos computacionais configuráveis, permitindo que as empresas industriais aumentem sua capacidade de processamento sem a necessidade de investimentos significativos em hardware. Essa flexibilidade é fundamental para suportar requisitos dinâmicos da Indústria 4.0, como a análise em tempo real de dados de produção e a colaboração global entre diferentes unidades de produção (Buyya; Yeo; Venugopal, 2008).

A Segurança Cibernética é uma das principais preocupações para as empresas inseridas na Indústria 4.0. À medida que os avanços tecnológicos conectam equipamentos por meio de redes computacionais internas e externas, a gestão de ataques cibernéticos torna-se cada vez mais relevante. A Estratégia de Segurança da Informação e Comunicações e de Segurança Cibernética da Administração Pública Federal define a segurança cibernética como a arte de assegurar a existência da sociedade da informação, protegendo ativos de informação e infraestruturas críticas. Esse cenário complexo desafia conceitos tradicionais, como fronteiras geopolíticas, e destaca a importância de uma compreensão estratégica para garantir a segurança de uma nação e suas empresas.

Para enfrentar esses desafios, diversas normas e diretrizes foram desenvolvidas, formando um arcabouço normativo para a segurança cibernética na Indústria 4.0. Documentos como a ISO/IEC 27032:2015 e a ISO/IEC 27001:2013 fornecem diretrizes e requisitos para melhorar a segurança cibernética, enquanto frameworks como o NIST Framework (2018) e o *Cybersecurity and Resilience Framework* abordam a gestão de riscos e a resiliência dos sistemas. A integração de novas tecnologias e a ênfase na dimensão cognitiva do trabalho exigem solidez, resiliência e integração da estratégia organizacional para proteger toda a cadeia de valor na Indústria 4.0. A implementação dessas práticas de segurança é essencial para mitigar os riscos e garantir a continuidade das operações em um ambiente cada vez mais digital e interconectado (Azambuja e Almeida, 2021).

Portanto, a Indústria 4.0 é sustentada por um conjunto de tecnologias inter-relacionadas que, juntas, transformam o ambiente industrial em um ecossistema altamente eficiente, flexível e seguro. A integração da IoT, IA, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética cria uma base tecnológica que possibilita a inovação contínua e a otimização dos

processos industriais, garantindo a competitividade das empresas no mercado global. As implicações dessas tecnologias são vastas e abrangentes, impactando desde a eficiência operacional até a segurança e a inovação nas indústrias (Azambuja e Almeida, 2021).

Os autores supracitados destacam que a Indústria 4.0, com sua capacidade de gerar um volume massivo de dados através de tecnologias como a IoT, necessita de uma estrutura de governança de dados para que esses dados possam ser transformados em um ativo estratégico. A governança de dados é essencial para garantir que os dados sejam não apenas coletados e armazenados, mas também organizados, protegidos, compreendidos e analisados de forma a gerar insights que impulsionem a tomada de decisões, a otimização de processos e a inovação. Sem uma governança de dados eficaz, o potencial da Indústria 4.0 pode ser desperdiçado, com dados se tornando um fardo em vez de um recurso valioso. O artigo reforça que a governança de dados é o alicerce que permite que as empresas extraiam valor real da revolução digital na indústria, transformando dados em conhecimento e conhecimento em vantagem competitiva (Auletta *et al.*, 2023).

2.4 Soluções 5G em MIMO Massivo

MIMO (Multiple Input Multiple Output) é uma tecnologia que utiliza múltiplas antenas para transmissão e recepção de dados, melhorando a qualidade e a velocidade da comunicação. No contexto da evolução do 4G para o 5G, o MIMO de dimensão completa surgiu como um aprimoramento, permitindo o uso de um número expressivo de antenas (até 64) para direcionar o sinal em diferentes direções (beamforming), atendendo múltiplos usuários de forma mais eficiente. Essa tecnologia MIMO de dimensão completa foi um passo importante para o desenvolvimento do MIMO. O MIMO massivo é fundamental para a tecnologia 5G, permitindo atender a muitos dispositivos simultaneamente, como nas aplicações de Internet das Coisas (IoT) (Alexandre, 2020).

O estudo de mestrado aborda o papel crucial das antenas MIMO (Multiple Input Multiple Output) no desenvolvimento da tecnologia 5G, especialmente na faixa de 3,5 GHz, que é uma das frequências-chave para a implementação do 5G no Brasil. A autora destaca que as antenas MIMO, com sua capacidade de transmitir e receber múltiplos fluxos de dados simultaneamente, são essenciais para atender às demandas de alta velocidade e baixa latência da quinta geração de redes móveis. A pesquisa se concentra no projeto, simulação e construção de protótipos de antenas MIMO 2x2 com diferentes geometrias (retangular, circular e dipolo). A análise do desempenho dessas antenas, considerando parâmetros como frequência de ressonância, coeficiente de correlação de envelope (ECC) e ganho de diversidade, revela a influência da geometria no comportamento das antenas. O estudo também explora os desafios de isolamento entre as antenas em sistemas MIMO, especialmente em projetos compactos, como no caso da antena dipolo duplo T. A autora conclui que as antenas MIMO com geometrias circular e retangular, com ganho de diversidade superior a 8 dB em toda a faixa de operação e ECC abaixo de 0,5, são adequadas para aplicações em terminais móveis 5G (Assis, 2022).

2.5 Soluções 5G em Computação de Borda com: Escalonamento em Nuvem, Processamento de Dados, Aprendizagem de Máquina e Monitoramento Inteligente em Tempo Real

A computação de borda móvel (MEC) desempenha um papel crucial na realização dos objetivos das redes 5G de Enhanced Mobile Broadband (eMBB), Ultra Reliable Low Latency Communications (URLLC) e Massive Machine Type Communications (mMTC). A MEC aproxima o processamento e armazenamento de dados dos usuários finais, reduzindo a latência e melhorando a experiência do usuário, além de possibilitar novas aplicações que exigem respostas em tempo real. A combinação da MEC com o aprendizado profundo (Deep Learning) permite a automação do gerenciamento de redes, prevendo o comportamento do usuário e otimizando a alocação de recursos, o que pode levar a custos operacionais mais baixos para as empresas de telecomunicações e a uma melhor experiência para o usuário (McClellan *et al.*, 2020).

O 5G impulsiona a computação de borda (MEC) na Indústria 4.0, aproximando o processamento de dados do usuário final e reduzindo a dependência de data centers remotos. A MEC, combinada com algoritmos de aprendizado profundo (Deep Learning), permite a automação da gestão de recursos e a otimização do desempenho da rede em tempo real. Aplicações como robôs e veículos autônomos beneficiam-se do alto desempenho e da confiabilidade proporcionados pela MEC e pelo 5G. O DL, utilizando algoritmos como DNNs, RNNs e DRL, analisa grandes volumes de dados, podendo prever demandas e tomar decisões em tempo real, otimizando a gestão de redes. Nesse caso o 5G é fundamental para o DL e a MEC, permitindo a transmissão rápida de dados e o treinamento de modelos complexos em tempo real (McClellan *et al.*, 2020).

2.6 Soluções 5G em Fatiamento de Rede com IA e IoT

Embora o conceito de fatiamento de rede (network slicing) não seja exclusivo do 5G, tendo sido utilizado de forma limitada em redes 4G, a quinta geração de redes móveis (5G) otimizou essa tecnologia, proporcionando flexibilidade, escalabilidade e personalização sem precedentes, tornando-a uma ferramenta para o contexto da Indústria 4.0. O 5G, com sua arquitetura definida por software (SDN) e a virtualização de funções de rede (NFV), permite a criação de redes virtuais isoladas de forma mais dinâmica, flexível e granular, com características personalizadas para cada aplicação e serviço, garantindo a qualidade e a segurança cibernética das comunicações. O estudo realizado por meio de um simulador exemplifica essa transformação ao propor o arcabouço SELECTOR, que utiliza o fatiamento de rede do 5G e o aprendizado de máquina para garantir a qualidade da experiência (QoE) em serviços de telemedicina em ambulâncias, demonstrando o potencial do 5G para solucionar problemas complexos de comunicação em tempo real, cruciais para aplicações de missão crítica) Silva, 2023).

2.7 5G e a convergência com a tecnologia de fibra óptica para transmissão de dados sem fio

O papel central do 5G é visto na convergência entre redes sem fio e de fibra óptica, utilizando um sistema que integra um transmissor de múltiplos comprimentos de onda (MWT) em uma plataforma de fosfeto de índio (InP) para modular e transmitir sinais 5G em diferentes

comprimentos de onda ópticos. Ao otimizar o uso da fibra óptica, o sistema garante a transmissão efetiva dos sinais 5G, com o objetivo de alcançar taxas de dados da ordem de Gbits/s. Essa abordagem inovadora melhora o projeto de transmissores, reduz os custos de implementação da rede 5G e demonstra o potencial do 5G para revolucionar a comunicação sem fio através da sinergia com a tecnologia de fibra óptica. A pesquisa contribui para o desenvolvimento de sistemas de comunicação mais eficientes e de alta capacidade, explorando a convergência entre o 5G e a tecnologia de fibra óptica. Seus resultados demonstram o potencial do 5G para revolucionar a comunicação sem fio, abrindo caminho para novas aplicações e serviços que exigem altas taxas de dados e baixa latência (Cunha *et al.*, 2022).

A convergência entre o 5G e a fibra óptica surge como uma oportunidade crucial para o desenvolvimento da infraestrutura das redes 6G, permitindo a criação de redes móveis de alta capacidade e baixa latência. A fibra óptica, com sua vasta largura de banda, oferece o potencial para transmissão de dados em altíssima velocidade, complementando as tecnologias sem fio, como as ondas milimétricas (mmWaves), que possibilitam o acesso sem fio de alta performance. No entanto, a integração dessas tecnologias de forma eficiente apresenta desafios, como a necessidade de lidar com a dispersão cromática e os efeitos não lineares nos componentes eletro-ópticos. A superação desses desafios, juntamente com a exploração da arquitetura C-RAN e tecnologias como o Radio over Fiber (RoF), será fundamental para que a convergência óptica-sem fio atinja todo seu potencial e possibilite um futuro de conectividade ultrarrápida e baixa latência, abrindo portas para um mundo ainda mais conectado e digital (Filgueiras *et al.*, 2023).

2.8 Impactos do 5G no atual cenário da Quarta Revolução Industrial, a experiência do Consumidor 4.0 e a segurança cibernética

O consumidor 4.0 destaca-se por buscar processos instantâneos e desejar agilidade (Costa, Oliveira e Lepre, 2020)

A preocupação da autora com a segurança cibernética e o direito do consumidor 4.0, um indivíduo hiper conectado e ávido por experiências instantâneas de consumo e personalizadas, impulsionado pelas tecnologias da Quarta Revolução Industrial, evidencia que a busca por agilidade e conveniência acaba transferindo para as empresas fornecedoras de serviços online a responsabilidade de proteger as informações pessoais do consumidor (Fisciletti, 2021).

A introdução do 5G, torna esse tema ainda mais relevante. A rede de alta velocidade amplia a superfície de ataque e a quantidade de dados trafegados, aumentando o risco de fraudes. O 5G, no entanto, também oferece oportunidades para fortalecer a proteção do consumidor, por meio de criptografia robusta, segurança por design, autenticação forte e sistemas de detecção de ameaças em tempo real. O autor enfatiza o potencial da tecnologia 5G em revolucionar a experiência do consumidor 4.0, impulsionada pela Inteligência Artificial (IA) e aprendizado de máquina (ML) (Figueiredo, 2021).

2.9 Oportunidades e Desafios da implementação do 5G

O 5G já está em atividade no Brasil desde junho de 2022, e já existem estudos falando sobre os possíveis benefícios do 5G em diversas áreas, como saúde, logística, entretenimento,

agricultura de precisão, inclusive na indústria.

Esta pesquisa encontrou estudos feitos em simuladores, laboratórios e ambientes controlados, evidenciando oportunidades e desafios dessa implementação e por meio dela detectou-se uma lacuna de evidências em ambientes reais. Isso se deve ao alto custo de implementação, à necessidade de mão de obra qualificada e ao investimento de infraestruturas robustas. Devido ao assunto ainda ser recente, existe a ausência de artigos publicados em língua vernácula com a temática da implementação do 5G na indústria 4.0. Em nossa pesquisa observamos que já existem informações sobre a aplicabilidade do 5G, porém ainda há poucos estudos publicados sobre o uso da tecnologia na indústria 4.0.

Um exemplo de oportunidades e desafios é o estudo que destaca um marco na área da saúde brasileira: a realização da primeira cirurgia com tecnologia 5G em um hospital público do país, o Instituto do Câncer do Estado de São Paulo (ICESP). Essa conquista, viabilizada pela colaboração entre empresas de telecomunicações e o núcleo de inovação do Hospital das Clínicas, permitiu a transmissão em tempo real de sinais vitais do paciente durante o procedimento cirúrgico, abrindo portas para um acompanhamento médico mais preciso e eficiente, mesmo à distância. Os resultados positivos dessa experiência, como a ausência de interrupções na transmissão de dados via 5G em comparação com o Wi-Fi, evidenciam o potencial transformador dessa tecnologia na área da saúde, impulsionando a telemedicina e a colaboração entre especialistas, com o objetivo de aprimorar o cuidado com o paciente e otimizar os processos hospitalares. O artigo sugere que, para que o potencial do 5G na saúde seja plenamente explorado, é fundamental superar os desafios relacionados a investimentos, infraestrutura, capacitação e adaptação dos processos, de modo a democratizar o acesso a essa tecnologia e seus benefícios para toda a população (SILVA *et al.*, 2023).

Contudo, algumas informações são encontradas em sites de empresas fornecedoras de infraestrutura 5G, como Huawei e Ericsson, e operadoras parceiras, sendo escassos os artigos que demonstrem resultados investigados na indústria. Nesse caso, há uma lacuna se abrindo entre os resultados reais da aplicabilidade do 5G, principalmente na indústria 4.0, e os artigos existentes, que pouco ou nada abordam o assunto.

3 METODOLOGIA

Com o empreendimento de investigar as influências da implementação da tecnologia 5G e seus resultados operacionais e de inovação no contexto da Indústria 4.0, fez-se inicialmente um levantamento das dissertações e teses defendidas (a partir de 2018) e disponíveis nos portais científicos CAPES e Google Scholar. Sendo assim, procedimentos da pesquisa qualitativa investigativa foram utilizados, pois a pesquisa aqui descrita é essencialmente descritiva. Além disso, a pesquisa qualitativa tem como foco principal não os resultados nem o produto, mas sim a análise dos dados (Stake, 2016).

A partir deste levantamento, foram selecionados os trabalhos que continham no título, resumo e/ou palavras-chaves os termos “5G” e/ou “indústria 4.0”, além de suas correlações. Tais trabalhos selecionados compuseram o corpus de análise desta pesquisa em que, por meio da análise das considerações e resultados de cada trabalho buscou-se discutir a temática.

Isto posto, vale frisar que as argumentações e articulações aqui apresentadas estarão fundamentadas no que Almeida (2012) denomina de estado da arte, um procedimento metodológico de caráter bibliográfico que tem o desafio de mapear e de discutir uma gama

de produção acadêmica em diferentes campos do conhecimento.

Destaca-se, ainda, que a escolha metodológica de focar exclusivamente em teses e dissertações para a revisão sistemática de literatura sobre a aplicabilidade da tecnologia 5G na Indústria 4.0 foi cuidadosamente deliberada para garantir a profundidade e a relevância da pesquisa. Esta decisão baseia-se em vários fatores que asseguram a robustez e a validade dos achados. Teses e dissertações são tipicamente documentos de pesquisa mais abrangentes e detalhados, apresentando uma análise profunda e uma revisão extensa da literatura existente, oferecendo discussões mais completas e fundamentadas sobre o tema estudado. Além disso, muitos desses trabalhos contribuem com pesquisas originais e inéditas, fundamentais para capturar o estado da arte em áreas emergentes como a tecnologia 5G e sua aplicação na Indústria 4.0.

Além disso, conforme mencionado por Stake (2016, p. 47), os processos de revisão e aprovação de teses e dissertações são rigorosos, “envolvendo a supervisão e avaliação por comitês acadêmicos qualificados”. Este controle de qualidade assegura que os métodos de pesquisa empregados são sólidos e que as conclusões são derivadas de uma análise rigorosa e criteriosa. Assim, ao focar em teses e dissertações, a revisão sistemática adquire uma camada adicional de credibilidade e precisão. A delimitação do escopo da pesquisa para incluir apenas teses e dissertações permite uma concentração maior nos tópicos centrais da Indústria 4.0 e 5G, como IoT, IA, computação em nuvem e segurança cibernética. Esses documentos frequentemente abordam questões específicas e emergentes, proporcionando uma visão clara e direcionada das tendências e desafios atuais. Para isso, buscou-se publicações no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES e no Google Scholar.

Deve-se considerar, primeiramente, que o estudo objetiva investigar a aplicabilidade da tecnologia 5G na indústria 4.0. Por esta razão utilizou-se como palavras-chave no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES os seguintes vocábulos: 5G e Indústria 4.0. O Quadro 2 a seguir evidencia os resultados obtidos a partir destes termos.

Quadro 2 – Processo de seleção de Teses e Dissertações incluídas para esta revisão a partir da CAPES.

Identificação	Pesquisa no Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES utilizando as seguintes palavras-chave: 5G e Indústria 4.0, resultando num total n=3*
Triagem	Triagem de Títulos e Resumos n=3 – Artigos excluídos n=0
Elegibilidade	Avaliação do estudo na íntegra n=3 – Artigos excluídos n=0
Inclusão	Estudos incluídos para essa revisão n=3

Fonte: Elaborado pelo autor.

*n = número de publicações

Utilizou-se também o Google Scholar para a busca de publicações que tratassem sobre o tema. Ao fazer uso das mesmas palavras-chave utilizadas na CAPES obteve-se um total de 3.610 resultados. Desse modo, fez-se um refinamento na busca, já que dentre os pilares da Indústria 4.0 este estudo tem por enfoque quatro deles: IoT, IA, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética. Utilizou-se, portanto, os seguintes termos: 5G, Indústria 4.0 e IoT; 5G, Indústria 4.0 e IA; 5G, Indústria 4.0 e Computação em Nuvem e 5G, Indústria 4.0 e Segurança Cibernética / Cibersegurança. Para isso utilizaram-se os seguintes critérios de inclusão: textos completos, em língua vernácula, artigos científicos publicados em revistas especializadas, teses e dissertações. Excluíram-se publicações anteriores ao ano de 2020 e que não tratavam do uso do 5G na indústria 4.0 nos pilares citados, bem como resumos Trabalhos de Conclusão

de Curso (TCC) e monografias. É importante ressaltar que este estudo envolve a tecnologia 5G, a qual está presente no território brasileiro de forma recente, razão pela qual os estudos selecionados, devido a própria temática, são, na mesma medida, recentes.

Quadro 3 – Processo de seleção de publicações incluídas para esta revisão a partir do Google Scholar utilizando as palavras-chave 5G, Indústria 4.0 e os pilares.

PROCESSO	IoT	IA	Computação em Nuvem	Segurança Cibernética
Identificação	Total de publicações n=35	Total de publicações n=14	Total de publicações n=20	Total de publicações n=10
Triagem	Triagem de Títulos e Resumos n=35 – Artigos excluídos n=11	Triagem de Títulos e Resumos n=14 – Artigos excluídos n=9	Triagem de Títulos e Resumos n=20 – Artigos excluídos n=14	Triagem de Títulos e Resumos n=10 – Artigos excluídos n=1
Elegibilidade	Avaliação do estudo na íntegra n=24 – Artigos excluídos n=21	Avaliação do estudo na íntegra n=5 – Artigos excluídos n=4	Avaliação do estudo na íntegra n=6 – Artigos excluídos n=5	Avaliação do estudo na íntegra n=9 – Artigos excluídos n=8
Inclusão	Estudos incluídos para essa revisão n=3	Estudos incluídos para essa revisão n=1	Estudos incluídos para essa revisão n=1	Estudos incluídos para essa revisão n=1
Total de Publicações para análise	4	2	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

As publicações foram avaliadas quanto à qualidade metodológica e à relevância para o tema em questão. Este processo incluiu a análise dos métodos de pesquisa, das teorias abordadas e das evidências apresentadas. Foi realizada uma síntese das informações para destacar as contribuições significativas e as possíveis lacunas existentes.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se aqui os resultados e as discussões de trabalhos que versaram sobre a aplicabilidade da tecnologia 5G nos quatro pilares da Indústria 4.0. Na primeira base de dados (CAPES), os resultados foram:

Quadro 4 – Teses e Dissertações.

Autores	Ano	Tipo de Publicação	Área de Pesquisa
Ozias Santos da Conceição Oliveira	2021	Mestrado	Economia
Christian Mailer	2022	Mestrado	Ciências da Computação
José Marcelo de Freitas Vilela	2023	Doutorado	Engenharia da Produção

Fonte: Elaborado pelo autor.

Observa-se, a partir desses resultados, que, ao cruzar as palavras-chave 5G e Indústria 4.0, são poucas as publicações que trataram sobre o tema. O estudo de Oliveira (2021) objetivou analisar a relação entre o desenvolvimento da tecnologia 5G e a consolidação da Indústria 4.0, partindo da hipótese de que o 5G é essencial para a realização da Indústria 4.0. O estudo buscou mostrar como o 5G pode viabilizar a Indústria 4.0 e explorou a influência que os países que lideram o fornecimento da infraestrutura 5G podem ter na divisão internacional do trabalho. A pesquisa destacou a importância do 5G para a Quarta Revolução Industrial e o impacto potencial dessa tecnologia em vários setores econômicos e sociais. A metodologia adotada fundamentou-se em uma revisão da literatura sobre a tecnologia 5G e a Indústria 4.0. Desse modo, destacou os pilares da Indústria 4.0 de forma teórica.

Mailer (2022) buscou demonstrar quantitativamente como parâmetros, como frequência, largura de banda, numerologia, tamanho dos pacotes e cenários industriais (incluindo altura, distância e obstáculos), influenciam características como latência, jitter e confiabilidade na transmissão de rádio em redes 5G. O estudo buscou avaliar esses aspectos em ambientes industriais por meio de simulações detalhadas. Para alcançar esse objetivo, a metodologia adotada inclui a integração de cenários industriais no simulador de rede 5G, permitindo a criação de um modelo de simulação que refletisse condições reais de operação. O modelo foi então configurado para representar uma arquitetura 5G industrial, ajustando parâmetros cruciais como frequência, largura de banda e numerologia.

Simulações foram realizadas para medir o nível do sinal sob diferentes cenários, variando potências de transmissão e frequências. Adicionalmente, realizaram-se simulações para avaliar latência, jitter e confiabilidade da transmissão em diferentes condições. Os dados quantitativos obtidos dessas simulações foram analisados por meio de gráficos e tabelas, com o objetivo de entender a influência de cada parâmetro no desempenho da rede. A metodologia também incluiu a identificação de possíveis gargalos ou pontos críticos na arquitetura da rede, os quais podem ser melhorados ou explorados em pesquisas futuras. A discussão dos resultados das simulações permitiu compreender como diferentes parâmetros afetam a latência, jitter e confiabilidade da rede 5G. Por fim, o trabalho propõe melhorias para o software simulador e sugere novos experimentos para continuar o desenvolvimento da pesquisa (Mailer, 2022).

No que se refere aos pilares da indústria 4.0, Mailer (2022) abordou especialmente a IoT, Computação em Nuvem, Simulação e Comunicação e Redes. No caso da IoT, o estudo voltou-se para a implementação de redes 5G em ambientes industriais, o que está diretamente relacionado com a IoT, pois o 5G facilita a comunicação entre dispositivos conectados e sensores em uma fábrica. A Computação em Nuvem envolveu a simulação de redes 5G devido ao armazenamento e processamento de dados obtidos das simulações.

O estudo de Vilela (2023) examinou o impacto da tecnologia 5G e das iniciativas de Indústria 4.0 na competitividade das empresas. O objetivo foi o de estruturar um modelo que explique como essas tecnologias influenciam as relações competitivas. A pesquisa foi motivada pela expectativa de grandes transformações econômicas e pela necessidade de adaptação das empresas para aproveitar as oportunidades oferecidas pelo 5G. A metodologia incluiu uma revisão bibliográfica e uma pesquisa empírica para identificação do impacto do 5G na indústria. O estudo concluiu que a introdução das tecnologias 5G e das iniciativas da Indústria 4.0 teve um impacto significativo na competitividade das empresas, especialmente naquelas de mercados emergentes. Com a evolução das redes 5G, que proporcionavam alta largura de banda e conectividade de baixa latência, as empresas tiveram a oportunidade de investir em suas infraestruturas digitais para aproveitar os benefícios da nova era de conectividade. O 5G visava fornecer uma solução de rede abrangente, atendendo a diversas indústrias verticais como automotivo, energia, saúde e produção industrial.

Os estudos revisados destacam a importância do 5G para a Indústria 4.0 de diferentes formas. Oliveira (2021) argumentou que o 5G é fundamental para a implementação da Quarta Revolução Industrial e sua influência econômica global. Mailer (2022) realizou simulações para avaliar o desempenho da rede 5G em ambientes industriais, identificando parâmetros críticos para sua eficácia. Vilela (2023) concluiu que o 5G melhora significativamente a competitividade das empresas, especialmente em mercados emergentes, oferecendo uma conectividade avançada que potencializa a adaptação e transformação digital das indústrias. Esses estudos mostram que o 5G é fundamental para o avanço da Indústria 4.0 e para a competitividade empresarial. É importante ressaltar que a temática foi abordada por diferentes áreas (Economia, Ciências da Computação e Engenharia da Produção), o que mostra a relevância dos estudos nos mais variados contextos. O número de publicações encontradas também evidencia a necessidade de estudos que busquem avaliar a implementação do 5G especificamente na Indústria 4.0 que, apesar de ter se mostrado promissor a partir destes estudos revisados, existe uma lacuna para identificar de forma mais robusta, os resultados da implementação desta tecnologia.

No que se refere aos achados do Google Scholar, tem-se o seguinte:

Quadro 4 – Publicações.

Autores	Ano	Tipo de Publicação	Revista Periódico Repositório	Pilar da Indústria 4.0	Metodologia Utilizada	Objetivos
João, Souza e Serralvo	2019	Artigo	Cadernos EBAPE.BR	IoT	Análise bibliométrica e análise do conteúdo qualitativa	Analisar a literatura acadêmica atual sobre cidades inteligentes (Cis) e IoT.
Mai e Spohn	2023	Artigo	Revista Brasileira de Computação Aplicada	IoT	Mapear soluções que utilizem IoT na área de restaurantes.	a IoT, pode se tornar uma ferramenta útil para o desenvolvimento de restaurante
Ferrari, Bertini, Battistelle e Gobbo Junior	2021	Artigo	Repositório Institucional da UFSC	IoT	Revisão sistemática da literatura	Analisar artigos de pesquisa que tratam da sinergia entre a Indústria 4.0 e a sustentabilidade, com um foco específico nas relações entre a Internet das Coisas (IoT) e a proteção ambiental.
Henning, Santos, Cunha, Silva, Souza	2023	Artigo	Repositório Institucional da UFS	IA	Revisão sistemática da literatura	Investigar os principais impactos da IA na educação superior.
Estorilio, Maia e Maia	2022	Artigo	Editora Científica Digital	IoT, IA, Computação em Nuvem e Segurança Cibernética	Revisão sistemática da literatura	Caracterizar as pesquisas existentes sobre a Indústria 4.0, analisando a frequência de publicações e os principais meios de publicação

Fonte: Elaborado pelo autor.

João, Souza e Serralvo (2019) concluíram que a relação CIs e IoT ainda é pouco explorada. A literatura mais proeminente entre CIs e IoT concentrou-se em países avançados com longa tradição de inovação e pesquisa em tecnologia da informação (TI).

Segundo Mai e Spohn (2023), apesar da importância do setor de restaurantes, presente em todos os 5570 municípios brasileiros, há problemas recorrentes, tais como desperdício alimentar, segurança alimentar, falta de mão de obra qualificada, consumo elevado de energia, gerenciamento de estoque e controle e monitoramento de equipamentos. A utilização de tecnologias para a automação de processos, a coleta de dados e o suporte na tomada de decisões pode possibilitar o desenvolvimento e gerenciamento desses estabelecimentos. Os resultados, obtidos por meio de uma revisão sistemática de literatura, mostram que a aplicação de tecnologias em evolução, como a IoT, pode se tornar uma ferramenta útil para o desenvolvimento de restaurantes, contribuindo para a eficiência e sustentabilidade do setor (Mai e Spohn, 2023).

O estudo de Ferrari *et al.* (2021) teve por objetivo identificar estudos que tratam da relação entre a IoT e a proteção ambiental, sintetizando os principais achados sobre a sinergia entre esses conceitos. A revisão sistemática da literatura analisou 14 artigos, evidenciando que a IoT é um meio essencial para promover a proteção ambiental e a eficiência empresarial, ao utilizar recursos de maneira otimizada, gerenciar resíduos, normalizar o monitoramento ambiental e responder rapidamente a emergências. A IoT também permite a coleta precisa de dados, o monitoramento dinâmico, a redução de custos e análises em tempo real, auxiliando na restauração ecológica e na formulação de políticas. No entanto, o estudo identificou barreiras como a integração tecnológica, o comprometimento dos líderes e a falta de regulamentação ambiental.

Esses estudos mostraram o uso da IoT em ambientes distintos, como no setor de bares e restaurantes e no contexto da sustentabilidade, evidenciando a tecnologia como potencial para auxiliar os empreendimentos na resolução de problemas específicos de suas áreas. No entanto, no que se refere ao 5G, somente fizeram compreender que a IoT se trata de uma tecnologia em evolução e que o 5G se trata de um protocolo de comunicação móvel que assegura este desenvolvimento.

Conforme observado no estudo de Henning *et al.* (2023), a educação superior está se alinhando com os princípios da Indústria 4.0 por meio da automatização e da aplicação de Inteligência Artificial (IA). Instituições de ensino estão utilizando a IA para personalizar o aprendizado, automatizar processos administrativos e fornecer feedback em tempo real, refletindo práticas semelhantes àquelas que definem a Indústria 4.0. Além disso, o uso de plataformas de aprendizado adaptativo e análise de dados permitem ajustar o conteúdo e a pedagogia às necessidades individuais dos alunos, o que caracteriza a personalização em larga escala. O ensino a distância, os simuladores virtuais e as plataformas de e-learning são exemplos de como a educação superior está integrando tecnologias digitais para criar ambientes de aprendizado mais flexíveis e acessíveis.

Estorilio, Maia e Maia (2022) abordam a Computação em Nuvem como uma tecnologia fundamental para a Indústria 4.0, destacando várias questões relevantes. A Computação em Nuvem facilita a integração de sistemas fisicamente separados, o que é essencial para a implementação de soluções na Indústria 4.0, permitindo o fluxo de dados online e a conectividade entre diferentes partes da cadeia produtiva. Além disso, oferece suporte dinâmico, permitindo que as empresas acessem e processem dados de qualquer localização, contribuindo para a flexibilidade e a eficiência operacional, características desejadas na produção moderna. No entanto, o estudo também aponta desafios associados

à adoção da Computação em Nuvem, como a qualidade dos serviços e a proteção da propriedade intelectual, que podem desacelerar a implementação de soluções baseadas em nuvem na manufatura. A importância da segurança cibernética é destacada, pois a proteção de dados e a segurança das informações armazenadas na nuvem são cruciais para garantir a confiabilidade dos processos produtivos. Em resumo, a Computação em Nuvem é vista como uma peça-chave na transformação digital da indústria, oferecendo vantagens significativas, mas também apresentando desafios que precisam ser abordados para sua implementação eficaz.

O estudo fornece dados e informações sobre a Computação em Nuvem no contexto da Indústria 4.0, revelando que, embora a Computação em Nuvem seja um dos pilares da Indústria 4.0, aparece em menor número nas publicações analisadas, com cerca de 5% dos artigos focando nesse tema específico. Desafios como a qualidade dos serviços e a proteção da propriedade intelectual são identificados como grandes obstáculos que podem desacelerar a adoção da Computação em Nuvem. A tecnologia é destacada pela sua capacidade de facilitar a integração de sistemas e a flexibilidade operacional, permitindo o acesso e processamento dinâmico de dados, o que é essencial para a eficiência na produção. A importância da segurança cibernética também é enfatizada, destacando a necessidade de proteger dados e informações armazenadas na nuvem para garantir a confiabilidade dos processos produtivos.

Em relação à IoT e à IA, o estudo aponta que a IoT é um dos temas mais recorrentes nas publicações sobre Indústria 4.0, representando cerca de 17% dos artigos analisados. A IoT é mencionada por suas aplicações na logística e flexibilidade dos sistemas ciberfísicos, além de ser vista como um motor para a inovação e eficiência na indústria, permitindo a coleta e a análise de dados em tempo real. Embora o estudo não detalhe a IA tão extensivamente quanto a IoT, a IA é considerada uma tecnologia complementar à IoT, na Indústria 4.0. A IA pode analisar dados coletados por dispositivos da IoT, permitindo a automação inteligente e a otimização de processos, e sua integração com a IoT pode melhorar a tomada de decisões, proporcionando insights valiosos para a gestão e a operação das empresas. Desse modo, a IoT é um componente central da Indústria 4.0, enquanto a IA é vista como uma tecnologia que complementa e potencializa as capacidades da IoT, embora não seja discutida em profundidade no estudo.

O estudo aborda a Segurança Cibernética no contexto da Indústria 4.0, destacando vários pontos importantes. A Segurança Cibernética é definida como a prevenção e proteção de dados em equipamentos industriais, que são vulneráveis a ataques cibernéticos. Esses ataques podem impactar todo o processo produtivo, tornando a segurança cibernética uma preocupação crítica para as empresas que adotam tecnologias da Indústria 4.0. O estudo menciona que os riscos associados à segurança cibernética incluem a perda de confidencialidade, com o risco de divulgação de dados; a perda de integridade, com o risco de corrupção ou modificação de registros e dados e a perda disponibilidade de informações ou sistemas de informação, com o risco de negação de serviço. Esses riscos podem ter consequências severas para a operação e para a reputação das empresas. É enfatizado que as organizações devem conhecer e gerenciar as vulnerabilidades em seus sistemas. Isso envolve a inclusão da avaliação da segurança cibernética dos processos no planejamento, determinando indicadores para identificar deficiências e vulnerabilidades nos dados. A segurança cibernética é crucial para garantir a confiabilidade do processo produtivo, com sistemas de dados mais seguros ajudando a proteger as operações e a integridade das informações, o que é essencial para a continuidade e a eficiência das atividades industriais. Em resumo, a Segurança Cibernética é apresentada como um aspecto vital da Indústria 4.0,

com ênfase na necessidade de proteger os sistemas e dados contra ameaças cibernéticas, gerenciar vulnerabilidades e garantir a confiabilidade dos processos produtivos (Estorilio, Maia e Maia, 2022).

Apesar da escassez de estudos empíricos na literatura acadêmica, a implementação do 5G na Indústria 4.0 já é uma realidade. Empresas como Nestlé e Huawei têm investido em projetos práticos, demonstrando que a aplicação do 5G está avançando rapidamente. A Nestlé, por exemplo, implementou a primeira rede privada 5G na América Latina em sua fábrica em Toluca, México, com o objetivo de aumentar a eficiência e a produtividade da produção (Ericsson, 2022). Já a Huawei inaugurou a primeira fábrica inteligente de manufatura do Brasil conectada à rede 5G, impulsionando a automação e a digitalização da produção (Huawei, 2022). A Nokia também tem explorado o potencial do 5G na indústria automotiva, desenvolvendo soluções para fábricas inteligentes e conectadas (Nokia, s.d.). Esses exemplos ilustram o potencial do 5G para transformar a indústria e a necessidade de a pesquisa acadêmica acompanhar esse ritmo, focando em estudos empíricos, tanto no contexto brasileiro quanto internacional, de forma que possam gerar insights relevantes para as empresas e para a sociedade.

5 CONCLUSÃO

A quinta geração de telefonia móvel (5G) desponta como um acelerador da Indústria 4.0, com potencial para revolucionar diversos setores. Suas características únicas, como alta velocidade, baixa latência e conectividade massiva, viabilizam a integração de dispositivos IoT, a coleta e análise de dados em tempo real, a manutenção preditiva e a otimização das cadeias de suprimentos. O 5G não apenas potencializa a eficiência e a produtividade, mas também serve como alicerce para aplicações avançadas de IA e Computação em Nuvem, além de reforçar a segurança cibernética.

No entanto, a implementação do 5G não está isenta de desafios, como a necessidade de infraestrutura robusta, espectro de radiofrequência adequado e a segurança cibernética. Adicionalmente, os custos elevados e a complexidade regulatória representam obstáculos a serem transpostos.

A pesquisa aqui apresentada revela uma lacuna crucial: enquanto a literatura acadêmica concentra-se em estudos teóricos, análises laboratoriais e simulações em ambientes controlados, empresas como a Nestlé e a Huawei já estão implementando o 5G em suas fábricas. Essa disparidade entre a teoria e a prática destaca a necessidade urgente de pesquisas empíricas que investiguem a fundo a implementação do 5G em ambientes industriais reais, explorando seus impactos tangíveis na produtividade, eficiência, inovação e segurança.

É imperativo que a pesquisa acadêmica acompanhe o ritmo da inovação tecnológica, investigando como o 5G está sendo aplicado na prática e quais são os resultados concretos. Somente com dados empíricos e análises aprofundadas será possível fornecer informações relevantes para que empresas e formuladores de políticas públicas tomem as decisões estratégicas sobre a adoção e o desenvolvimento do 5G, impulsionando a transformação digital da indústria e contribuindo para um futuro mais conectado, eficiente e inovador.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, L. C. *et al.*, Indoor coexistence analysis among 5G new radio, LTE-A and NB-IoT in the 700 MHz band. **IEEE Access**, v. 8, p. 135000-135010, 2020. DOI: 10.1109/ACCESS.2020.3011267. Acesso em: 10 mai. 2023.
- ALMEIDA, A. T. de S. B. de; GENNARO, D. R. de; IBUSUKI, U. Estudo do nível de maturidade Lean e Indústria 4.0 em empresas brasileiras. **Revista Brasileira de Mecatrônica**, São Caetano do Sul, SP, v. 6., n. 1, p.48-78, jul.-set., 2023. Disponível em: <https://revistabrmecatronica.sp.senai.br/ojs/index.php/revistabrmecatronica/article/view/171> . Acesso em: 24 jul. 2024.
- ANATEL. **5G completa dois anos de implantação no Brasil**. Disponível em <https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/noticias/5g-completa-dois-anos-de-implantacao-no-brasil>. Acesso em: 10 mai. 2023
- ASSIS, Katiane Estevam Gurgel de. **Antenas MIMO na frequência sub 6-GHz aplicado à tecnologia 5G**. 2022. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Mossoró, 2022. Disponível em: <https://ppgee.ufersa.edu.br/wp-content/uploads/sites/61/2023/03/Katiane-Estevam-Gurgel-de-Assis.pdf> . Acesso em: 10 mai. 2023.
- AULETTA, Guilherme Bellido; SANTOS, José Roberto dos; CAMUSSO, Daniel. Governança de dados e a Indústria 4.0. **Revista Científica SENAI-SP - Tecnologia, Inovação & Educação**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 01-12, nov. 2022-jan. 2023. Disponível em: <https://periodicos.sp.senai.br/index.php/rcsenaisp/article/view/23> . Acesso em: 24 jul. 2024.
- AZAMBUJA, A. J. G. de, ALMEIDA, V. R. Um estudo bibliométrico das publicações sobre Segurança Cibernética na Indústria 4.0. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, 2021. p. e12937. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i3.12937>. Acesso em: 10 mai. 2023.
- BATTISTELLE, Rosane Aparecida Gomes; BERRETINI, Alessa; FERRARI, Aline Gabriela; GOBBO JUNIOR, José Alcides. **Indústria 4.0 e sustentabilidade**: uma aplicação da Internet das Coisas (IoT) na proteção ambiental. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/228929>. Acesso em: 24 jul. 2024.
- BUYA, R.; YEO, C. S.; VENUGOPAL, S. Market-oriented cloud computing: Vision, hype, and reality for delivering IT services as computing utilities. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON HIGH PERFORMANCE COMPUTING AND COMMUNICATIONS, 10. Sept. 25-27, 2008, Dalian, China. p. 5-13. **[Proceedings...]**. Disponível em <https://doi.org/10.48550/arXiv.0808.3558>. Acesso em 10 mai. 2023.

COSTA, F. J., OLIVEIRA, A. B., & LEPRE, L. F. O consumidor 4.0 e os novos desafios do marketing digital: um estudo sobre as características e comportamentos de compra do consumidor hiperconectado. **Revista de Administração da UFSM**, v. 13, n. 3, p. 544-564. 2020.

CUNHA, Matheus Sêda Borsato. **Sistema Ópticos-Sem fio 5G NR com um Transmissor de Múltiplos Comprimentos de Onda em Óptica Integrada**. 2022. 142 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2022. Disponível em https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3887/1/Tese_2022011.pdf. Acesso em 10 mai. 2023.

ELIJAH, O. A., RAHMAN, T., IMRAN, M. A., & MUMTAZ, S. A comprehensive survey on 5G-enabled massive MIMO: from key technologies to future research challenges. **IEEE Access**, 10, 10135-10181. 2022. Disponível em <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8747744/>. Acesso em 10 mai. 2023.

ESTORILIO, Carla C. A.; MAIA, Vinicius Sprada; MAIA, William Alves. Oportunidades de pesquisa relacionadas à Indústria 4.0: uma revisão sistemática. *In: Open Science Research III. Científica Digital*, 2022. v. 3. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/articles/220408549.pdf>.

FISCILETTI, Rossana. **A quarta revolução industrial e os novos paradigmas do direito do consumidor**. 2. ed. São Paulo: Literare Books, 2021.

FIGUEIREDO, A. C. 5G e a revolução na experiência do consumidor 4.0: Um estudo sobre a inteligência artificial e o aprendizado de máquina na personalização e otimização de serviços. **Revista de Administração e Inovação**, v. 18, v. 2, p. 157-175. 2021.

FILGUEIRAS, H. R. D.; LIMA, E. S.; CUNHA, M. S. B. et al. Wireless and Optical Convergent Access Technologies Toward 6G. **IEEE Access**, v. 11, p. 9232-9259, 2023. DOI: 10.1109/ACCESS.2023.3239807. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10018431>. Acesso em: 15 ago. 2024.

JOÃO, Belmiro do Nascimento; SOUZA, Crisomar Lobo de; SERRALVO, Francisco Antonio. A systematic review of smart cities and the internet of things as a research topic. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 17, n. 4, p. 1115–1130, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cebape/a/mBqjGxPSbRKPcXcS99z8LrD/?format=html&stop=next&lang=pt#>.

HENNING, Mauricio; SANTOS, Julius Diego de France; CUNHA, Cristiano J. Castro de Almeida; SILVA, Solange Maria da; SOUZA, João Artur de. Impactos da inteligência artificial na educação superior: uma revisão da literatura. *In: COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GESTÃO UNIVERSITÁRIA*, 22., Florianópolis, 15 dez. 2023. [Anais ...]. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/253863>. Acesso em: 11 ago. 2024.

LIMA, J. C. C de. **Garantia de QoS no núcleo da rede móvel celular de quinta geração utilizando redes definidas por software**. 2019. 46 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/58628/3/2019_dis_icclima.pdf. Acesso em: 10 mai. 2023.

LUCCA, J. de; MAURO, P. S. G. Desafios da tecnologia 5G. **Revista Interface Tecnológica**, v. 17, n. 1, p. 29–39, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/708>. Acesso em 10 mai. 2023.

MAGRANI, E. **A internet das coisas**. Niterói: Cândido, 2021.

MAI, N. J.; SPOHN, M. A. Revisão sistemática de internet das coisas aplicada em restaurantes e bares. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 15, n. 3, p. 48-62, 2023. DOI: 10.5335/rbca.v15i3.14931. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rbca/article/view/14931>. Acesso em: 24 jul. 2024.

MAILER, C. **Desenvolvimento e análise de um modelo de simulação para arquiteturas 5G industriais**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Pós-Graduação em Ciência da Computação, Florianópolis, 2022, 83 p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/244587/PGCC1227-D.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

MCCLELLAN, J. H., PARKS, T. W., & RABINER, L. R. **A tutorial on multirate signal processing**. In: *Classic papers in digital signal processing*. pp. 451-495, 2020. Springer, Cham.

OLIVEIRA, Ozias Santos da Conceição. **Redes de comunicações móveis 5G: Contextualização a partir de uma revisão da literatura**. 2021. 128 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Araraquara, 2021. Disponível em: https://economia_2021-10-21_ozias_santos_da_conceicao_oliveira.pdf

PNAD Contínua. **Acesso à internet e à televisão e posse de telefone móvel celular para uso pessoal 2022 / IBGE, Coordenação de Pesquisas por Amostra de Domicílios**. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=2102040>

PRESTES, E. G. A geopolítica digital do 5G: elementos para compreender o desenvolvimento tecnológico chinês da quinta geração de telefonia móvel. **Geosp**, v. 26, n. 2, e-194823, ago. 2022. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geosp/article/view/194823>. Acesso em: 10 mai. 2023.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial Intelligence: a modern approach**. 3. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2016.

SACOMANO, J. B. *et al.* **Indústria 4.0**. São Paulo: Blucher, 2018.

SILVA, Felipe Sampaio Dantas da. **Controle de Mobilidade Inteligente Orientado por Cloud-Network Slicing em Infraestruturas 5G**. Orientador: Dr. Augusto José Venâncio Neto. 2023. Tese (Doutorado em Ciência da Computação) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023. 99p. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/handle/123456789/57352>. Acesso em: 10 mai. 2023.

SPADINGER, R. Implementação da tecnologia 5G no contexto da transformação digital e indústria 4.0. **Naciones Unidas Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)**, number 47095 edited by Cepal. Disponível em <https://ideas.repec.org/b/ecr/col013/47095.html>. Acesso em: 10 mai. 2023.

STAKE, R. E. **Pesquisa qualitativa: estudo de caso**. Porto Alegre: Penso, 2016.

UGUETTO, T. C.; LIMA, F. Conectividade de equipamentos de manufatura à uma rede 5G. **X Simpósio de Iniciação Científica, Didática e de Ações Sociais da FEI**. Disponível em https://fei.edu.br/sites/sicfei/artigos2022/SICFEI_2022_paper_49.pdf. Acesso em 10 mai. 2023.

VILELA, J. M. de. **Avaliação sobre os impactos da tecnologia 5G e das iniciativas de Indústria 4.0 na relação e na competitividade das empresas**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Fluminense, Pós-Graduação em Ciência da Computação, Niterói, 2023, 237 p. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/30602/Tese%20Defesa%20Doutorado%20josemarcelo.vilela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

XU, L. D.; HE, W.; LI, S. Internet of Things in Industries: a survey. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 10, n. 4, p. 2233-2243, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270742269_Internet_of_Things_in_Industries_A_Survey. Acesso em 10 mai. 2023.

YAMADA, V., MARTINS, L. M. Indústria 4.0: um comparativo da indústria brasileira perante o mundo. **Revista Terra & Cultura: Cadernos De Ensino E Pesquisa**, v. 34, p. 95-109. 2019. Disponível em: <http://publicacoes.unifil.br/index.php/Revistateste/article/view/1011/947>

WANG, J. *et al.* **O lar do futuro na Era 5G: Novas estratégias para uma vida hiperconectada** 1 ed. UBK Publishing House, 2020.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que possibilitaram a realização do curso de pós-graduação em Indústria 4.0, oferecido em Ribeirão Preto com o credenciamento da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica, em especial aos professores Reginaldo Dias de Souza, Valdeir Donizete Borges, Valter Sampaio de Sena, Elias Dias Pereira, Daniel Octávio Tambasco Bruno e Jorge Luiz Athayde. Este presente artigo, que trata da Tecnologia 5G e a Indústria 4.0, é fruto do conhecimento adquirido durante o curso e das extensas pesquisas realizadas posteriormente.

Sobre os (as) Autores (as):

ⁱ João Victor Delomo Luque



Pós-graduado em Indústria 4.0 (2024) pela Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica e MBA em Gestão de Projetos pela Universidade Pitágoras Unopar Anhanguera (2024). Graduado em Engenharia de Controle e Automação pela Faculdade Anhanguera de Ribeirão Preto (2016). Atualmente é Especialista em Tecnologia pelo Instituto Senai de Tecnologia, atuando nos Programas de atendimento a indústria como: Jornada de Transformação Digital, Novo Brasil Mais Produtivo e Rota 2030. Possui experiência nas áreas de Indústria 4.0, Lean Six Sigma, Engenharia da Qualidade e Liderança de Processos de Produção e Logística <https://orcid.org/0000-0002-2205-6019>

ⁱⁱ Daniel Otávio Tambasco Bruno

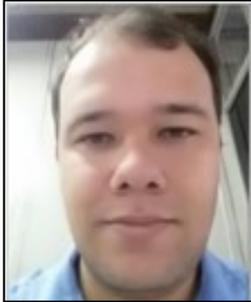


Doutorando e Mestre em Engenharia da Informação pela Universidade Federal do ABC. Especialista em Banco de Dados pela Universidade de Ribeirão Preto (2007) e Especialista em Educação à Distância pela Universidade Paulista (2012). Possui graduação em Análise de Sistemas (2003). Atualmente é Professor dos cursos de Engenharia de Controle e Automação, Tecnólogo em Mecatrônica e Tecnólogo em Análise e Desenvolvimento de Sistemas da Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica industrial. Possui experiência na área de Processamento de Imagens Médicas, Inteligência Artificial, Redes de Computadores e Computação em Nuvem <https://orcid.org/0000-0002-9007-338X>

ⁱⁱⁱ Juliane de Almeida Crispim



Instrutora de Formação Profissional III na área da Saúde e Segurança do Trabalho. Doutora e Mestre em Ciências pelo Programa de Pós-Graduação Enfermagem em Saúde Pública da Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo. Bacharel e Licenciada em Enfermagem (2010), graduada pela USP. Pesquisadora junto ao Grupo de Estudos Epidemiológico-Operacionais em Tuberculose (GEOTB) <https://orcid.org/0000-0003-4642-9075>

iv José Roberto dos Santos

Docente do ensino superior, graduação e pós-graduação na Faculdade SENAI de Tecnologia em Mecatrônica na Faculdade SENAI de Tecnologia Mecatrônica. Possui Pós-graduação em Segurança da Informação pela Uninove (2016), graduação em Tecnologia de Informação e bacharel em Sistema da Informação (2009), além de superior em Automação Industrial. Possui experiência nas áreas de Segurança da Informação, Administração de Ambientes de Redes Windows e Linux, Automação Industrial <https://orcid.org/0009-0001-0601-8469>

v Victor Pereira Bernardes

Supervisor de Projetos e Tecnologia no Senai São Paulo, pós-graduado em Gestão Estratégica de Negócios (Conquer Business School), Engenharia de Petróleo – UniSantos (Universidade Católica dos Santos), Lean Six Sigma Green Belt – MF Treinamentos, Design Thinker – FiberCastell, Marketing Digital – ESPM/ DMI (Digital Marketing Institute). Possui experiência em Mapeamento em Digitalização e Indústria 4.0, Lean Manufacturing, Supervisão e Gestão em Projetos e Gestão de FPSO (Floating Production Storage and Offloading) – Bacia de Santos <https://orcid.org/0009-0009-5244-357>