

INDÚSTRIA 4.0 – COMO OS DISPOSITIVOS CONECTADOS ESTÃO TRANSFORMANDO AS FÁBRICAS

1. INTRODUÇÃO

Assim como os dispositivos móveis (smartphones e tablets) já são indispensáveis no cotidiano da humanidade, a inserção de tecnologias se torna cada vez mais crucial no contexto industrial, sobretudo quando se trata de automação. Nesse sentido, o termo “Indústria 4.0” foi cunhado como uma iniciativa do governo federal da Alemanha juntamente com universidades e empresas, no ano de 2011, para se referir a sistemas de manufatura de ponta (Adnan et al., 2023). Sendo assim, essa denominação refere-se ao uso das tecnologias que estão em evidência atualmente (inteligência artificial, automação, robótica) no ambiente das indústrias.

Uma das tecnologias mais importantes para a implementação da Indústria 4.0 é a Internet das Coisas (IoT), que se refere à interconexão de dispositivos físicos, objetos, veículos, edifícios e outros elementos do mundo real através da internet. A IoT além de conectar dispositivos, possui recursos que podem ser de grande valia para a indústria, como heterogeneidade, capacidade para grande escala, sensoriamento, reconhecimento de local e personalização, dentre outros (Ahleroff et al., 2020).

Diante disso, o número de implementações envolvendo o uso de IoT dentro das indústrias vem crescendo significativamente, assim como sua acessibilidade. As empresas IBM e SLM Solutions, por exemplo, desenvolveram plataformas que visam facilitar essa integração (Saravanan et al. 2022). Também vale ressaltar que esse crescimento também ocorre no meio acadêmico, com diversas pesquisas sobre o tema, que geralmente são voltadas à criação de modelos que podem ser utilizados comercialmente no futuro. Ziaei, Zamani e Bohlooli (2020) desenvolveram uma nova abordagem baseada no paradigma de engenharia orientada a modelos para simplificar o design e desenvolvimento de um sistema de monitoramento em tempo real.

É importante destacar que a IoT é bastante versátil e está em constante evolução, com um frequente desenvolvimento de novos recursos. Posto isso, no estudo realizado por Sethi et al. (2020), são apresentadas diversas aplicações emergentes de Internet das Coisas na indústria, como a cibersegurança, análise de dados, integração com blockchain, além de apresentar o seu desenvolvimento ao longo do tempo.

Dado esse cenário, é possível concluir que é uma questão de tempo até o uso de IoT ocupar a maioria das indústrias. Porém, a indústria é dividida em diversos setores, os quais costumam se desenvolver em ritmos diferentes. Sendo assim, faz-se importante investigar como a IoT os vem impactando individualmente, a fim de verificar em quais ambientes essas tecnologias estão mais desenvolvidas e quais são menos estudadas nesse sentido. Desse modo, este trabalho tem como objetivo realizar essa investigação, a fim de identificar novas possibilidades de estudos e implementações na área.

A estrutura do artigo é dividida em 5 tópicos, sendo eles a introdução; a metodologia, no qual o modo como a pesquisa e seleção dos artigos foi feito é explicitada; os resultados, que mostram os produtos obtidos a partir da seleção dos artigos; o tópico de discussão, que aborda os principais setores individualmente e, por fim, a conclusão.

2. METODOLOGIA

A revisão bibliográfica foi conduzida em sete etapas: 1) definição da questão de pesquisa, 2) definição dos setores a serem buscados na literatura, 3) definição das strings de pesquisa e coleta dos artigos, 4) tratamento dos artigos, 5) apresentação dos resultados, 6) interpretação dos resultados e 7) apresentação da revisão e conclusões acerca do tema.

Primeiramente para definir a questão de pesquisa, utilizou-se a estratégia TQO, onde: T (tema) = “indústria 4.0 e IoT”, Q (qualificador) = “implementação das novas tecnologias” e O

(objeto) = “setores industriais”. Assim, tem-se: Quais são os principais setores industriais que são aplicados os conceitos de indústria 4.0 e IoT na atualidade?

A partir disso, escolheu-se para quais setores industriais deveria ser feita a pesquisa. Para tanto, foi realizada uma busca dos principais segmentos de indústria no mercado e chegou-se em oito esferas de atuação: alimentício, aeroespacial, químico, automobilístico, farmacêutico, metalúrgico, têxtil.

A etapa seguinte consistiu em definir as strings de busca para cada um dos setores determinados e realizar a coleta bruta dos artigos nas bases de dados. A busca foi realizada no período entre outubro de 2023 e fevereiro de 2024 no Web of Science e no Scopus, visando coletar principalmente artigos publicados entre os anos de 2019 e 2023. As strings utilizadas estão agrupadas na Tabela 1.

O acesso foi realizado mediante o portal de periódicos CAPES, de maneira que a busca inicial utilizando as strings foi realizada por todos os pesquisadores a fim de garantir a qualidade das mesmas e assegurar os resultados. Em sequência, designou-se que cada um dos pesquisadores ficaria responsável por realizar o estudo de dois setores. Feita a coleta dos artigos em cada base, utilizou-se o software Mendeley Reference Manager, para eliminar os artigos duplicados, e o software Vosviewer, para realizar um estudo dos artigos mais relevantes.

A partir de cada base de dados, exportou-se um arquivo com um resumo das informações dos trabalhos resultantes do uso das strings. Com esses arquivos, por meio do Vosviewer, foi feita uma análise de citação e uma análise de co-citação, que indicam quais autores foram mais citados tanto por artigos em geral quanto pelos artigos resultados das strings, a fim de determinar quais trabalhos são mais importantes para cada tema. Em adição, também foi feita uma análise dentro dos próprios bancos de dados, já que neles existe uma opção de filtro por relevância, que leva em conta outros fatores além da quantidade de citações, como os periódicos, instituições e países envolvidos.

Tabela 1. Strings utilizadas por setores

Setor	String
Alimentício	(industry 4.0 AND IoT) AND (food industry OR beverage industry OR food chain)
Aeroespacial	(industry 4.0 AND IoT) AND (Aerospace)
Químico	(industry 4.0 AND IoT) AND (chemical industry)
Automobilístico	(industry 4.0 AND IoT) AND (automotive industry)
Farmacêutico	(industry 4.0 AND IoT) AND (pharmaceutical OR pharma 4.0)
Metalúrgico	(industry 4.0 AND IoT) AND ("steel manufacturing" OR steel OR aluminium OR metallurgical)
Têxtil	("Industry 4.0" AND "IoT") AND("textile")

Fonte: Autoria própria (2024).

Em seguida os artigos considerados relevantes foram lidos e estudados, com o intuito de mapear o nível de implementação dos conceitos de indústria 4.0 e de IoT em cada uma das porções da indústria escolhidas.

3. RESULTADOS

Após a implementação das estratégias de pesquisa utilizadas, foram identificados um total de 513 artigos aptos para análise, sendo esses a soma dos trabalhos encontrados para cada setor e em cada base de dados. Depois disso, o primeiro filtro aplicado foi a remoção dos arquivos duplicados em ambas as bases de dados, sobrando 395 arquivos aptos para serem analisados. Por fim, foi adotado um critério de seleção de no máximo 6 artigos para serem analisados por setor.

A Figura 1 é um fluxograma que mostra os passos realizados para chegar na quantidade de arquivos que foram selecionados para analisar os impactos da indústria 4.0 aliadas a IoT em cada um dos setores estudados.

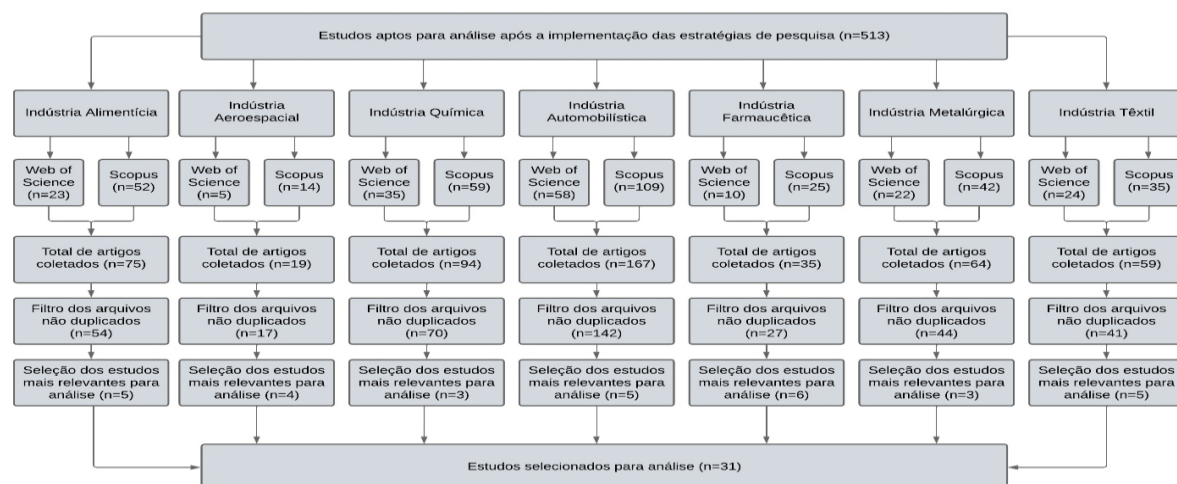


Figura 1. Percurso da coleta e tratamento de artigos das bases de dados selecionadas.

Fonte: Autoria própria (2024).

Além disso, na Tabela 2 estão representados os principais artigos escolhidos separados por setor industrial, retratando os principais temas abordados por cada área de estudo.

4. DISCUSSÕES

Os estudos mais pertinentes sobre a aplicação do conceito da Indústria 4.0 no setor alimentício demonstram que há muitos estudos e implementações a respeito da produção básica como agricultura e pecuária, entretanto pouco se encontrou a respeito do processamento dos alimentos, devido ser uma área de maior complexidade e com acesso mais restrito.

Nesse meandro, a indústria agroalimentar é um dos setores mais importantes para o desenvolvimento econômico do mundo, além de ter um papel vital na segurança alimentar das pessoas, entretanto ele passa por diversas dificuldades, como alterações climáticas, controle de qualidade, proteção ambiental e legislação. Nesse contexto, a indústria agroalimentar é impactada pelas tecnologias, práticas, abordagens e estratégias apresentadas pela “indústria 4.0”, como por exemplo aplicação de: estufas inteligentes, robôs, drones, sensores inteligentes, redes de sensores sem fio, fazendas verticais (Miranda et al., 2019), além de adotar práticas de sustentabilidade, com foco em quesitos econômicos, sociais e ambientais abordadas por Dadhaneeya, Nema e Arora (2023).

Na perspectiva da criação de animais, houve grande avanço com a aplicação na pecuária de precisão, uma vez que com o advento das novas tecnologias – câmeras, sensores, sistemas de rede sem fio - é possível fazer uma identificação mais rápida de sinais de saúde do animal, mudanças de padrões habituais, de modo que se facilita a identificação de doenças, permitindo tomar ações preventivas o mais cedo possível, outrossim, também foram desenvolvidos sistemas de rastreamento, ordenha automática e desempenho do animal, entretanto, ainda existem desafios para tais aplicações tanto éticas, como econômicas apresentados por Morrone et al. (2022).

Na perspectiva da agricultura, também houve a implementação da agricultura de precisão, implementando sistemas de irrigação automatizados, monitoramento da colheita, estufas inteligentes, de modo que se permite a utilização de energia, água, pesticidas e fertilizantes de forma eficiente (Dadhaneeya; Nema; Arora, 2023), dessa forma, é possível reduzir ao máximo os desperdícios ao longo do tempo, além de aumentar a produção e lucro a longo prazo.

Nesse contexto, visando obter um melhor controle de qualidade, diversos modelos foram propostos, como o apresentado por Panda et al. (2019), que utilizou como base a criação de um sistema de sensores universal, podendo ser adaptado para diferentes cenários na indústria,

utilizando um modelo de informação padronizado na sua comunicação, posteriormente esses dados são coletados e armazenados na nuvem, tudo isso por meio de microcontroladores que coordenam o envio da informação coletada pelos sensores e envia para nuvem, com isso consegue-se fazer uma boa aquisição de dados. Além disso, também estão em estudo modelos de controle em blockchain, uma vez que facilitam o rastreamento ao longo de toda a cadeia de suprimentos, bem como o registro dele abrange todas as trocas de propriedade ao longo do processo (Khan; Byun; Park, 2020).

Tabela 2. Separação dos principais artigos e os seus temas

Setor	Principais referências	Temas abordados
Alimentício	Miranda et al. (2019)	Controle de qualidade ao longo da cadeia de produção Redução de desperdício na produção Automação de processos Monitoramento em tempo real
	Dadhaneeya et al. (2023)	
	Morrone et al. (2022)	
	Panda et al. (2019)	
	Khan et al. (2020)	
Aeroespacial	Crossley e Ratchev (2019)	Aplicação de IA para o processamento de imagem para avaliação de qualidade. Controle de estoque de materiais essenciais
	Corallo et al. (2022)	
	Eugeni et al. (2022)	
Automobilístico	Ghosh et al. (2022)	Mudança no modelo de produção das indústrias automotivas Eficiência dos processos produtivos e administrativos/estratégicos com a implementação da IoT
	Harris et al. (2020)	
	Filali Rotbi et al. (2022)	
	Hakim et al. (2022) Tasmin et al. (2020)	
Química	Priyanka et al. (2021)	Transporte de petróleo por oleodutos; Desenvolvimento de processos químicos industriais mais sustentáveis;
	Ntamo et al. (2022)	
	Bellini et al. (2022)	
Farmacêutico	Rossetti et al. (2021)	Desenvolvimento de um modelo eficaz de gerenciamento de cadeia produtiva para o setor Implementação do IoT em equipamentos de monitoramento de "healthcare"
	Liao et al. (2021)	
	Ntamo et al. (2022)	
	Rejeb et al. (2020)	
	Prajwal et al. (2020) Kuruvilla et al. (2023)	
Metalúrgico	Nkonyana et al. (2019)	Implementação de algoritmos para aumentar a eficácia da detecção de falhas na cadeia produtiva e de produtos defeituosos
	Li et al. (2020)	
	Song et al. (2022)	
Têxtil	Manglani, Hodge e Oxenham (2019)	Proposta de sistema de monitoramento; Implementação de blockchain para rastreamento; Entrevistas com gestores para verificar abertura em relação à aplicação de IoT na indústria
	Dal Forno et al. (2023)	
	Falani, de Aguiar e Dal Forno (2021)	
	Sari, Gules e Yigitol (2020)	
	Faridi et al. (2021)	

Fonte: Autoria própria (2024).

Dessa forma, fica claro que o setor agroalimentar enfrenta desafios como alterações climáticas e controle de qualidade, mas está adotando tecnologias da Indústria 4.0, como estufas inteligentes e pecuária de precisão, para enfrentar esses desafios. A implementação da agricultura de precisão visa reduzir desperdícios e aumentar a produção. Modelos de controle de qualidade baseados em sensores universais e blockchain estão sendo explorados para melhorar a qualidade e rastreabilidade dos produtos ao longo da cadeia de suprimentos. Essas medidas visam melhorar a eficiência e sustentabilidade do setor agroalimentar.

5. CONCLUSÕES

A partir das análises individuais dos setores, o primeiro ponto a ser destacado é a predominância de pesquisas no segmento automobilístico. A superioridade desse setor ocorre sobretudo devido ao fato de as indústrias operarem com produção em larga escala, em

decorrência da elevada demanda de carros na sociedade atual. Além disso, o produto apresenta um elevado nível tecnológico, ou seja, exige que todas as etapas do processo produtivo sejam integradas e operadas minuciosamente, para garantir a qualidade do bem final.

Além disso, ficou evidente que alguns setores ainda são emergentes quanto à implementação das tecnologias de IoT na sua cadeia produtiva. Esse ponto se destaca sobretudo no setor têxtil e farmacêutico, onde ainda se busca elaborar modelos de gerenciamento de cadeia produtiva que apliquem o conceito da indústria 4.0. Em contrapartida, setores como o alimentício, químico e metalúrgico, já se mostram consolidados quanto a isso e focam mais em aplicações específicas do IoT, como por exemplo detecção de falhas, visando melhorias no processo produtivo.

Por fim, observou-se que existe uma carência de artigos no segmento aeroespacial. Essa escassez se deve ao fato de ser um setor de acesso restrito quando comparado aos demais, uma vez que existem poucas empresas nesse ramo, sendo que a maioria opera de maneira sigilosa por serem estatais e a dificuldade de produção em larga escala devido à complexidade do produto, que muitas vezes não é padronizado.

Portanto, apesar da implementação de IoT na indústria apresentar um crescimento significativo nos últimos anos, esse crescimento não ocorre de modo uniforme entre diferentes setores. Nesse contexto, ficou evidente a necessidade de mais pesquisas voltadas para alguns segmentos mais negligenciados, tais como têxtil, aeroespacial e farmacêutico, a fim de aumentar a integração desses setores com a indústria 4.0 e a IoT, além de disponibilizar mais informações ao público.

REFERÊNCIAS

- ADNAN, Q.; KAIDI, H. M.; MASROM, M.; HAMZAH, H. S. IoT Implementation Framework to Support Industry 4.0 in the Malaysian Manufacturing Industries: A Systematic Review. **International Journal of Computing and Digital Systems**, v. 14, n. 1, p. 875-888, 2023.
- AHELEROFF, S.; XU, X.; LU, Y.; ARISTIZABAL, M.; PABLO VELÁSQUEZ, J.; JOA, B.; VALENCIA, Y. IoT-enabled smart appliances under industry 4.0: A case study. **Advanced Engineering Informatics**, v. 43, 2020.
- BELLINI, P.; CENNI, D.; MITOLO, N.; NESI, P.; PANTALEO, G.; SODERI, M. High level control of chemical plant by industry 4.0 solutions. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 26, 2022.
- CORALLO A.; BUCCOLIERO F.O.; CRESPIANO A.M.; DEL VECCHIO V.; SPENNATO A.; VISIONE D.; NAPOLITANO D.R. Internet of Things and Shop-Floor Digital Twin: an Aerospace case study. **2022 7th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)**, pp. 1-6, 2022.
- CROSSLEY, R.; RATCHEV, S. Aerospace assembly GAP measurement using low cost smart tools with machine vision. **IFIP Advances in Information and Communication Technology**, 530, 158–168, 2019.
- DADHANEYYA, H.; NEMA, P. K.; ARORA, V. K. Internet of Things in food processing and its potential in Industry 4.0 era: A review. **Trends in Food Science & Technology**, 139, 2023.
- DAL FORNO, A. J.; BATAGLINI, W. V.; STEFFENS, F.; DE SOUZA, A. A. Industry 4.0 in textile and apparel sector: a systematic literature review. **Research Journal Of Textile And Apparel**, v. 27, n. 1, p. 95-117, 2023.
- EUGENI, M.; QUERCIA, T.; BERNABELI, M.; BOSCHETTO, A.; COSTANTINO, F.; LAMPANI, L.; MARCHETTI SPACCAMELA, A.; LOMBARDO, A.; MECELLA, M.; QUERZONI, L.; USINGER, R.; ALIPRANDI, M.; STANCU, A.; IVAGNES, M. M.; MORABITO, G.; SIMONI, A.; BRANDÃO, A.; GAUDENZI, P. . An industry 4.0 approach to large scale production of satellite constellations. The case study of composite sandwich panel manufacturing. **Acta Astronautica**, v. 192, p. 276-290, 2022.
- FALANI, L. A.; DE AGUIAR, C. R. L.; DAL FORNO, A. J. Initial overview of industry 4.0 in textile companies from Santa Catarina. **Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management**, p. 551-562, 2021.
- GHOSH, R. K.; BANERJEE, A.; AICH, P.; BASU, D.; GHOSH, U. Intelligent IoT for Automotive Industry 4.0: Challenges, Opportunities, and Future Trends. **Internet of Things**, p. 327-352, 2022.
- GULOTHUNGAN, G. Implementation of IoT in production and manufacturing: An Industry 4.0 approach. **Materials Today: Proceedings**, v. 51, p. 2427-2430, 2022.
- HAKIM, I. M.; SINGGIH, M. L.; GUNARTA, I. K. Evaluating Critical Success Factors for Implementation of Internet of Things (IoT) Using DEMATEL: A Case of Indonesian Automotive Company. **ACM International Conference Proceeding Series**, 2022.

HARRIS, M.; NDIAYE, M.; FARRELL, P. Integration of Industry 4.0 and Internet of Things in the Automotive and Motorsports Sectors: An Empirical Analysis. **SAE Technical Papers**, 2020-January.

FARIDI, M. S.; ALI, S.; DUAN, G.; WANG, G. Blockchain and IoT Based Textile Manufacturing Traceability System in Industry 4.0. **Lecture Notes in Computer Science** (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), v. 12382, p. 331-344, 2021.

FILALI ROTBI, M.; MOTAHHIR, S.; EL GHZIZAL, A. Blockchain-Based CPS and IoT in the Automotive Supply Chain. **Internet of Things**, p. 155-176, 2022.

KHAN, P. W.; BYUN, Y.-C.; PARK, N. IoT-blockchain enabled optimized provenance system for food industry 4.0 using advanced deep learning. **Sensors**, v. 20, n. 10, p. 2990, 2020.

KURUVILLA, J. M.; KATHRINE, G. J. W.; STEWART KIRUBAKARAN, S.; PREM PRASAD, G.; EVANGELINA, G. Implementation of Industry 4.0 in Supply Chain Management in the Healthcare Industry. **Proceedings of the 2nd International Conference on Edge Computing and Applications**, ICECAA 2023, p. 1445-1449, 2023.

LI, F.; YANG, A.; CHEN, H.; SUN, G.; WANG, F.; XIE, Y.; LI, J.; SHEN, J. Towards Industrial Internet of Things in Steel Manufacturing: A Multiple-Factor-based Detection System of Longitudinal Surface Cracks. **Proceedings - 2020 IEEE International Conference on Big Data**, Big Data 2020, p. 4627-4635, 2020.

LIAO, H.; KUANG, L.; LIU, Y.; TANG, M. Non-cooperative behavior management in group decision making by a conflict resolution process and its implementation for pharmaceutical supplier selection. **Information Sciences**, v. 567, p. 131-145, 2021.

MANGLANI, H.; HODGE, G. L.; OXENHAM, W. Application of the Internet of Things in the textile industry. **Textile Progress**, v. 51, n. 3, p. 225-297, 2019.

MIRANDA, J.; PONCE, P.; MOLINA, A.; WRIGHT, P. Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0. **Computers in Industry**, v. 108, p. 21-36, 2019.

MORRONE, S.; DIMAURO, C.; GAMBELLA, F., & CAPPALAI, M. G. Industry 4.0 and Precision Livestock Farming (PLF): An up to Date Overview across Animal Productions. **Sensors**, v. 22, n. 12, p. 4319, 2022.

NKONYANA, T.; SUN, Y.; TWALA, B.; DOGO, E. Performance evaluation of data mining techniques in steel manufacturing industry. **Procedia Manufacturing**, v. 35, p. 623-628, 2019.

NTAMO, D.; LOPEZ-MONTERO, E.; MACK, J.; OMAR, C.; HIGHETT, M. I.; MOSS, D.; MITCHELL, N.; SOULATINTORK, P.; MOGHADAM, P. Z.; ZANDI, M. Industry 4.0 in Action: Digitalisation of a Continuous Process Manufacturing for Formulated Products. **Digital Chemical Engineering**, v. 3, 2022.

PANDA, S. K.; BLOME, A.; WISNIEWSKI, L.; MEYER, A. IoT Retrofitting Approach for the Food Industry. **IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA)**, p. 1639–1642, 2019.

PRAJWAL, A. T.; MUDDUKRISHNA, B. S.; VASANTHARAJU, S. G. Pharma 4.0–impact of the internet of things on health care. **International Journal of Applied Pharmaceutics**, v. 12, n. 5, p. 64-69, 2020.

PRIYANKA, E. B.; MAHESWARI, C.; THANGAVEL, S. A smart-integrated IoT module for intelligent transportation in oil industry. **International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields**, v. 34, n. 3, 2021.

REJEB, A.; SIMSKE, S.; REJEB, K.; TREIBLMAIER, H.; ZAILANI, S. Internet of Things research in supply chain management and logistics: A bibliometric analysis. **Internet of Things**, v. 12, Elsevier B.V., 2020.

ROSSETTI, C. L.; HANDFIELD, R.; DOOLEY, K. J. Forces, trends, and decisions in pharmaceutical supply chain management. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 41, n. 6, p. 601-622, 2021.

SARI, T.; GULES, H. K.; YIGITOL, B. Awareness and readiness of Industry 4.0: The case of Turkish manufacturing industry. **Advances In Production Engineering & Management**, v. 15, n. 1, p. 57-68, 2020.

SARAVANAN, G.; PARKHE, S. S.; THAKAR, C. M.; KULKARNI, V. V.; MISHRA, H. G.; SETHI, R.; BHUSHAN, B.; SHARMA, N.; KUMAR, R.; KAUSHIK, I. Applicability of Industrial IoT in Diversified Sectors: Evolution, Applications and Challenges. In: KUMAR, R.; SHARMA, R.; PATTNAIK, P. K. (eds) **Multimedia Technologies in the Internet of Things Environment. Studies in Big Data**, v. 79. Springer, Singapore, 2021.

SONG, S.; CHANG, K.; YUN, K.; JUN, C.; BAEK, J. G. Defect Synthesis Using Latent Mapping Adversarial Network for Automated Visual Inspection. **Electronics**, v. 11, n. 17, p. 2763, 2022.

TASMIN, R.; NURUL, S. R.; JAAFAR, I.; HAMID, N. A. A.; NGADIMAN, Y. The Readiness of Automotive Manufacturing Company on Industrial 4.0 Towards Quality Performance. **International Journal of Integrated Engineering**, v. 12, n. 7, p. 160-172, 2020.

ZIAEI, M.; ZAMANI, B.; BOHLOOLI, A. A Model-Driven Approach for IoT-Based Monitoring Systems in Industry 4.0. **Proceedings of 4th International Conference on Smart Cities, Internet of Things and Applications**, SCIoT 2020, p. 99-105, 2020.