

A INDÚSTRIA 5.0 E SUAS PERSPECTIVAS NA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.

Ingrid Emi Borba Yokomizo (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Francielle Cristina Fenerich (Orientador). E-mail: fcfenerich@uem.br.

Universidade Estadual de Maringá, CTC-DEP - Departamento de Engenharia de Produção, Maringá, PR.

Engenharia de Produção/Gerência de Produção/Planejamento, Projeto e Controle de Sistemas de Produção.

Palavras-chave: manufacturing; automation; mass customization.

RESUMO

A Indústria 5.0 emerge como resposta às limitações do modelo anterior (Indústria 4.0), representando não apenas uma evolução tecnológica, mas uma transformação paradigmática na relação entre humanos e máquinas. As pesquisas realizadas tiveram o objetivo de definir de forma precisa e pautada na literatura o que é este conceito, até onde ele abrange, características e influências no contexto atual da nossa sociedade, por meio de um compilado das informações que possuímos disponibilizadas por diversos pesquisadores em diferentes âmbitos acerca da Engenharia de Produção. A revisão bibliográfica foi realizada com o Método Pro-Know-C, que consiste nas etapas de seleção do portfólio bibliométrico, onde desenvolve-se a seleção de um portfólio de artigos científicos alinhado com o tema de pesquisa e com relevância científica; e a análise bibliométrica deste por meio de critérios previamente estabelecidos de modo à obter informações específicas suficientes para ser realizado uma análise profunda do tema. O concluído foi de que esta nova indústria se caracteriza pela transição de sistemas puramente automatizados para ecossistemas colaborativos, em que a tecnologia atua como amplificadora do potencial humano com uma diferença crucial: enquanto a Indústria 4.0 priorizava a eficiência operacional, a 5.0 se concentra na criação de valor social que volta a ocupar posição central no processo produtivo com três pilares: sustentabilidade, personalização e automação, que embora pareçam contraditórios, se entrelaçam absolutamente.

INTRODUÇÃO

Enquanto a Indústria 4.0 era focada em automação e eficiência operacional, a Indústria 5.0 é definida pelo crescimento de ecossistemas de produção flexíveis e centrados no ser humano, com tecnologia para elevar as capacidades criativas, cognitivas e de tomada de decisão dos trabalhadores (BATTINI et al., 2022;

GHOBAKHLOO et al., 2024). É notável nesta nova fase, predominantemente em torno da interação homem-máquina, a ênfase na personalização e sustentabilidade (Masoomi et al., 2023), pois até então, nenhuma posição na ascensão de modelos de economia regenerativa e circular projetados para ajudar a enfrentar desafios ambientais através de cadeias de produção.

O trabalho os sistemas automatizados da Indústria 4.0 com as redes colaborativas da Indústria 5.0 e aponta para a natureza complementar entre ambos os modelos. O método descrito por PACHECO & IWASZCZENKO (2024) e SOLMAZ et al. afirma que a nova abordagem dessa nova indústria delineia papéis de modo com que as tecnologias realizem trabalhos considerados 'operacionais', tarefas repetitivas e perigosas, enquanto os trabalhadores humanos desempenham tarefas gerenciais e inovadoras. Essa reorganização, apoiada por tecnologias emergentes como IoT, Inteligência Artificial (IA) e Robótica Colaborativa (Ghobakhloo et al., 2022; Peruzzini et al., 2023), também proporciona uma criação de valor social aprimorada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado através da abordagem Proknow-C (Processo de Desenvolvimento do Conhecimento – Construtivista) sugerida por Ensslin et al. (2010). É um método estruturado que fornece uma visão geral do passo a passo executado na pesquisa de forma mais refinada e busca caracterizar o conhecimento essencial para orientar futuras pesquisas exploratórias, com uma perspectiva construtivista envolvendo a escolha e mapeamento de estudos a partir de um portfólio bibliométrico.

Primeiramente, eixos de pesquisa foram formulados para refletir os principais tópicos de estudo. Com base neles, palavras-chave foram definidas para a realização de buscas no banco de dados (Scopus, Web of Science e Science Direct) foram escolhidos tendo em vista seu amplo escopo e a indicação de seu uso em estudos metodológicos Proknow-C, conforme sugerido por Marafon et al. (2012), Deggau et al. (2019), Lacerda et al. (2012) e Silveira et al. (2019). Foi realizada a primeira seleção e então a aplicação de filtros: Apenas Artigos; Apenas artigos de engenharia; e Apenas artigos abertos para leitura.

A validação da escolha final foi analisada por softwares como o Medley para gerenciar e organizar referências, Microsoft Excel 365 para o processamento de informações bibliométricas e outros para limpeza de dados e análises simples realizadas manualmente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1 – Funil dos artigos obtidos da seleção

BASE DE DADOS	AO PESQUISAR A STRING	APENAS ARTIGOS	APÓS FILTROS	1ª seleção	2ª seleção	3ª seleção
Scopus	209	60	14	14	12	6
Science Direct	970	687	158	12	10	5

Web of Science	33	18	12	4	0	0
----------------	----	----	----	---	---	---



Figura – Nuvem de palavras mais usadas nos artigos referenciados para esta Pesquisa

Gráfico – Países e Universidades dos artigos obtidos da seleção

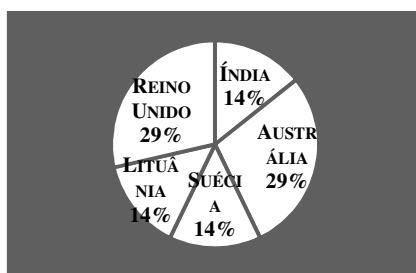


Tabela 2 – Comparação das definições da Indústria 4.0 *versus* Indústria 5.0

DADOS CRUZADOS: INDÚSTRIA 4.0 x INDÚSTRIA 5.0			
CATEGORIA	INDÚSTRIA 4.0	INDÚSTRIA 5.0	TRANSIÇÃO
FOCO PRINCIPAL	Automação, eficiência produtiva, digitalização	Sustentabilidade, humanocentricidade, resiliência	Uso de tecnologias digitais para fins sociais e ambientais
TECNOLOGIAS CHAVES	IoT, IA, robótica, Big Data, digital twins	IA generativa, colaboração humano-robô, economia circular	IA e IoT são comuns, mas com aplicações distintas
IMPACTO ECONÔMICO	Aumento de produtividade, redução de custos	Modelos de negócios sustentáveis, inclusão digital	Transição para valor compartilhado (não apenas lucro)
IMPACTO SOCIAL	Desemprego tecnológico, polarização de renda	Empregos mais qualificados, inclusão social	Necessidade de requalificação da força de trabalho
IMPACTO AMBIENTAL	Eficiência energética, mas alto consumo de recursos	Economia circular, redução de resíduos	Tecnologias verdes integradas à produção (sustentabilidade)
DESAFIOS	Segurança cibernética, fragmentação digital	Equilíbrio entre tecnologia e ética, governança	Regulação e cooperação multissetorial
APLICAÇÕES ATUAIS	Fábricas inteligentes, logística automatizada	Cooperação humano-máquina, cidades sustentáveis	Integração de IoT em sistemas de energia renovável

CONCLUSÕES

A Indústria 5.0 é a junção de três pilares: sustentabilidade/desenvolvimento ambiental, a personalização da produção e automação centrada no ser humano. Essa tríade, segundo Bhat & Parvez (2024), está bem acoplada às necessidades sociais e ambientais atuais relacionadas à redução de resíduos, customização em massa e resiliência operacional. Dessa forma, a Indústria 5.0 tem sido interpretada de maneira bastante adequada conforme mais autores a desenvolvem, como uma mudança de paradigma da Indústria 4.0 que amplia a eficiência produtiva ao integrar ideais humanísticos, como qualidade de vida para os trabalhadores e responsabilidade socioambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade estadual de Maringá e a Fundação Araucária pelo apoio nesta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- BATTINI, D.; BERTI, N.; FINCO, S.; ZENNARO, I.; DAS, A. Towards industry 5.0: a multi-objective job rotation model for an inclusive workforce. *International Journal of Production Economics*, v. 250, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108619>.
- ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R.; MORAES, A. G.; GALVÃO, A. F.; SANTOS, M. A. dos. Proknow-C: processo para desenvolvimento do conhecimento – construtivista. *Gestão & Produção*, v. 17, n. 1, p. 187-201, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2010000100019>.
- GHOBAKHLOO, M.; MAHDIRAJI, H. A.; IRANMANESH, M.; JAFARI-SADEGHI, V. From Industry 4.0 digital manufacturing to Industry 5.0 digital society: a roadmap toward human-centric, sustainable, and resilient production. *Information Systems Frontiers*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10796-024-10476-z>.
- HEIN-PENSEL, F.; WINKLER, H.; BRÜCKNER, A.; WÖLKE, M.; JABS, I.; MAYAN, I. J.; KIRSCHENBAUM, A.; FRIEDRICH, J.; ZINKE-WEHLMANN, C. Maturity assessment for Industry 5.0: a review of existing maturity models. *Journal of Manufacturing Systems*, v. 66, p. 200-210, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.12.009>.
- MASOOMI, B.; SAHEBI, I. G.; GHOBAKHLOO, M.; MOSAYEBI, A. Do Industry 5.0 advantages address the sustainable development challenges of the renewable energy supply chain? *Sustainable Production and Consumption*, v. 43, p. 94-112, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2023.10.018>.