



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01
de dezembro 2023

Tecnologias Emergentes na Manufatura Enxuta: Uma Análise Bibliométrica

Márcia de Moraes Erbs

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal do Paraná.

Silvana Pereira Detro

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal do Paraná.

Carla Regina Mazia Rosa

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal do Paraná.

William da Silva Queiroz

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal do Paraná.

Resumo: No cenário empresarial atual, a busca pela competitividade global exige abordagens inovadoras. A Manufatura Enxuta se destaca como uma estratégia para otimizar recursos e minimizar desperdícios, e sua integração com tecnologias emergentes, como Inteligência Artificial, Internet das Coisas e Aprendizado de Máquina, tem o potencial de impulsionar o crescimento fabril, reduzir prazos e custos e melhorar a qualidade do produto. Este estudo utilizou a metodologia ProKnow-C para analisar a aplicação dessas tecnologias em conjunto com a Manufatura Enxuta. Foram compilados cinco artigos científicos atuais, destacando práticas e tecnologias emergentes, como Robótica, Manufatura Aditiva, Análise de Big Data e Realidade Aumentada. Embora não exista um paradigma universal para a integração dessas tecnologias com a Manufatura Enxuta, a pesquisa demonstrou que essa abordagem oferece oportunidades substanciais para melhorar a eficácia, reduzir o desperdício e otimizar o uso de recursos em organizações, alinhando-se aos princípios da Manufatura Enxuta.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Manufatura Aditiva, Manufatura Enxuta

Emerging Technologies in Lean Manufacturing: A Bibliometric Analysis

Abstract: In the current business scenario, the search for global competitiveness requires innovative approaches. Lean Manufacturing stands out as a strategy to optimize resources and minimize waste, and its integration with emerging technologies, such as Artificial Intelligence, Internet of Things and Machine Learning, has the potential to boost factory growth, reduce deadlines and costs, and improve the quality of the product. This study used the ProKnow-C methodology to analyze the application of these technologies in conjunction with Lean Manufacturing. Five current scientific articles were compiled, highlighting emerging practices and technologies, such as Robotics, Additive Manufacturing, Big Data Analysis and Augmented Reality. While there is no universal paradigm for integrating these technologies with Lean Manufacturing, research has demonstrated that this approach offers substantial opportunities to improve effectiveness, reduce waste, and optimize resource use in organizations, aligning with Lean Manufacturing principles.

Keywords: Artificial intelligence, Internet of Things, Additive Manufacturing, Lean Manufacturing

1. Introdução

No cenário empresarial atual, com desafios constantes na busca pela competitividade global, a necessidade de abordagens inovadoras em operações e produção é evidente. A Manufatura Enxuta é uma abordagem que visa otimizar recursos e minimizar desperdícios e destaca-se nesse contexto e aliada as novas tecnologias podem impulsionar o crescimento e desenvolvimento fabril.

As metas de otimização da manufatura enxuta e digital têm atraído a atenção para a pesquisa de novas abordagens de melhoria em sistemas de produção que acompanham a combinação desses dois sistemas (MOFOLASAYO *et al.*, 2022). Tanto novas tecnologias quanto a manufatura enxuta busca aumentar a produtividade e a flexibilidade.

Os objetivos das tecnologias de ponta estão alinhados com o objetivo de reduzir prazos e custos, aumentar de forma constante a produtividade e permitir ciclos de melhoria contínua (PSAROMMATIS e KIRITSIS, 2022). As tecnologias são consideradas uma estratégia para tornar o processo de fabricação mais eficiente e, ao mesmo tempo, melhorar a qualidade do produto (MADDIKUNTA *et al.*, 2022).

Diante do surgimento de uma diversidade de novas tecnologias e terminologias, as empresas confrontam a decisão de investir ou não na adoção desse novo paradigma. Este estudo analisa como a integração da Manufatura Enxuta com as tecnologias emergentes afeta a eficiência operacional das organizações. Isso nos conduz à questão de pesquisa: Como as organizações aplicam tecnologias emergentes em conjunto com a Manufatura Enxuta?

Com o objetivo de investigar, por meio de análise bibliométrica, como as organizações aplicam tecnologias emergentes em conjunto com a Manufatura Enxuta. Utilizaremos a metodologia ProKnow-C (*Knowledge Development Process – Constructivist*), composta por um portfólio bibliográfico, seguido por uma análise bibliométrica e sistemática. Destacando as práticas e tecnologias emergentes utilizadas na manufatura enxuta, identificadas nos estudos do período de 2022 até 2023, como por exemplo Inteligência artificial, Internet das Coisas e Aprendizado de Máquina, robótica, entre outros.

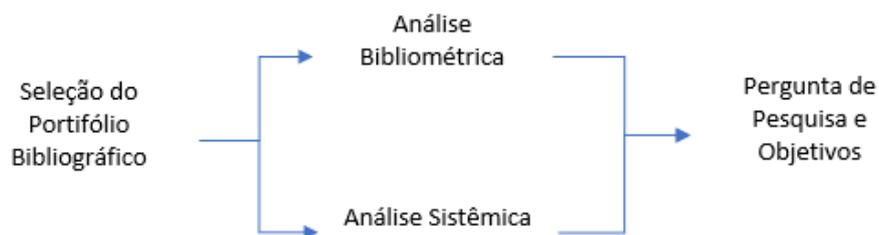
Este artigo está estruturado em quatro seções distintas. A primeira seção contextualiza o tema geral abordado, oferece uma breve descrição do problema a ser abordado ou discutido e delinea o objetivo pretendido com a pesquisa. A segunda seção apresenta a aplicação da metodologia Proknow-C ao tema proposto, preparando o terreno para a terceira seção, que analisa os resultados obtidos a partir dessa metodologia. Por fim, a quarta seção consiste na conclusão, onde se verifica o alcance dos objetivos estabelecidos.

2. Metodologia

A fim de proporcionar um levantamento bibliográfico estruturado, foi utilizado como método de revisão de literatura o Proknow-C (ENSSLIN L. *et al.*, 2010). O método propõe que o pesquisador possa formar um portfólio bibliográfico, a partir da sua área de interesse, observando as delimitações e restrições intrínsecas (LACERDA O. *et al.*, 2012).

Segundo Viegas *et al.* (2016) o Proknow-C é um método difundido no meio científico composto por três etapas principais: seleção do portfólio de artigos; análise bibliométrica e análise sistêmica, conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Etapas do processo Proknow-C



Fonte: Adaptado de Enssin L. et al. (2010).

Neste estudo, foram realizadas as seguintes etapas do processo Proknow-C:

- a) Seleção de portfólio bibliográfico: foi realizado a busca por material científico nas bases de dados de maneira sistematizada, conforme os critérios: definição do tema da pesquisa, seleção das bases de dados, desenvolvimento de critérios de inclusão e exclusão, realização da busca bibliográfica, triagem e avaliação detalhada, seleção dos artigos para o portfólio, análise e síntese e resultados.
- b) Análise bibliométrica: foram contabilizados os dados estatísticos do conjunto de artigos obtidos na etapa (a), através de parâmetros como: palavras-chave, autores, ano, periódicos e citações, origem e periódicos;
- c) Análise sistêmica: foram analisados os resultados encontrados em cada artigo do portfólio bibliográfico.

Estas etapas garantem uma abordagem abrangente na condução da pesquisa, permitindo uma análise detalhada e a compreensão das práticas e tecnologias emergentes utilizadas atualmente na Manufatura Enxuta.

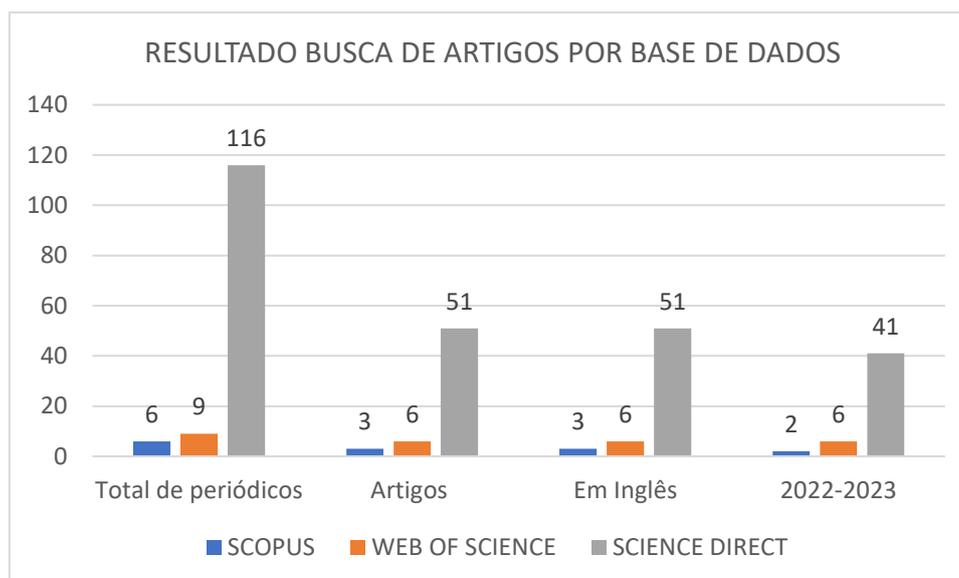
2.1 Seleção do Portifólio Bibliográfico

Para o presente estudo, foram definidos eixos de pesquisa, baseados no tema proposto de pesquisa, com intuito de analisar Inteligência Artificial na Ótica da Manufatura Enxuta.

As palavras chaves utilizadas na pesquisa do banco de dados foram: "Artificial intelligence", "Internet of Things", "Additive *manufacturing*", "Lean manufacturing". As bases utilizadas foram Scopus, Web of Science (WoS) e Science Direct. Além das bases previamente definidas, os demais critérios de inclusão utilizados para mapear a artigos foram o período de publicação de 2022 a 2023, idioma inglês e meio de publicação apenas artigos.

Após a realização da pesquisa, foi possível encontrar um total de 131 artigos. O Gráfico 1 detalha as quantidades de artigos encontrados em cada base e o número de artigos selecionados após aplicação dos critérios descritos anteriormente, resultando em 49 artigos selecionados no período de 2022 a 2023.

Gráfico 1 - Bases de dados e número de artigos encontrados



Fonte: o autor

Neste estudo foram selecionados artigos com relação a relevância ao tema proposto. Para isso os artigos foram classificados conforme os critérios abaixo:

- Artigos não repetidos: 2% dos artigos estavam duplicados. Sendo assim, o repositório passou de 49 para 48 artigos não repetidos;
- Artigos alinhados quanto ao título: resultando em 25 artigos com título relacionado ao tema deste estudo.
- Artigos com reconhecimento científico comprovado: foram selecionados 22 artigos.
- Artigos com poucas citações, foram tratados antes de serem excluídos e com isto 3 artigos foram adicionados na base.
- Artigos alinhados quanto ao resumo, correspondem a 10.
- Leitura dos artigos relacionados ao tema, resultando em 10 artigos.
- Com relação a disponibilidade, visto que, há periódicos que exigem pagamento para acesso, além de restrições de determinadas bases. Apenas 5 artigos tiveram disponibilidade para download.

Foram selecionados 5 artigos em que o resumo possui similaridade com o objetivo proposto, após a aplicação dos filtros e leitura que comprovasse o alinhamento com o tema, formou-se o Portifólio Bibliográfico para leitura na integra.

3. Resultados

Nesta etapa foi analisado os dados bibliométricos do portifólio selecionado, detalhando as principais palavras chaves, Journals publicados, ano de publicação, quantidade de citações e seus países.

3.1 Análise Bibliométrica do Portifólio

Iniciando pelas palavras-chave observadas com mais repetições: “Manufatura Enxuta”, “Aprendizado de máquina”, “Computação de ponta”, “Fabricação inteligente”, “Indústria 4.0”, “Inteligência artificial”, “Internet das Coisas” e “Automação”, evidenciando, assim, a relação dos artigos com o tema abordado conforme ilustrado no Gráfico 2.

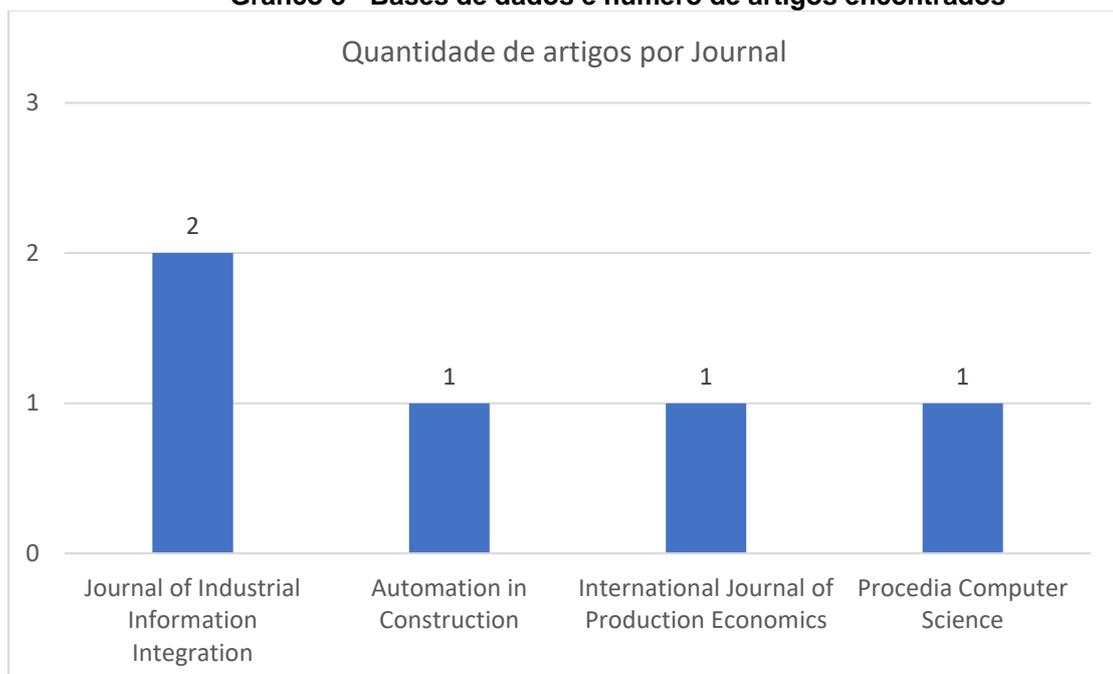
Gráfico 2 - Bases de dados e número de artigos encontrados



Fonte: o autor

— **Journals:** dentre os 5 artigos selecionados, dois artigos foram publicados no *Journal of Industrial Information Integration*, conforme demonstrado no Gráfico 3.

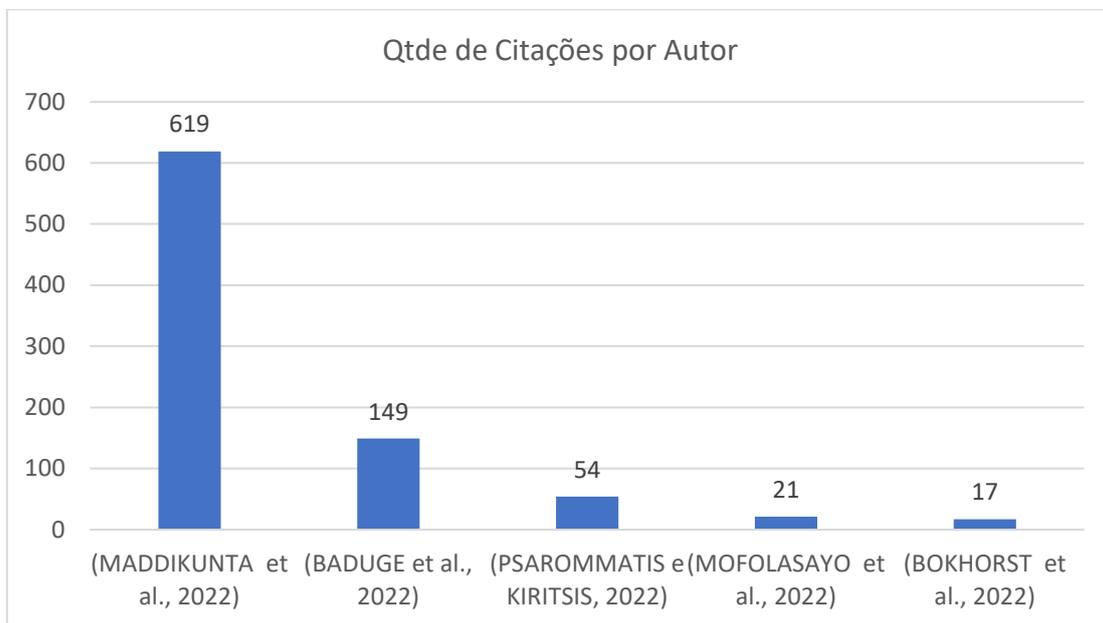
Gráfico 3 - Bases de dados e número de artigos encontrados



Fonte: o autor

- **Reconhecimento científico por autor:** como pode ser observado na Gráfico 4 os autores Maddikunta *et al.* (2022) e Baduge *et al.* (2022) representaram 89% da relevância científica do portfólio do estudo, com 768 citações.

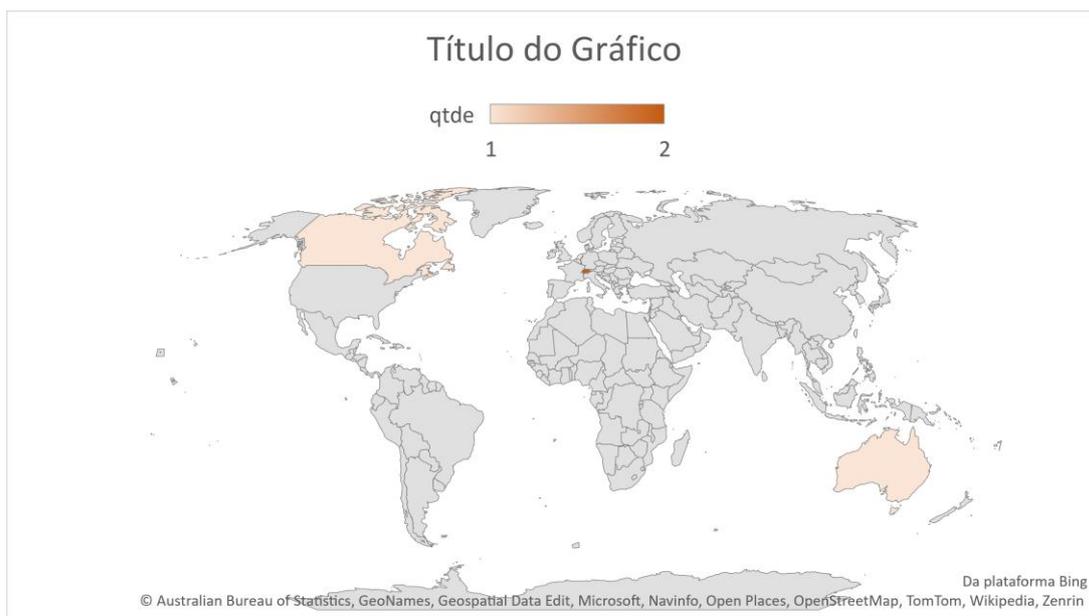
Gráfico 4 – Citações por Autor



Fonte: o autor

- Período de publicação: o ano de publicação dos artigos foi 2022.
- Países de origem: os artigos do estudo foram publicados em diferentes países, sendo dois na Suíça e um na Austrália, Holanda e Canadá, representado na Gráfico 5.

Gráfico 5 – Artigos Publicados por País



Fonte: o autor

— Práticas e Tecnologias encontradas na Manufatura enxuta: as práticas mais utilizadas na Manufatura enxuta foram: Robótica, Manufatura Aditiva, Análise de Big Data, Computação em Nuvem, Realidade Aumentada, Internet das Coisas e Aprendizado da Máquina, entre outras conforme Gráfico 6.

Gráfico 6 – Tecnologias utilizadas em conjunto com a Manufatura Enxuta



Fonte: o autor

3.2. Análise Sistêmica do Portfólio

Após a seleção do portfólio bibliográfico e a análise bibliométrica dos artigos, é dada sequência na análise das tecnologias emergentes que, quando integradas à Manufatura Enxuta, proporcionam vantagens para a empresa e sua gestão.

No contexto da Manufatura Enxuta, a sinergia com as tecnologias é importante para o crescimento fabril (PSAROMMATIS e KIRITSIS, 2022). Dependendo da complexidade e do tamanho dos projetos de produção, os sistemas de fabricação podem gerar volumes substanciais de informações que demandam a aplicação de tecnologias como computação em nuvem e sistemas de armazenamento (BADUGE *et al.*, 2022). É plausível antever que sistemas de software robustos desempenhem um papel central na análise de dados e na tomada de decisões autônomas (MOFOLASAYO *et al.*, 2022).

Maddikunta *et al.* (2022) delimitaram quatro dimensões essenciais nas tecnologias adotadas na manufatura enxuta: processo de fabricação, desenvolvimento de software, utilização de dispositivos e engenharia. Tais dimensões englobam uma vasta gama de elementos, abrangendo desde controladores lógicos programáveis até sistemas de gerenciamento de produção e ferramentas de administração empresarial (MOFOLASAYO *et al.*, 2022).

Mofolasayo *et al.*, (2022) notaram que as tecnologias em ascensão podem ter um impacto duradouro ou disruptivo no desempenho da manufatura enxuta. O impacto de longa duração se relaciona a uma melhoria positiva na produtividade, enquanto o impacto disruptivo se refere a uma mudança radical esperada com a adoção dessas tecnologias

(BADUGE *et al.*, 2022). Sob uma perspectiva de impacto duradouro, os autores identificaram a Internet das Coisas e a análise de dados como pilares para a redução de desperdícios.

Da mesma forma os autores Psarommatis e Kiritsis, (2022) destacam que a automação avançada foi identificada como suporte para automatização, a computação em nuvem para buscar a precisão da cadeia de produção, as interfaces homem-máquina para o gerenciamento visual e a processos estáveis e padronizados. Enquanto que a manufatura aditiva foi identificada como um elemento disruptivo para buscar a precisão da cadeia de produção (MOFOLASAYO *et al.*, 2022).

Os pesquisadores Mofolasayo *et al.*, (2022) identificaram áreas de oportunidades potenciais de tecnologias confluentes com os princípios da Manufatura Enxuta:

- Interconectividade: por meio da Internet das Coisas (IoT), máquinas, sensores e dispositivos interoperáveis estabelecem conexões e comunicam-se entre si.
- Transparência da informação: a conexão de dados e informações em toda a cadeia produtiva visa à otimização dos procedimentos.
- Suporte técnico: por meio da agregação e análise em tempo real dos dados de processos e sistemas, antecipa-se a identificação ágil de problemas e a implementação de decisões pertinentes.
- Decisões descentralizadas: os elementos interconectados do sistema têm a capacidade de tomar decisões operacionais de forma autônoma, embora exceções, interferências ou metas conflitantes sejam escaladas para um nível superior de tomada de decisão.

Psarommatis e Kiritsis, (2022) identificaram outras áreas promissoras de oportunidades associadas as novas tecnologias na Manufatura Enxuta:

- Personalização em massa de produtos, a fim de satisfazer as demandas dos clientes.
- Aumento da eficiência de recursos, sistemas de manutenção mais eficazes, redução de custos gerais e aceleração no desenvolvimento de produtos novos e/ou aprimorados.
- Possibilidades de acesso a novos mercados e redes de abastecimento.

No repertório bibliográfico, foram empregadas na Manufatura Enxuta tecnologias de ponta, que ampliam os princípios enxutos, tornando as empresas que os adotam mais competitivas (MADDIKUNTA *et al.*, 2022; MOFOLASAYO *et al.*, 2022), conforme observado na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação dos Princípios da Manufatura Enxuta com as novas Tecnologias

Princípios Manufatura	Manufatura Enxuta	Tecnologias
Adicionar Valor:	Ouvir o Cliente	Antecipar as necessidades do cliente
Mapeamento do Fluxo de Valor:	Verificar atividades que não agregam valor	Gerar informações que agregam valor
Fluxo Contínuo de Produção:	Garantir Fluxo do Produto	Garantir Fluxo dos dados
Produção Puxada:	Garantir Produção Puxada	Garantir que produtos e serviços sejam atrativos
Melhoria Contínua:	Melhorar continuamente	Transferir princípios da internet na fabricação (que é esperado pelo cliente)

Fonte: Adaptado de Mofolasayo *et al.*, (2022)

Mofolasayo *et al.*, (2022) demonstram que estas tecnologias desempenharam funções diversas na otimização das operações fabris, potencializando a gestão enxuta que já é reconhecida globalmente por seus benefícios. Mas saliente que existem obstáculos: o custo da aquisição e implementação dessas tecnologias.

Baduge *et al.*, (2022) descreve que tecnologias de ponta têm se mostrado eficazes apoiando a manufatura enxuta, na melhoria da produtividade, especialmente na redução de desperdícios, baseados na busca constante pela melhoria. No entanto, algumas empresas podem enfrentar restrições de capital e decisões que limitam a adoção completa dessas tecnologias.

4. Conclusão

O presente estudo teve como objetivo identificar as práticas e tecnologias emergentes utilizadas em conjunto com a manufatura enxuta atualmente. Os resultados foram obtidos a partir da compilação do portfólio composto por cinco artigos com reconhecido científico confirmado, publicados em 2022.

A metodologia empregada neste estudo consistiu na aplicação do ProKnow-C para orientar a seleção e análise desses artigos. Dessa investigação, obtivemos as práticas e tecnologias emergentes mais proeminentes na Manufatura Enxuta, com destaque para Robótica, Manufatura Aditiva, Análise de Big Data, Computação em Nuvem, Realidade Aumentada, Internet das Coisas e Aprendizado de Máquina, que compuseram 80% das representações.

Entre os artigos destacados, em particular a pesquisa "Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications" foi citada 619 vezes, evidenciando seu reconhecimento científico. Adicionalmente, a análise bibliométrica mostrou que 25 artigos com títulos relacionados ao nosso estudo foram originados de revistas, ressaltando a importância dessas publicações como fonte de pesquisa relevante.

Embora reconheçamos a presença de subjetividade na seleção de artigos, devido aos interesses individuais dos autores, o método ProKnow-C se mostrou uma ferramenta valiosa para buscar e selecionar artigos relacionados ao tema.

Concluimos que a adoção da manufatura enxuta combinada com tecnologias de ponta oferece oportunidades significativas para aprimorar a eficácia, reduzir o desperdício e otimizar o uso de recursos em organizações, alinhando-se aos princípios da Manufatura Enxuta e buscando operações mais eficientes e ágeis.

Embora não exista uma abordagem universal para a integração dessas tecnologias emergentes com a manufatura enxuta, nossa pesquisa destaca sua contribuição substancial para a melhoria do processo produtivo, incluindo a eliminação de desperdícios, um objetivo central da produção enxuta tradicional.

Reconhecemos que a escolha da abordagem mais adequada para alcançar a eficiência na produção depende das circunstâncias específicas de cada empresa. A busca por soluções universais é complexa, e sugerimos que futuras pesquisas envolvam simulações de cenários com diferentes abordagens de manufatura enxuta e tecnologias emergentes, fornecendo insights valiosos para aprimorar as operações de manufatura em um ambiente em constante evolução.

Referências

BADUGE, S. K.; THILAKARATHNA, S.; PERERA, J. S.; ARASHPOUR, M.; SHARAFI, P.; TEODOSIO, B.; SHRINGI, A.; MENDIS, P. Artificial intelligence and smart vision for building

and construction 4.0: Machine and deep learning methods and applications. **Automation in Construction**, v.141, n.1, p.104440, 2022.

BOKHORST, J. A. C.; KNOL, W.; SLOMP, J.; BORTOLOTTI, T. Assessing to what extent smart manufacturing builds on lean principles. **International Journal of Production Economics**, v.253, n.1, p.108599, 2022.

ENSSLIN, L. *et al.* ProKnow-C: Processo de análise sistêmica. **Brasil: Processo técnico com patente de registro pendente junto ao INPI**, 2010.

LACERDA, O.; ENSSLIN L.; ENSSLIN, S. R. A bibliometric analysis of strategy and performance measurement. **Gestão da Produção**, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012.

MADDIKUNTA, P. K. R.; PHAM, Q.; PRABADEVI, B.; DEEPA, N.; DEV, K.; GADEKALLU, T. R.; RUBY, R. LIYANAGE, M. Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. **Journal of Industrial Information Integration**, v.26, n.1, p.100257, 2022.

MOFOLASAYO, A.; YOUNG, S.; MARTINEZ, P.; AHMAD, R. How to adapt lean practices in SMEs to support Industry 4.0 in manufacturing. **Procedia Computer Science**, v.200, n.1, p.934-943, 2022.

PSAROMMATIS, F.; KIRITSIS, D. A hybrid Decision Support System for automating decision making in the event of defects in the era of Zero-Defect Manufacturing. **Journal of Industrial Information Integration**, v.26, n.1, p.100263, 2022.

VIEGAS, C. V.; BOND, A. J.; VAZ, C. R.; BORCHARDT, M.; PEREIRA, G. M.; SELIG, P. M.; VARVAKIS, G. Critical attributes of Sustainability in Higher Education: A categorization from literature review. **Journal of Cleaner Production**, v. 126, n.1, p. 260–276, 2016.