



A ENGENHARIA DE PRODUÇÃO NA ERA DA NANOTECNOLOGIA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

PRODUCTION ENGINEERING IN THE NANOTECHNOLOGY ERA: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Diogo José Horst¹✉

Universidade Federal de São Paulo, Departamento de Engenharia Química, Diadema, SP, Brasil.

✉ diogohorst@gmail.com

Received: 06 maio 2024 / Accepted: 16 fevereiro 2025 / Published: 01 junho 2025

ABSTRACT. The nanotechnology approach to engineering is extremely beneficial for both industry and academia. Within this context, this article presents a systematic literature review summarising the main studies published on nanotechnology and focused on production engineering. To this end, articles published from 2020 to 2023 were collected about the topic through a systematic literature review using the ScienceDirect scientific database. Studies were identified by type of contribution, type of published document, number of publications per year, area of knowledge, and the most relevant contributions selected to compose the final portfolio. The main contribution of this systematic review is to present fundamental concepts of the contribution of nanotechnology to production engineering by addressing socioeconomic aspects, environmental sustainability, and product development, among other industrial applications. In total, 208 articles were collected, and only the 40 most relevant were selected to compose the final portfolio of this research. The final bibliographic portfolio presents essential concepts on how nanotechnology influences the development of studies within the scope of production engineering, therefore contributing to its technological and scientific development.

Keywords: Bibliometrics; Production Engineering; Nanotechnology; Sistematic Literature Review.

RESUMO. O enfoque da nanotecnologia na engenharia é extremamente benéfico tanto para a indústria como para a academia. Dentro deste contexto este artigo apresenta uma revisão sistemática de literatura sumarizando os principais estudos publicados sobre a nanotecnologia e voltados à engenharia de produção. Para isso, através de uma revisão sistemática de literatura foram levantados artigos publicados durante o período de 2020 a 2023, em relação ao tema utilizando a base de dados científica Sciencedirect. Realizou-se a identificação dos estudos por tipo de contribuição, por tipo de documento publicado, número de publicações por ano, por área do conhecimento, e contribuições mais relevantes selecionadas para comporem o portfólio final. A principal contribuição desta revisão sistemática é apresentar conceitos fundamentais da contribuição da nanotecnologia para a engenharia de produção, ao abordar aspectos socioeconômicos, de sustentabilidade ambiental, de desenvolvimento de produto entre outras aplicações industriais. Ao todo, foram levantados 208 artigos e apenas os 40 mais relevantes foram selecionados para compor o portfólio final desta pesquisa. O portfólio bibliográfico final apresenta conceitos essenciais sobre como a nanotecnologia influencia o desenvolvimento de estudos no âmbito da engenharia de produção contribuindo, portanto para seu desenvolvimento tecnológico e científico.

Palavras-chave: Bibliometria; Engenharia de Produção; Nanotecnologia; Revisão Sistemática de Literatura.



1 INTRODUÇÃO

Os programas de engenharia de produção estão preocupados com o design, melhoria e instalação de sistemas integrados de pessoas, materiais, informações, equipamentos e energia. Uma parte importante do currículo de engenharia concentra-se no design e na otimização de produtos e processos.

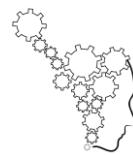
A nanotecnologia surgiu como uma disciplina pioneira com aplicações revolucionárias em vários campos, como biomedicina, têxteis, alimentos, meio ambiente e engenharia. A demanda por nanotecnologia sofreu um aumento significativo nos últimos anos (HARINISRI et al., 2023).

O estudo da ciência a nível nano revolucionou massivamente as indústrias em todo o mundo, e não se limita a laboratórios de pesquisa ou unidades de fabricação em pequena escala para nanomedicina, mas, em vez disso, adotou uma grande participação em diferentes indústrias (MALIK et al., 2023).

As empresas estão agora tentando tornar suas inovações mais eficientes em termos de estruturação, trabalho e projeção de perspectivas e produtividade, aproveitando a nanotecnologia. Desde unidades de fabricação e processamento de pequena escala, como as da agricultura, alimentos e medicina, até unidades de produção em larga escala, como as que operam em indústrias de automóveis, engenharia civil e gestão ambiental, a nanotecnologia manifestou a modernização de quase todas as indústrias em escala global (RAMBARAM e SCHIRHAGL, 2022).

Com pronúncia de cooperação entre pesquisadores, industriais, cientistas, tecnólogos, ambientalistas e educadores, o desenvolvimento mais sustentável de indústrias baseadas em nano pode ser previsto no futuro (NASROLLAHZADEH et al., 2019).

A nanotecnologia desempenha uma era de ouro neste século, tendo emergido como um potencial campo de pesquisa interdisciplinar. As propriedades físicas, elétricas, químicas, magnéticas e ópticas estão entre os atributos de partículas nanométricas. Sensores, motores moleculares e outros nano biomateriais fazem parte da nanotecnologia, uma área multidisciplinar que combina nanotecnologia, biotecnologia, ciência dos materiais e engenharia industrial (TAWADE e WASEWAR, 2023).



Os materiais em nanos escala desempenham um papel crucial na obtenção de alto desempenho na atual tecnologia, sendo governado pela geometria, estrutura e morfologia em nanos escala. Como o termo sugere, os materiais sintetizados através dessa tecnologia, com menos de 100 nm de tamanho, são conhecidos por serem nanoestruturas, nanoagregados e nanocompósitos (SALEH, 2020).

Cerca de US\$ 38,5 bilhões em ganhos foram alcançados em 2020 pelo mercado global de nanomateriais. É esperado um aumento na taxa de receita de aproximado de 12% em relação ao ano de 2021 a 2026 (DAVE e CHATURVEDI, 2021).

O estudo da nanotecnologia deve amparar significativamente a engenharia de produção. Tendo isto posto, a preparação de uma força de trabalho voltada a nanotecnologia é um grande desafio para o progresso da engenharia de produção para a próxima década. Dentro deste contexto, este trabalho procura entender qual a relação da nanotecnologia com a Engenharia de Produção, tendo que esta ligação possibilita o desenvolvimento científico futuro de modo interdisciplinar, com relevante contribuição em diversas áreas do conhecimento envolvendo esta temática.

A pergunta de pesquisa que norteia este estudo é: na contemporaneidade, quais são os estudos que apresentam a contribuições da nanotecnologia para o desenvolvimento da engenharia de produção? Para isso, através de uma revisão da literatura, este artigo teve como objetivo principal levantar de forma sistemática a atual contribuição da nanotecnologia no que se refere ao desenvolvimento da engenharia de produção. E, para atingir o objetivo proposto, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

Entender conceitos sobre nanotecnologia; apresentar exemplos do desenvolvimento da nanotecnologia nas diversas áreas do conhecimento; investigar estudos relevantes sobre nanotecnologia como contribuição para o desenvolvimento da engenharia de produção. Dessa forma, uma revisão integrativa da literatura foi realizada com o intuito de contextualizar o estado da arte acerca do tópico, conforme explicado nos procedimentos metodológicos.

O trabalho apresenta conceitos fundamentais que envolvem a engenharia de produção com foco na nanotecnologia, abordando aspectos econômicos, ambientais, de desenvolvimento de produto e outras aplicações industriais.

Este estudo se justifica pelos crescentes benefícios da aplicação da nanotecnologia na engenharia de produção. É importante que a nanotecnologia seja ensinada durante a graduação



para que os estudantes de engenharia se preparem na sua carreira. Deste modo, a principal contribuição deste estudo é facilitar o entendimento de aspectos básicos da nanotecnologia servindo como norte para acadêmicos de engenharia de produção.

O documento está estruturado em cinco seções, sendo a primeira a Introdução do tema, a seção 2 apresenta a Fundamentação Teórica, a seção 3 a Metodologia, a seção 4 apresenta os Resultados e Discussões, a seção 5 as Considerações Finais, e por fim são apresentadas as Referências Bibliográficas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

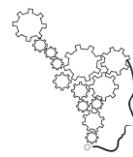
Em termos de pesquisa, a era atual é reconhecida como a era da nanotecnologia. Em quase todos os ramos da ciência, a engenharia e a tecnologia se juntam para dar soluções eficazes de todas as maneiras para servir melhor à humanidade.

O termo nanomaterial tem se tornando popular dia após dia e ganhando a atenção do acadêmico, de estudiosos de pesquisa, e cientistas devido a suas propriedades únicas em comparação com o material a granel (AHIRE et al., 2022).

As propriedades fascinantes dos nanomateriais atraem pesquisadores para desenvolver bons nanomateriais a serem aplicados para a melhoria da sociedade e do meio ambiente. Cientistas e industriais estão desenvolvendo novas tecnologias para derrotar as questões ambientais na extensão máxima, mas ainda assim a solução perfeita ainda não existe. Assim, os nanomateriais são materiais promissores para desenvolver novas tecnologias em todos os ramos da ciência, da engenharia e da tecnologia (BAIG et al., 2021).

Em todo o mundo, bilhões de dólares e euros estão sendo gastos em nanotecnologia para explorar o grande potencial dessa nova ciência, especialmente em países desenvolvidos da Europa, China e América. No entanto, as nações em desenvolvimento ainda estão atrasadas, pois nem conseguem atender à progressão industrial da década anterior (SINGH, et al., 2019).

Esse atraso se dá, principalmente, porque esses países ainda estão lutando economicamente e precisam de algum tempo para caminhar pelo caminho da nanotecnologia. No entanto, é pertinente dizer que as comunidades científicas desenvolvidas do mundo



concordam que a nanotecnologia será o próximo passo na geração tecnológica fazendo parte da nova resolução industrial 4.0 (SARITHA et al., 2022).

Isso tornará uma atualização industrial e investimento no campo da nanotecnologia indispensável nos próximos anos, influenciando como um todo as engenharias, em especial a engenharia de produção devido sua interdisciplinaridade, tendo como matriz curricular disciplinas da física, química, biologia, computação entre outras.

A nanotecnologia tem muitos benefícios potenciais, incluindo economia de energia, suprimentos alternativos de energia, uso eficiente de matérias-primas, proteção ambiental, aplicações agrícolas e avanços médicos. Todas essas aplicações estão relacionadas à engenharia. Assim, é importante que a nanotecnologia seja ensinada durante a graduação para os estudantes de engenharia se preparem e na carreira relacionada à nanotecnologia (MOHAMMAD et al., 2012).

Ainda de acordo com Mohammad et al. (2012), os engenheiros desempenharão um papel muito importante na indústria baseada em nanotecnologia. Assim, o currículo de engenharia também deve fornecer os cursos eletivos necessários em nanotecnologia para que os alunos tenham algum conhecimento quando iniciarem sua carreira como engenheiros. Através de tais cursos e exposição o mais cedo possível durante o estudo de graduação, espera-se que os acadêmicos possam se beneficiar do estudo da nanotecnologia e aspirar a fazer mais pesquisas nessa área.

O campo de nanociência e nanotecnologia é um campo altamente interdisciplinar, com uma confluência de engenharia, tecnologia e ciências puras, como física, química, biologia, matemática e ciências materiais.

Os alunos que procuram uma carreira em nanotecnologia devem estar procurando conhecimento em diferentes áreas. As aplicações da nanotecnologia são amplamente prevalentes em indústrias como: cosméticos, processamento e embalagem de alimentos, agricultura, produtos de consumo, medicamentos e engenharia médica (GORGHIU e GORGHIU, 2012).

Os principais requisitos para o tecnólogo muito inclinado desse campo podem ser mapeados com BSC ou MSC em física, química, ciências da vida ou BE/BTECH em elétrica, eletrônica, comunicação, metalurgia, química, cerâmica, biotecnologia (qualquer cursos relacionados à ciência da vida), mecânica, ciência da computação e tecnologia da informação,



que pode levar a cursos de graduação integrados (MS, MTech ou PhD/PhD integrado) em nanociência, nanotecnologia, nanoeletrônica ou nanobiosciência (SAMAL e BHARATI, 2019).

O aumento do uso de nanomateriais em vários setores levantou preocupações sobre seu impacto na saúde e na segurança, bem como no meio ambiente (MARTIN et al., 2023).

A nanosegurança é fundamental, considerando os riscos associados a nanomateriais fabricados cujas implicações poderiam superar suas vantagens para aplicações ambientais. Embora as soluções baseadas em nanotecnologia para implementar o controle da poluição, a correção e a prevenção sejam incrementais com benefícios claros para a saúde pública e os ecossistemas naturais da Terra, a nanorremediação está tendo um revés devido aos riscos associados à segurança dos nanomateriais para humanos e para o meio ambiente (CORSI et al., 2023).

A indústria de nanotecnologia é considerada o núcleo da próxima revolução tecnológica ilimitada e tem um papel significativo estimulando o crescimento econômico global (ADAM e YOUSEFF, 2019).

A nanotecnologia pode estimular o crescimento econômico e aumentar a capacidade e a qualidade nos setores industriais. Contribuiu substancialmente para o bem-estar da sociedade e moldou a natureza da vida moderna. Tem o potencial de alterar significativamente a dinâmica social, as condições econômicas e a vida humana (HALEEM et al., 2023).

A nanoeconomia é o acordo de nanociência e economia para acelerar a rapidez da mudança tecnológica. Não é a aplicação de um campo para estudar outro campo. A nanoeconomia promete, com isso, tornará possível o crescimento econômico mais verde e sustentável (DAVE e CHATURVETI, 2021).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho a metodologia utilizada foi baseada em uma revisão sistemática integrativa de literatura. De acordo com Oliveira (2011) esta revisão integrativa de literatura possui natureza básica e abordagem qualitativa, e quanto aos objetivos é classificada como exploratória, e quanto aos procedimentos técnicos é classificada como teórica, bibliográfica ou documental.



Os passos a serem seguidos estão descritos em 6 fases de acordo com a metodologia estabelecida por Pagani et al. (2015): Fase 1 - Estabelecendo a intenção da pesquisa; Fase 2 – Realização de pesquisa preliminar exploratória em bases de dados; Fase 3 - Definição e combinação de palavras-chave e bases de dados; Fase 4 – Realização de pesquisa final nas bases de dados; Fase 5 – Aplicação dos procedimentos de filtragem; Fase 6 - Identificação do tipo de contribuição por tipo de documento publicado, número de publicações por ano, publicações por área do conhecimento, e contribuições mais relevantes selecionadas para compor o portfólio final.

No desenvolvimento metodológico deste estudo, pesquisou-se na base de dados científica Sciedirect, as palavras-chave: “Nanotecnologia e Engenharia de Produção”; “Nanotecnologia e Meio-Ambiente”; “Nanotecnologia e Economia”, e “Nanotecnologia e Educação.

Após leitura do título, do abstract e das palavras-chave, os artigos que não estiveram dentro do escopo da pesquisa foram excluídos do portfólio final.

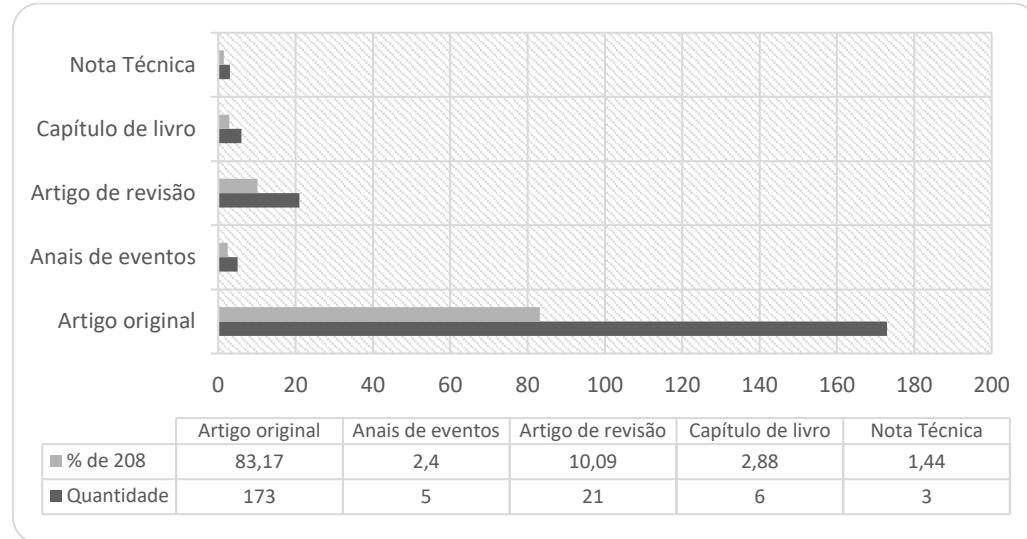
Inicialmente, em uma primeira leitura, buscar-se-á por estudos dentro do marco temporal do último triênio (2020-2023), sendo estes escolhidos de acordo com o título e, ao ler o resumo, aqueles que não se enquadram com o tema foram excluídos do portfólio bibliográfico deste estudo. Este estudo se justifica pelos crescentes benefícios da aplicação da nanotecnologia nas diversas áreas da engenharia de produção.

4 RESULTADOS

Ao todo foram encontrados 208 artigos na base de dados Sciedirect. Posteriormente, foi realizada uma nova filtragem visando publicações voltadas ao tema, eliminando assim 143 artigos. Dos 65 artigos restantes, 40 foram caracterizados como mais relevantes para compor o portfólio bibliográfico e alimentar a discussão sobre o tema. Este levantamento foi realizado em outubro de 2023. A FIGURA 1 apresenta os tipos de publicações identificadas no Sciedirect no período entre 2020 e 2023 relacionadas ao tema:



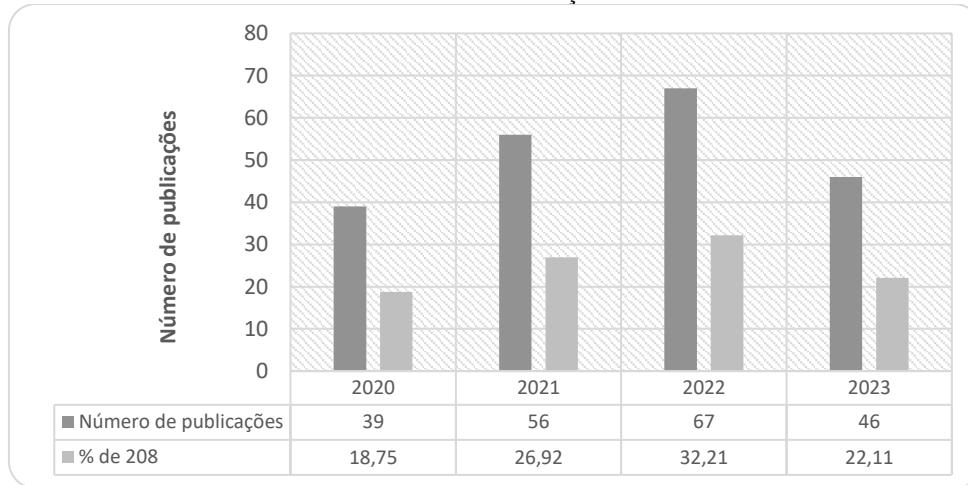
FIGURA 1- TIPO DE DOCUMENTO PUBLICADO



FONTE: O autor (2024)

Observa-se que o número de artigos originais (173) é superior aos demais tipos de documentos. Dentro do universo de pesquisa pesquisado, levando em consideração as 40 publicações selecionadas para o portfólio final, é possível quantificar as publicações dos autores mais relevantes sobre o tema estudado. A FIGURA 2 apresenta o número de publicações por ano (tríenio 2020-2023) referentes ao portfólio bibliográfico final:

FIGURA 2 - NÚMERO DE PUBLICAÇÕES POR ANO



FONTE: O autor (2024)

De acordo com os resultados é possível verificar que o número de publicações foi mais expressivo nos anos de 2021 e 2022. A FIGURA 3 apresenta as contribuições por área de investigação mais relevantes, tendo em conta os artigos selecionados nesta pesquisa:

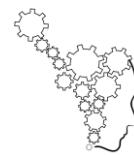
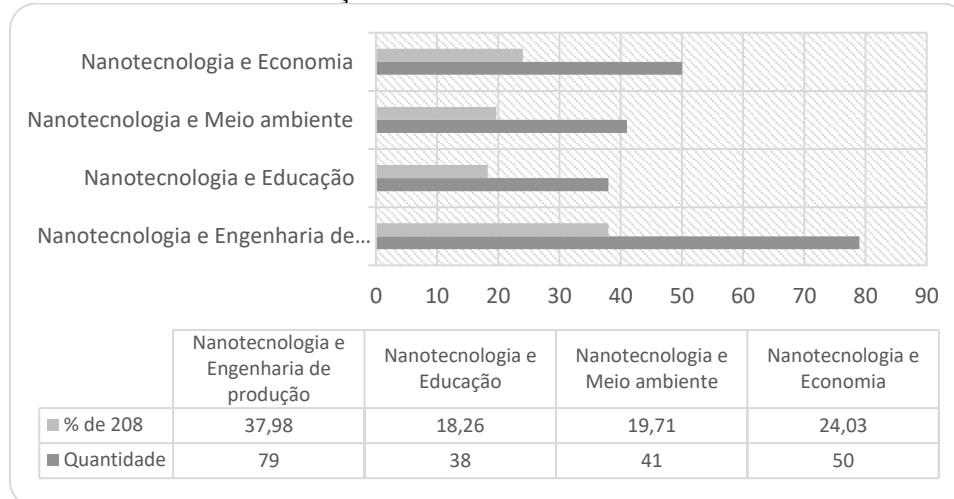


FIGURA 3 - PUBLICAÇÕES POR ÁREA DO CONHECIMENTO



FONTE: O autor (2024)

Conforme os resultados pode se perceber que o estudo da nanotecnologia voltada as Engenharias apresenta maior enfoque, seguida por estudos de seu impacto na Economia, Meio Ambiente e Educação.

O QUADRO 1 apresenta as 40 contribuições atuais consideradas mais relevantes sobre o tema e levantadas neste estudo, as quais foram selecionadas para compor o portfólio final desta pesquisa bibliográfica:

QUADRO 1. ARTIGOS SELECIONADOS PARA COMPOR O PORTFÓLIO FINAL

TÍTULO DO ESTUDO	AUTOR	ANO
Nanotechnology for stem cell and tissue engineering	Cho et al.	2023
Nanotechnology based technological development in biofuel production: Current status and future prospects	Sheik et al.	2023
Prospects of microalgae in nutraceuticals production with nanotechnology applications	Tan et al.	2023
Nanotechnology – A new frontier of nano-farming in agricultural and food production and its development	Harris et al.	2023
Chapter 4 - Nanotechnology in biological science and engineering	Tawade and Wasewar	2023
Diverse application of green nanotechnology – A review	Harinisri et al.	2023
Towards safe and sustainable innovation in nanotechnology: State-of-play for smart nanomaterials	Gottardo et al.	2021
Development of STEAM activity on nanotechnology to determine basic science process skills and engineering design process for high school students	Khamhaengpol et al.	2021
Chapter 1 - Nanotechnology in rural development	Kumar and Dixit	2021
Nanotechnologies for the sustainable valorization of biowastes	Selva	2020



TÍTULO DO ESTUDO	AUTOR	ANO
Chapter 22 - Green nanotechnology for the environment	Raja et al.	2022
Chapter 3 - Sustainable energy production using nanomaterials and nanotechnology	Manickam et al.	2021
Barriers to responsible innovation of nanotechnology applications in food and agriculture: A study of US experts and developers	Cummings et al.	2021
Smart and innovative nanotechnology applications for water purification	Kumar	2023
Nanotechnology as a sustainable approach for combating the environmental effects of climate change	Causali et al.	2023
Nanotechnology applications in sustainable agriculture: An emerging eco-friendly approach	Gupta et al.	2023
Nanotechnology: A boon for agriculture	Bala et al.	2023
Emerging algal nanotechnology for high-value compounds: A direction to future food production	Koyande et al.	2021
Nanotechnology-assisted production of value-added biopotent energy-yielding products from lignocellulosic biomass refinery – A review	Dei et al.	2022
Responsible nanotechnology for a sustainable future	Osherov et al.	2023
Advancement of nanotechnologies in biogas production and contaminant removal: A review	François et al.	2023
A state-of-the-art on the application of nanotechnology for enhanced biohydrogen production	Karthikeyan and Velvizhi	2023
Review on nanotechnology “Impact on the food services industry”	Saini et al.	2023
Technological innovation for sustainable development: Is agricultural and food nanotechnology a viable alternative?	Barragón-Ocaña et al.	2023
Delineating development trends of nanotechnology in the semiconductor industry: Focusing on the relationship between science and technology by employing structural topic model	Kang et al.	2023
Agriculture nanotechnology: Translating research outcome to field applications by influencing environmental sustainability	Acharya and Pal	2020
Nanotechnology in solid state batteries, what's next?	Zhang et al.	2023
Role of nanotechnology in research fields: Medical sciences, military & tribology- A review on recent advancements, grand challenges and perspectives	Singh and Kaur	2023
A comparative study of research and development related to nanotechnology in Egypt, Nigeria and South Africa	Muhammad	2022
Public benefit and risk perceptions of nanotechnology development: Psychological and sociological aspects	Kamarulzaman et al.	2020
Public perception of nanotechnology: A contrast between developed and developing countries	Rathore and Mahesh	2021
Chapter 24 - Current developments in nanotechnology for the growth of different industrial sectors: 2010–20	Dasauni and Nailwal	2022
Nanotechnology and Computer Science: Trends and advances	Taha et al.	2022



TÍTULO DO ESTUDO	AUTOR	ANO
Nanotechnology in the agri-food sector: Consumer perceptions	Gómez-Llorente et al.	2022
Nanotechnology for next-generation cancer immunotherapy: State of the art and future perspectives	Chen	2023
A roadmap to strengthen standardisation efforts in risk governance of nanotechnology	Rasmussen et al.	2023
Impact and challenges of nanotechnology in enhanced oil recovery	Sharma et al.	2023
Nanotechnology as a powerful tool in plant sciences: Recent developments, challenges and perspectives	Kumari et al.	2023
Nanotechnology - Big impact: How nanotechnology is changing the future of agriculture?	Saritha et al.	2023
Emerging micropollutants in aquatic ecosystems and nanotechnology-based removal alternatives: A review	Narwal et al	2023

FONTE: O autor (2024)

5 CONCLUSÃO

Este artigo apresenta uma revisão abrangente da literatura publicada sobre nanotecnologia com foco na engenharia de produção. Para isso, foram selecionados artigos publicados de 2020 a 2023 na base de dados científica Sciencedirect.

A identificação do tipo de contribuição foi realizada de acordo com o tipo de documento publicado, o número total de publicações por ano, as publicações por área do conhecimento e as contribuições mais pertinentes as quais foram escolhidas para compor o portfólio final.

Ao todo, foram coletados 208 artigos e apenas os 40 mais pertinentes foram escolhidos para formar o portfólio final da pesquisa. Esta revisão fornece conceitos essenciais sobre como a nanotecnologia afeta a engenharia de produção, abordando aspectos de sustentabilidade ambiental, desenvolvimento de produto, socioeconômico dentre outras aplicações relevantes para a indústria e academia.

Dessa forma o objetivo geral foi alcançado, a metodologia baseada em Pagani et al., (2015) foi adequada para compor de forma sistemática um portfólio bibliográfico com os artigos mais relevantes acerca do tema.

Para pesquisas futuras, sugere-se estudar outros aspectos da nanotecnologia aliada a engenharia de produção e também os mesmos aspectos abordados aqui, porém em outras bases de dados do conhecimento como Wiley, Scopus e Google Acadêmico.



REFERÊNCIAS

- ACHARYA, A.; PAL, P.K. Agriculture nanotechnology: Translating research outcome to field applications by influencing environmental sustainability. **NanoImpact**, 2020, 19: 100232. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2020.100232>
- ADAM, H.; YOUSSEF, A. Economic Impacts of Nanotechnology Industry: Case Study on Egypt (January 6, 2019). **Proceedings of 10th International Conference on Digital Strategies for Organizational Success**, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3314931>
- AHIRE, S.A.; BACHHAV, A.A.; PAWAR, T.B. et al. The Augmentation of nanotechnology era: A concise review on fundamental concepts of nanotechnology and applications in material science and technology. **Results in Chemistry**, 2022, 4:100633. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2022.100633>
- BAIG, N., KAMMAKAKAM, I.; FALATH, W. Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. **Mater. Adv.**, 2 (6) (2021), pp. 1821-1871, [10.1039/D0MA00807A](https://doi.org/10.1039/D0MA00807A)
- BALA, M.; BANSAL, S.K.; FATIMA, F. Nanotechnology: A boon for agriculture. **Materials Today Proceedings**, 73, Part 2, 2023, Pages 267-270. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.498>
- BARRAGÓN-OCAÑA, A.; OLVERA-TREVIÑO, M. de L.A.; SILVA-BORJAS, P. Technological innovation for sustainable development: Is agricultural and food nanotechnology a viable alternative? **World Patent Information**, 2023, 75:102235. <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2023.102235>
- CAUSALI, N.; SAXENA, J.; PRASAD, R. Nanotechnology as a sustainable approach for combating the environmental effects of climate change. **Journal of Agriculture and Food Research**, 12, 2023, 100541. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100541>
- CHEN, Y. Nanotechnology for next-generation cancer immunotherapy: State of the art and future perspectives. **Journal of Controlled Release**, 2023, 356:14-25. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2023.02.016>
- CHO, S-W.; KIM, J.; KIM, Y.H. Nanotechnology for stem cell and tissue engineering. **Encyclopedia of Nanomaterials**, 2023, 3, 643-656. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822425-0.00046-4>.
- CORSI, I.; VENDITTI, I.; TROTTA, F.; PUNTA, C. Environmental safety of nanotechnologies: The eco-design of manufactured nanomaterials for environmental remediation. **Science of The Total Environment**, 864, 2023, 161181. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161181>
- CUMMINGS, C.L.; KUZMA, J.; KOKOTOVICH, A.; et al. Barriers to responsible innovation



of nanotechnology applications in food and agriculture: A study of US experts and developers. **NanoImpact**, 2021, 23:100326. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2021.100326>

DAVE, P.N.; CHATURVEDI, S. **Chapter Sixteen - The economic contributions of nanotechnology to green and sustainable growth.** Handbook of Functionalized Nanomaterials Environmental Health and Safety. Micro and Nano Technologies, Elsevier, 2021, Pages 365-380. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822415-1.00006-8>

DASAUNI, K.; NAILWAL, T.K. **Chapter 24 - Current developments in nanotechnology for the growth of different industrial sectors: 2010–20.** Nano-enabled Agrochemicals in Agriculture, 2022, Pages 425-433. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91009-5.00017-3>

DEI, N.; KUMAR, G.; VICKRAM, A.S.; MOHAN, M. et al. Nanotechnology-assisted production of value-added biopotent energy-yielding products from lignocellulosic biomass refinery – A review. **Bioresource Technology**, 344, part A, 2022, 126171. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126171>

FRANÇOIS, M.; LIN, K-S.; RACHMADONA, N.; KHOO, K.S. Advancement of nanotechnologies in biogas production and contaminant removal: A review. **Fuel**, 2023, 340: 127470. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127470>

GÓMEZ-LLORENTE, H.; HERVÁS, P.; PÉREZ-ESTEVE, E. et al. Nanotechnology in the agri-food sector: Consumer perceptions. **NanoImpact**, 2022, 26:100399. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2022.100399>

GORGHIU, L.M.; GORGHIU, G. Teachers' Perception Related to the Promotion of Nanotechnology Concepts in Romanian Science Education. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 46, 2012, 4174-4180. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.221>

GOTTARDO, S.; MECH, A.; DRBOHLAVOVÁ, J.; et al. Towards safe and sustainable innovation in nanotechnology: State-of-play for smart nanomaterials. **NanoImpact**, 2021, 21:100297. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2021.100297>

GUPTA, A.; RAYEEN, F.; MISHRA, R.; TRIPATHI, M.; PATHAK, N. Nanotechnology applications in sustainable agriculture: An emerging eco-friendly approach. **Plant Nano Biology**, 4, 2023, 100033. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2023.100033>

HALEEM, A.; JAVAID, M.; SINGH, R.P.; RAB, S.; SUMAN, R. Applications of nanotechnology in medical field: a brief review. **Global Health Journal**, 7(2): 2023, 70-77. <https://doi.org/10.1016/j.glohj.2023.02.008>

HARINISRI, K.; JAYANTHI, N.; KUMAR, R.S. Diverse application of green nanotechnology – A review. **Material Proceedings Today**. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.06.08>

HARRIS, M.; HUSSAIN, T.; MOHAMED, H.I. et al. Nanotechnology – A new frontier of



nano-farming in agricultural and food production and its development. **Science of The Total Environment**, 2023, 857(3): 159639. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159639>

KANG, I.; YANG, J.; LEE, W.; SEO, E-Y.; LEE, D-H. Delineating development trends of nanotechnology in the semiconductor industry: Focusing on the relationship between science and technology by employing structural topic model. **Technology in Society**, 2023, 74:102326. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102326>

KHARTIKEYAN, B.; VELVIZHI, G. A state-of-the-art on the application of nanotechnology for enhanced biohydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.04.237>

KHAMHAENGPOL, A.; SRIPROM, M.; CHUAMCHAITRAKOO, P. Development of STEAM activity on nanotechnology to determine basic science process skills and engineering design process for high school students. **Thinking Skills and Creativity**, 2021, 39: 100796. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100796>

KOYANDE, A.K.; CHEW, K.W.; MANICKAM, S.; CHANG, J-S.; SHOW, P-L. Emerging algal nanotechnology for high-value compounds: A direction to future food production. **Trends in Food Science & Technology**, 116:290-302, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.07.026>

KUMAR, N.; DIXIT, A. Chapter 1 - Nanotechnology in rural development. Nanotechnology for Rural Development. **Micro and Nano Technologies**, 2021, Pages 1-32. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824352-7.00007-4>

KUMAR, N.S. Smart and innovative nanotechnology applications for water purification. **Hybrid Advances**, 2023, 3: 100044. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2023.100044>

KUMARI, A.; RANA, V.; YADAV, S.K.; KUMAR, V. Nanotechnology as a powerful tool in plant sciences: Recent developments, challenges and perspectives. **Plant Nano Biology**, 2023, 5:100046. <https://doi.org/10.1016/j.plana.2023.100046>

KUMARULZAMAN, N.A.; LEE, K.E.; SIEW, K.S.; MOKHTAR, M. Public benefit and risk perceptions of nanotechnology development: Psychological and sociological aspects. **Technology in Society**, 2020, 62:101329. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101329>

MALIK, S.; MUHAMMAD, K.; WAHEED, Y. Nanotechnology: A Revolution in Modern Industry. **Molecules**. 2023 Jan; 28(2): 661. [doi: 10.3390/molecules28020661](https://doi.org/10.3390/molecules28020661)

MANICKAM, N.K.; KANDASAMY, S.; JAYABHARATY, J.; et al. **Chapter 3 - Sustainable energy production using nanomaterials and nanotechnology**. Nanomaterials. Application in Biofuels and Bioenergy Production Systems, 2021, Pages 57-62. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822401-4.00037-4>

MARTIN, C.; NOURIAN, A.; BABAIE, M.; NASR, G.G. Environmental, health and safety



assessment of nanoparticle application in drilling mud – Review. **Geoenergy Science and Engineering**, 226, 2023, 211767. <https://doi.org/10.1016/j.geoen.2023.211767>

MOHAMMAD, A.W.; LAU, C.H.; ZAHARIM, A.; OMAR, M.Z. Elements of Nanotechnology Education in Engineering Curriculum Worldwide. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 60, 17, 2012, 405-412. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.398>

MUHAMMAD, I.D. A comparative study of research and development related to nanotechnology in Egypt, Nigeria and South Africa. **Technology in Society**, 2022, 68:101888. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101888>

NARWAL, N.; KATYAL, D.; KATARIA, N. et al. Emerging micropollutants in aquatic ecosystems and nanotechnology-based removal alternatives: A review. **Chemosphere**, 2023, 341:139945. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139945>

NASROLLAHZADEH, M.; SAJADI, S.M.; SAJJADI, M.; ISSAABADI, Z. **Chapter 4 - Applications of Nanotechnology in Daily Life. Interface Science and Technology**, 28, 2019, 113-143. ELSEVIER, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813586-0.00004-3>

OLIVEIRA, MAXWELL FERREIRA DE. **Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em Administração**. Maxwell Ferreira de Oliveira. -Catalão: UFG, 2011. 72 p.: il.

OSHEROV, A.; PRASAD, R.; CHRZANOWSKI, W.; NEW, E.J. et al. Responsible nanotechnology for a sustainable future. **One Earth**, 6,(7): 763-766, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.06.010>

PAGANI, R.; KOVALESKI, J.L.; RESENDE, L.M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, 104(3):1-27, 2015. <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>

RAMBARAM, T.; SCHIRHAGL, R. Nanotechnology from lab to industry – a look at current trends. **Nanoscale Adv.**, 2022, 4, 3664-3675. [DOI: 10.1039/D2NA00439A](https://doi.org/10.1039/D2NA00439A)

RAJA, R.K.; HAZIR, S.; BALASUBRAMANI, G.; et al. **Chapter 22 – Green nanotechnology for the environment**. Handbook of Microbial Nanotechnology, 2022, Pages 461-478. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823426-6.00006-1>

RASMUSSEN, K.; BLEEKER, E.A.J.; BAKER, J. et al. A roadmap to strengthen standardisation efforts in risk governance of nanotechnology. **NanoImpact**, 2023, 32, 100483. <https://doi.org/10.1016/j.impact.2023.100483>

RATHORE, A.; MAHESH, G. Public perception of nanotechnology: A contrast between developed and developing countries. **Technology in Society**, 2021, 67:101751. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2021.101751>



- SAINI, P.; MANIKANIKA, K.L Review on nanotechnology “Impact on the food services industry”. **Materials Today Proceedings**, 2023, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.377>
- SALEH, T.A. Nanomaterials: Classification, properties, and environmental toxicities. **Environmental Technology e Innovation**, 20, 2020, 101067. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101067>
- SAMAL, S.S.; BHARATI, A. Gaps in engineering education with a categorical analysis on nanotechnology in India. **Materials Today Proceedings**, 10(1), 121-135, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.02.197>
- SARITHA, G.N.G.; ANJU, T.; KUMAR, A. Nanotechnology - Big impact: How nanotechnology is changing the future of agriculture? **Journal of Agriculture and Food Research**, 10, 2022, 100457. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100457>
- SHARMA, P.; GUHA, A.; DAS, S. Impact and challenges of nanotechnology in enhanced oil recovery. **Materials Today Proceedings**, 2023, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.05.655>
- SHEIKH, Z.U.D.; BAJAR, S.; DEVI, A.; et al. Nanotechnology based technological development in biofuel production: Current status and future prospects. **Enzyme and Microbial Technology**, 2023, 171, 110304. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2023.110304>
- SINGH, H.; KAUR, Role of nanotechnology in research fields: Medical sciences, military & tribology- A review on recent advancements, grand challenges and perspectives. **Materials Today Proceedings**. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.02.061>
- SINGH, A.; DUBEY, S.; DUBEY, H.K. Nanotechnology: The Future of Engineering. **International Journal of Advance and Innovative Research**. 6(2)III, 230-233.
- TAN, K.Y.; LOW, S.S.; MANICKAN, S. et al. Prospects of microalgae in nutraceuticals production with nanotechnology applications. **Food Research International**, 2023, 169, 112870. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112870>
- TAHA, T.B.; BARZINJI, A.A.; HUSSAIN, F.H.S.; NURTAYEVA, T. Nanotechnology and Computer Science: Trends and advances. **Memories - Materials, Devices, Circuits and Systems**, 2022, 2:100011. <https://doi.org/10.1016/j.memori.2022.100011>
- TAWADE, P.V.; WASEWAR, K.L. **Chapter 4 - Nanotechnology in biological science and engineering.** Environmental Applications of Microbial Nanotechnology. *Emerging Trends in Environmental Remediation*, Elsevier, 2023, 43-64. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91744-5.00015-1>
- ZHANG, Y-H.; WU, L-R.; MA, J.; CUI, G. Nanotechnology in solid state batteries, what's next? **Next Nanotechnology**, 2023, 2:100011. <https://doi.org/10.1016/j.nxnano.2023.100011>



ZU, S.; MENG, H.; GU, Z.; ZHAO, Y. Research trend of nanoscience and nanotechnology – A bibliometric analysis of Nano Today. **NanoToday**, 2021, 39:101233.
<https://doi.org/10.1016/j.nantod.2021.101233>