

## OTIMIZANDO PROCESSOS DE ENGENHARIA COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: LÓGICA FUZZY NO CONTROLE DE QUALIDADE NA MANUFATURA ENXUTA

Rhuan Fellipe Fernandes de Oliveira<sup>1</sup>, Sérgio Tenório dos Santos Neto<sup>1</sup>, Vitoria Elini Ramos Costa<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Fatec Guaratinguetá – Prof. João Mod, Av. Prof. João Rodrigues Alckmin, 1.501 - Jardim Esperança - CEP: 12517-475 - Guaratinguetá/SP, rhuan.fernandes@unesp.br, sergio.tenorio@unesp.br, vitoriaelinirc@gmail.com

### Resumo

Este artigo realiza uma análise detalhada sobre como a Inteligência Artificial (IA) e a lógica *fuzzy* estão revolucionando o controle de qualidade na manufatura enxuta. Através de uma revisão abrangente da literatura, o estudo examina o impacto dessas tecnologias na otimização dos processos de produção e destaca a importância da gestão de projetos na sua implementação bem-sucedida. A pesquisa aborda como a IA melhora a detecção precoce de defeitos, reduz custos operacionais e aumenta a eficiência produtiva. Explora a lógica *fuzzy* como um sistema adaptativo para controlar a qualidade e suas aplicações práticas na manufatura. Além disso, analisa técnicas de IA como visão computacional e aprendizado de máquina, demonstrando como essas abordagens moldam o futuro da indústria. A integração dessas tecnologias com a gestão de projetos é essencial para a eficiência operacional e a vantagem competitiva no mercado global.

**Palavras-chave:** Produção, engenharia, processo, *fuzzy*.

**Área do Conhecimento:** Engenharias – Engenharia de produção.

### Introdução

No cenário competitivo e em constante evolução da indústria de manufatura, a qualidade dos produtos desempenha um papel vital para a sustentabilidade e sucesso das empresas. Garantir a excelência na entrega de produtos que atendam aos mais altos padrões não é apenas essencial para a satisfação do cliente, mas também para a conquista e manutenção de uma posição competitiva em um mercado global em constante mudança. No entanto, os desafios enfrentados no controle de qualidade tradicional, como a variabilidade de processos, os altos custos e a detecção tardia de defeitos, têm testado os limites das estratégias convencionais.

Diante desse contexto desafiador, a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na manufatura emerge como uma solução inovadora e transformadora, oferecendo a promessa de otimização substancial e aprimoramento do controle de qualidade. A Inteligência Artificial (IA), com suas capacidades avançadas de processamento de dados e análise, juntamente com a lógica *fuzzy* como um sistema de controle adaptável, está revolucionando a indústria ao permitir a detecção precoce de defeitos, a redução de custos operacionais, o aumento da eficiência e, por fim, a entrega de produtos de qualidade superior.

Nesse sentido, a presente pesquisa visa explorar as maneiras pelas quais a IA está transformando o setor industrial, bem como a importância crucial da lógica *fuzzy* na implementação de sistemas de controle de qualidade adaptativos na manufatura enxuta. Além disso, o estudo enfatiza a relevância da gestão de projetos como um pilar fundamental na eficácia da aplicação dessas tecnologias inovadoras. A análise textual aqui apresentada abrange uma revisão abrangente da literatura especializada, destacando a interseção entre a IA, a lógica *fuzzy* e a excelência na manufatura.

Por meio de exemplos práticos, citações de especialistas e estudos de caso relevantes, este artigo visa apresentar uma análise crítica e uma visão abrangente das tendências emergentes no campo da manufatura enxuta, ressaltando o impacto da IA e da lógica *fuzzy* no aprimoramento dos processos de controle de qualidade.

A compreensão desses avanços é essencial para que as empresas possam se adaptar às demandas cada vez mais rigorosas do mercado global, mantendo-se competitivas e eficientes na entrega de produtos de alta qualidade.

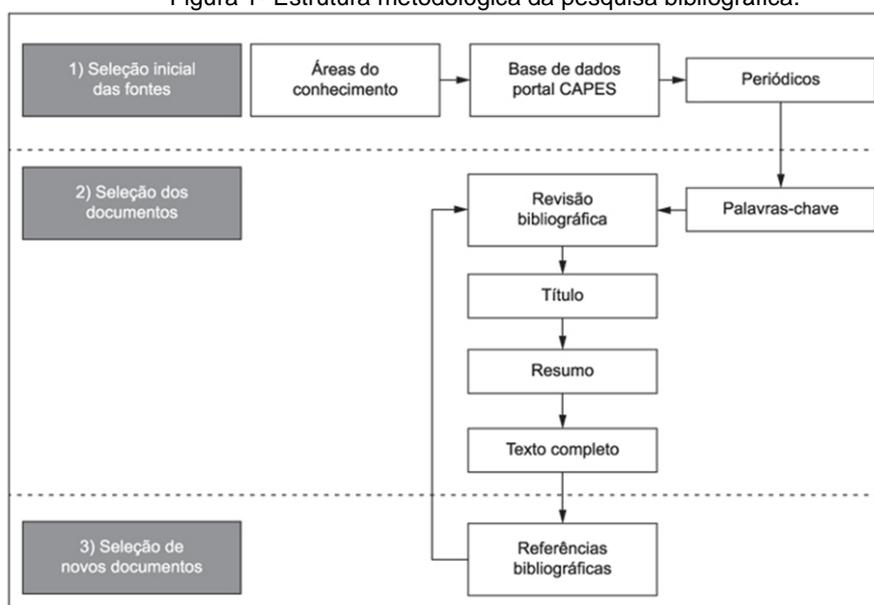
Segundo Paladini (2009), a qualidade é a melhor estratégia de negócios de todos os tempos, neste cenário em constante evolução, a Inteligência Artificial (IA) emerge como uma força transformadora, prometendo otimizar e aprimorar substancialmente o controle de qualidade na manufatura enxuta. Este artigo explorará as maneiras pelas quais a IA está revolucionando o setor industrial, permitindo a detecção precoce de defeitos, a redução de custos, o aumento da eficiência e, em última análise, a entrega de produtos de qualidade superior. Através da visão computacional, aprendizado de máquina e otimização de processos, a IA está moldando o futuro da qualidade na produção industrial, como proclamado por aqueles que reconhecem seu impacto significativo.

## Metodologia

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo exploratório por realizar uma revisão da literatura, acerca de como está o desenvolvimento de métodos de avaliação lógica *fuzzy* na manufatura. É também considerado um estudo teórico-conceitual, no qual se realiza uma discussão dos métodos de avaliação da lógica *fuzzy* na manufatura, selecionados por meio de pesquisa bibliográfica. Justifica-se a utilização da pesquisa bibliográfica devido à necessidade de identificar, compreender e monitorar o progresso da pesquisa em uma determinada área do conhecimento. Ademais, a condução de pesquisas bibliográficas permite a análise do estado da arte e a detecção de possíveis lacunas existentes, bem como a identificação de oportunidades para contribuições adicionais no campo em estudo (MEREDITH, 1993; VILLAS; SOARES; RUSSO, 2008). Isso aponta para perspectivas a serem exploradas em pesquisas futuras (NORONHA; FERREIRA, 2000).

A estrutura metodológica adotada para a execução do levantamento bibliográfico é exposta na Figura 1. O método adotado difere em parte da abordagem proposta por Villas, Soares e Russo (2008) devido ao fato de que, similarmente a outros estudos de revisão de literatura no campo da engenharia de produção, processos e gestão de operações (MARASCO, 2008; CARNEVALLI; MIGUEL, 2008; LAGE JÚNIOR; GODINHO FILHO, 2010), apenas os artigos publicados em periódicos científicos foram considerados. Esta escolha decorre de uma seleção e avaliação mais rigorosas, em comparação com os artigos apresentados em congressos e simpósios (CARNEVALLI; MIGUEL, 2008), além de ser reconhecidos como pesquisas de maior profundidade, tanto em termos de coleta de informações, quanto na divulgação de novas descobertas (NGAI et al., 2008).

Figura 1- Estrutura metodológica da pesquisa bibliográfica.



Fonte: Adaptado por Villas, Soares e Russo (2008).

Na etapa inicial deste estudo, a busca por fontes bibliográficas pertinentes foi realizada, abrangendo as áreas de Engenharia e Multidisciplinar, por meio da consulta às seguintes bases de dados disponíveis nos periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES): ACM Digital Library, ACS Journals Search, Cambridge University Press, EBSCO, Emerald, Gale, HighWire Press, IEEE Xplore, ProQuest, Sage, SciELO, ScienceDirect (Elsevier), Scopus, SpringerLink (MetaPress) e Wilson. A decisão de recorrer ao portal CAPES é fundamentada em sua ampla cobertura e acessibilidade facilitada para a comunidade científica brasileira, oferecendo acesso às versões eletrônicas dos principais periódicos científicos (MEIRELLES; MACHADO, 2007).

Na fase seguinte da pesquisa, foram selecionadas publicações relevantes usando resumos, palavras-chave e títulos, com foco em artigos recentes. As palavras-chave usadas incluíram "fuzzy", "lógica", "manufatura", "projetos", "processos", "engenharia", "indústria 4.0" e "IA", tanto isoladamente quanto em combinações. A análise inicial envolveu a leitura dos títulos e resumos para escolher os artigos que atendiam aos objetivos do estudo, com ênfase na avaliação da lógica fuzzy na manufatura enxuta. Foram excluídos artigos que tratavam de práticas isoladas da lógica fuzzy, como os de Fogarty (1992), Biazzo e Pannizzolo (2000), e outros mencionados. Na etapa final, foram investigadas as referências bibliográficas dos artigos selecionados para identificar novos métodos de avaliação da lógica fuzzy, enriquecendo a pesquisa.

## Resultados

### 1. Soluções da Inteligência Artificial no controle de Qualidade na Manufatura Enxuta

Segundo Engineering (2022), a Inteligência Artificial (IA) oferece soluções inovadoras para os desafios do controle de qualidade na manufatura, onde existem três maneiras pelas quais a Inteligência Artificial (IA) está sendo aplicada com sucesso:

- I. Visão Computacional: a visão computacional é uma área da IA que permite que as máquinas analisem imagens e vídeos de forma semelhante ao cérebro humano. Na manufatura, sistemas de visão computacional podem ser usados para inspecionar produtos em tempo real. Eles podem identificar defeitos visuais, como rachaduras, arranhões, desalinhamentos e outras imperfeições de forma precisa e consistente. Isso reduz a necessidade de inspeções manuais demoradas e propensas a erros.
- II. Aprendizado de Máquina: o aprendizado de máquina é uma tecnologia que permite que sistemas de IA aprendam com dados e melhorem seu desempenho ao longo do tempo. No controle de qualidade, algoritmos de aprendizado de máquina podem ser treinados com dados de produtos de alta qualidade para identificar defeitos com base em características específicas.
- III. Otimização de Processo: além de identificar defeitos, a IA também pode otimizar o processo de manufatura como um todo. Algoritmos de IA podem analisar dados de processo para identificar oportunidades de melhoria e otimização. Isso pode incluir ajustes de parâmetros de produção em tempo real para maximizar a qualidade e a eficiência.

### 2. Método de Aplicação para a solução - Lógica Fuzzy

A tecnologia conhecida como sistema lógico *fuzzy* foi desenvolvida por Zadeh (ZADEH, 1965) para inferir informação a partir de nossa impressão do fenômeno. Cada observação de uma variável *fuzzy* indica o conjunto que melhor representa a variável, que possui o objetivo de pegar casos que não possuíram sucesso e analisa-los e transformar em caso de sucesso para um determinado problema, a aplicação da lógica *fuzzy* no controle de qualidade na manufatura é uma abordagem eficaz para lidar com variabilidades e incertezas que frequentemente ocorrem em processos de fabricação, além de trazer conceitos de Gestão de Projetos que ajudam na aplicação da lógica *Fuzzy*, segundo Zadeh (1965) Há maneiras de como a lógica *fuzzy* é utilizada:

A lógica fuzzy é aplicada em várias áreas do controle de qualidade para lidar com incertezas e variabilidades. Ela permite a definição de padrões de qualidade em termos de graus de pertinência, ao invés de critérios rígidos. Na avaliação de qualidade, a lógica fuzzy lida com dados imprecisos de sensores, ajustando a análise às incertezas das medições.

Para a detecção de defeitos, a lógica fuzzy classifica falhas em categorias imprecisas, como "pequeno defeito" ou "grande defeito". Em controle de processos, controladores fuzzy ajustam parâmetros em tempo real, considerando variações nas condições de operação. Também é usada para analisar tendências de qualidade ao longo do tempo e tomar decisões flexíveis sobre a aceitação ou rejeição de produtos. Além disso, a lógica fuzzy auxilia na melhoria contínua ao identificar áreas de aperfeiçoamento e adapta-se a mudanças no ambiente de manufatura.

## Discussão

A manufatura, ou fabricação, é o processo de transformar matérias-primas em produtos acabados por meio de diversas técnicas e maquinários, visando atender a padrões de qualidade e custos definidos (Groover, 2015). A Inteligência Artificial (IA), como descrito por Sichman (2021), é uma área da ciência da computação focada em criar sistemas que resolvem problemas utilizando diversas técnicas e modelos. Na manufatura, a IA pode padronizar e aprimorar processos, reduzindo custos e acelerando a produção (Boden, 2020). A Indústria 4.0, por sua vez, integra tecnologia avançada para criar um ambiente de manufatura autocontrolado e inteligente, com princípios fundamentais como interconexão e transparência das informações (Navyar e Kumar, 2020). Isso promove a coleta e transmissão em tempo real de dados, melhorando a interação entre sistemas e processos.

O controle de qualidade na manufatura enxuta enfrenta desafios como variabilidade de processos, métodos tradicionais demorados e caros, e a detecção tardia de defeitos, o que pode resultar em retrabalho e custos adicionais (Matias, 2023). Garantir produtos de alta qualidade é crucial para a satisfação do cliente e a competitividade no mercado. A combinação de Inteligência Artificial e lógica fuzzy representa um avanço significativo no controle de qualidade na manufatura. A IA, através de visão computacional, aprendizado de máquina e otimização de processos, oferece soluções para melhorar a precisão e eficiência. A lógica fuzzy complementa essas soluções ao lidar com incertezas e variabilidades de maneira flexível. Juntas, essas tecnologias promovem processos mais eficientes e produtos de maior qualidade, transformando o controle de qualidade na manufatura.

## Conclusão

O artigo destaca inicialmente a importância da qualidade na manufatura, ressaltando os desafios enfrentados pelos métodos tradicionais de controle de qualidade, como a variabilidade de processos, os altos custos e a detecção tardia de defeitos. Nesse contexto, a Inteligência Artificial (IA) é apresentada como uma solução inovadora para aprimorar o controle de qualidade na manufatura, oferecendo abordagens avançadas para lidar com esses desafios. A visão computacional, o aprendizado de máquina e a otimização de processos são apontados como recursos fundamentais que a IA utiliza para melhorar a eficiência e a precisão na detecção de defeitos, reduzindo custos e promovendo a satisfação do cliente.

Além disso, o artigo destaca a importância da gestão de projetos na implementação bem-sucedida de métodos e tecnologias inovadoras. A gestão de projetos é enfatizada como uma ferramenta fundamental para garantir a qualidade ao longo do ciclo de vida do projeto, estabelecendo metas de qualidade, monitorando o progresso, alocando recursos e identificando riscos. A ênfase na importância da padronização de processos e da comunicação eficaz evidencia a relevância da gestão de projetos para impulsionar a inovação e a competitividade na indústria.

A lógica *fuzzy* é introduzida como uma abordagem eficaz para lidar com a variabilidade e a incerteza inerentes aos sistemas de produção. O artigo destaca como a lógica *fuzzy* é aplicada na definição de padrões de qualidade, avaliação da qualidade, detecção de defeitos, controle de processo, análise de tendências, tomada de decisões e melhoria contínua. Sua capacidade de lidar com informações imprecisas e variáveis é destacada como um componente essencial na otimização dos processos de manufatura, permitindo uma tomada de decisão mais inteligente e adaptativa em ambientes industriais dinâmicos. Ao unir os princípios da IA com a aplicação da lógica *fuzzy* na manufatura enxuta, o artigo oferece uma compreensão abrangente de como essas tecnologias estão moldando o futuro da qualidade na produção industrial.

O artigo oferece insights valiosos e perspicazes sobre o papel transformador da IA e da lógica *fuzzy* na otimização da qualidade na manufatura. Para otimizar o controle de qualidade na manufatura, é fundamental implementar uma abordagem abrangente que integre as vantagens da Inteligência Artificial (IA) e da lógica *fuzzy*.

A análise dos artigos revela que a lógica *fuzzy* pode ser eficaz no controle de qualidade na manufatura enxuta. A primeira etapa envolve a implementação de sistemas de visão computacional para inspeções em tempo real, que identificam defeitos visuais com precisão e reduzem a dependência de inspeções manuais. Paralelamente, algoritmos de aprendizado de máquina devem ser treinados com dados de alta qualidade para detectar defeitos precocemente, melhorando a precisão e reduzindo o retrabalho. A integração de sensores *IoT* para monitoramento em tempo real das variáveis de processo é crucial para identificar anomalias e permitir manutenção preventiva, reduzindo o tempo de inatividade. Algoritmos de otimização de processos podem analisar dados em tempo real para aprimorar a produção e maximizar a qualidade. A lógica *fuzzy* é essencial para lidar com a variabilidade dos processos, definindo padrões e avaliando a qualidade de forma flexível. Além disso, um sistema de gestão de projetos eficaz, com metas claras e monitoramento contínuo, é fundamental para garantir a inovação, competitividade e satisfação dos clientes.

## Referências

ANDERL, R. “**Industrie 4.0 - Technological approaches, use cases, and implementation. Automatisierungstechnik**”, v. 3, p. 753-765, 2015.

ARBOS, L. C.; SANTOS, J. F.; SÁNCHEZ, C. V. “**The operations-time chart: a graphical tool to evaluate the performance of production systems. from batch-and-queue to lean manufacturing. Computers & Industrial Engineering**”, v. 61, n. 3, p. 663-675, 2011.

BIAZZO, S.; PANNIZZOLO, R. “**The assessment of work organisation in lean production: the relevance of the worker's perspective. Integrated Manufacturing Systems**”, v. 11, n. 1, p. 6-15, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/09576060010303622> . Acesso em: 27 de out. de 2023.

BODEN, M. A. “**Inteligência Artificial: Uma Brevíssima Introdução**”. Tradução de F. Santos. São Paulo: Editora Unesp, 2020.

BRASIL, Engineering. **Como as indústrias usam a inteligência artificial? . Publicado em 17 de Nov. de 2021**. Engineering Brasil. Disponível em: <https://blog.engdb.com.br/inteligencia-artificial-na-industria/> . Acesso em: 18 set. 2023.

CARNEVALLI, J. A.; MIGUEL, P. A. C. **Review, analysis and classification of the literature on QFD - Types of research, difficulties and benefits. International Journal Production Economics**, v. 114, n. 2, p.737-754, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1015/j.ijpe.2008.03.006> . Acesso em: 28 out. de 2023.

FAZARD, R. S.; MOHAMAD, S.; HOSSEINI, S. “**New concept in leanness development and assessment in plant life cycle (PLC). International Journal of Engineering Science**”, v. 19, n. 1, p. 57-65, 2008.

FOGARTY, D. W. **Work in process: performance measures. International Journal Production Economics**, v. 26, n. 1-3, p. 159-172, 1992. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1015/0925-5273\(92\)90059-G](http://dx.doi.org/10.1015/0925-5273(92)90059-G). Acesso em: 27 out. de 2023.

GROOVER, Mikell P. “**Fundamentals of modern manufacturing**”. Estados Unidos: [s.l.], 2015

HAQUE, B.; MOORE, J. M. **Measures of performance for lean product introduction in the aerospace industry. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture**, v. 218, n. 10, p. 1387-1398, 2004. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1243/0954405042323496> . Acesso em: 27 de out. de 2023.

LAGE JÚNIOR, M.; GODINHO FILHO, M. **Variations of the kanban system: Literature review and classification**. International Journal of Production Economics, v. 125, n. 1, p. 13-21, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1015/j.ijpe.2010.01.009> . Acesso em: 28 out. de 2023.

MARASCO, A. **Third-party logistics: a literature review**. International Journal Production Economics, v. 113, n. 1, p. 127-147, 2008. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1015/j.ijpe.2007.05.017> . Acesso em: 28 out. de 2023.

MATIAS, Sanon. Manufatura: **O Que É, Tipos E Impactos Na Economia**. Publicado em 14 de Jul. de 2023. WebMais. Disponível em: <https://webmaissistemas.com.br/blog/manufatura/#:~:text=Manufatura%20%C3%A9%20uma%20pala,vra%20derivada,at%C3%A9%20a%20tecnologia%20de%20ponta> . Acesso em: 20 Set. 2023.

MEIRELLES, R. A.; MACHADO, R. N. **A funcionalidade e o desempenho do Portal de Periódicos da CAPES entre pesquisadores das áreas de Comunicação e Ciência da Informação da Universidade Federal da Bahia**. Perspectivas em Ciências da Informação, v. 12, n. 3, p. 54-64, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-99362007000300005> . Acesso em: 28 out. de 2023.

NORONHA, D. P.; FERREIRA, S. M. S. P. Revisões da Literatura. In: CAMPELLO, B. S.; CENDÓN, B. V.; KREMER, J. M. **“Fontes de Informação para Pesquisadores e Profissionais”**. Belo Horizonte: UFMG, 2000. p. 191-198.

PALADINI, Edson P. **“Avaliação estratégia da qualidade”**. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

PORAZZA, Rafael. **Inteligência artificial na indústria: tudo o que você precisa saber**. Publicado em 09 de Out. de 2018. Pollux. Disponível em: <https://pollux.com.br/blog/inteligencia-artificial-na-industria-tudo-o-que-voce-precisa-saber/> . Acesso em: 18 set. 2023.

RAWABDEH, I. A. **A model for the assessment of waste in job shop environments**. International Journal of Operations and Production Management, v. 25, n. 8, p. 800-822, 2005. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1108/01443570510608619> . Acesso em: 28 de out. de 2023.

SAURIN, T. A.; MARODIN, G. A.; RIBEIRO, J. L. D. **A framework for assessing the use of lean production practices in manufacturing cells**. International Journal of Production Research, v. 49, n. 11, p. 3211-3230, 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2010.482567> . Acesso em: 28 out. 2023.

SICHMAN, Jaime Simmão. **Inteligência Artificial e sociedade: avanços e riscos**. Publicado em 19 de Abr. de 2021. SciELO. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/c4sqqrthGMS3ngdBhGWtKhh/?lang=pt#> . Acesso em: 18 set. 2023.

SWAMIDASS, P. M. **The effect of TPS on US manufacturing during 1981-1998: inventory increased or decreased as a function of plant performance**. International Journal of Production Research, v. 45, n. 15, p. 3763-3778, 2007. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/00207540701223675> . Acesso em: 28 out. 2023.

VILLAS, M. V.; SOARES, T. D. L. V. A. M.; RUSSO, G. M. **Bibliographical research method for business administration studies: a model based on scientific journal ranking**. “Brazilian Administration Review”, v. 5, n. 2, p. 139-159, 2008.

ZADEH, L. A. **“Fuzzy sets – Information an Control”**. New York, v. 8, n. 3, pág. 338 - 353, 1965.