

FERRAMENTAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADAS AO CONTROLE DE QUALIDADE TOTAL

Maicon Ribeiro de Oliveira

Pós-graduando em Indústria 4.0. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Sorocaba. São Paulo. Brasil.

Sidnei de Oliveira Nascimento

Prof. Mestre. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Sorocaba. São Paulo. Brasil.

João Lúcio de Barros

Prof. Doutor. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo. Sorocaba. São Paulo. Brasil.

Resumo: A Indústria 4.0 representa uma revolução tecnológica que redefine profundamente os sistemas de gestão da qualidade, incorporando tecnologias digitais que permitem maior integração, automação e análise em tempo real. Este artigo tem como objetivo investigar como ferramentas como *Big Data*, Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA) podem ser aplicadas no controle de qualidade total, promovendo ganhos em eficiência, confiabilidade e inovação nos processos produtivos. A pesquisa, de caráter bibliográfico e exploratório, foi fundamentada em estudos recentes publicados entre 2018 e 2024, priorizando publicações em bases científicas reconhecidas. Os resultados demonstram que a utilização de *Big Data* possibilita identificar padrões ocultos e tendências, fortalecendo a análise preditiva e a tomada de decisões estratégicas. A IoT, por sua vez, garante a coleta de dados em tempo real sobre variáveis críticas do processo, viabilizando ações preventivas e manutenção preditiva. A IA amplia a capacidade de automação e de diagnóstico, otimizando a inspeção de falhas e reduzindo a necessidade de intervenção humana em tarefas repetitivas. Apesar dos avanços, a pesquisa identificou desafios relevantes, como a necessidade de padronização de sistemas, altos custos de implementação, capacitação profissional e proteção cibernética. Conclui-se que as ferramentas digitais da Indústria 4.0 consolidam a qualidade como um processo transversal e estratégico, que ultrapassa o enfoque tradicional de inspeção para se tornar um elemento central na competitividade das organizações. Dessa forma, a

integração entre métodos tradicionais e digitais estabelece um novo paradigma para a gestão da qualidade total, preparando o caminho para a Indústria 5.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0. *Big Data*. Internet das Coisas. Inteligência Artificial.

Abstract: Industry 4.0 represents a technological revolution that profoundly redefines quality management systems by incorporating digital technologies that enable greater integration, automation, and real-time analysis. This article aims to investigate how tools such as Big Data, Internet of Things (IoT), and Artificial Intelligence (AI) can be applied to total quality control, promoting efficiency, reliability, and innovation in production processes. This research, bibliographic and exploratory in nature, was based on recent studies published between 2018 and 2024, prioritizing articles indexed in recognized scientific databases. The results show that the use of *Big Data* makes it possible to identify hidden patterns and trends, strengthening predictive analysis and supporting strategic decision-making. IoT ensures the real-time collection of data on critical process variables, enabling preventive actions and predictive maintenance. AI expands automation and diagnostic capabilities, optimizing defect inspection and reducing the need for human intervention in repetitive tasks. Despite these advances, the research identified relevant challenges such as the need for system standardization, high implementation costs, professional training, and cybersecurity protection. It is concluded that the digital tools of Industry 4.0 consolidate quality as a transversal and strategic process that goes beyond the traditional focus on inspection to become a central element of organizational competitiveness. Therefore, the integration between traditional and digital methods establishes a new paradigm for total quality management, preparing the ground for the emergence of Industry 5.0.

Keywords: Industry 4.0. Big Data. Internet of Things. Artificial Intelligence.

INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 configura uma virada tecnológica que transforma profundamente a concepção, a gestão e o acompanhamento dos processos produtivos. Essa nova etapa da industrialização articula sistemas ciberfísicos, automação avançada, IA,

manufatura aditiva, realidade aumentada e integração em rede (Schwab, 2016). No âmbito da qualidade, essa mudança afeta diretamente os métodos clássicos de controle, exigindo abordagens renovadas para garantir conformidade, confiabilidade e competitividade em mercados cada vez mais dinâmicos.

Conforme apontam Zimon *et al.* (2022), a qualidade — antes associada sobretudo ao atendimento a normas técnicas e requisitos do cliente — passa a ser compreendida como uma construção coletiva apoiada em dados integrados e análise contínua. Nessa perspectiva, o controle de qualidade deixa de ser um momento final da produção e converte-se em um processo transversal, distribuído ao longo de toda a cadeia de valor.

Esse reposicionamento cria desafios e abre novas oportunidades. Entre eles, destaca-se a integração de *Big Data* e IoT, que viabiliza a captura, o armazenamento e o processamento de grandes volumes de dados em tempo real, permitindo diagnósticos mais precisos e intervenções ágeis (Baran e Polat, 2022). Somam-se a isso os avanços em IA, que intensificam a automação da inspeção de falhas e ampliam a capacidade de prever anomalias complexas (Johnson *et al.*, 2022).

Este artigo aprofunda a análise sobre o emprego das ferramentas da Indústria 4.0 no controle da qualidade total, examinando seu potencial, suas barreiras e suas implicações práticas. Para tanto, discute-se a literatura científica recente, com comparações entre metodologias tradicionais e soluções digitais, além de tendências que apontam para a Indústria 5.0.

OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo é analisar como as ferramentas digitais da Indústria 4.0 contribuem para a evolução dos métodos de controle de qualidade e a consolidação da qualidade total.

Os objetivos específicos são:

- a) Comparar ferramentas tradicionais de qualidade com soluções digitais emergentes;
- b) Avaliar os benefícios e desafios da implementação de IoT e IA na gestão da qualidade.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A gestão da qualidade passou, nas últimas décadas, por sucessivas reformulações conceituais e operacionais, acompanhando a evolução tecnológica e as pressões do mercado. Inicialmente centrada na inspeção ao final da linha, com ênfase em eliminar defeitos após a produção, migrou para abordagens preventivas com o Controle Estatístico de Processos (CEP) de Shewhart e, posteriormente, para o *Total Quality Management* (TQM) e metodologias como o *Six Sigma*, que consolidaram a lógica da melhoria contínua (Deming, 1986; Juran, 1992).

A partir de 2010, a ascensão da Indústria 4.0 trouxe novas ferramentas digitais a conviver com esses métodos clássicos. A integração de sistemas ciberfísicos, automação avançada, IA, IoT e *Big Data* redefiniu o conceito de qualidade, tornando-o mais dinâmico e orientado por dados em tempo real (Schwab, 2016).

Estudos recentes apontam que a IoT é essencial para a captura contínua de informações sobre processos produtivos, equipamentos e condições ambientais. Essa conectividade permite diagnósticos mais precisos e o desenvolvimento de estratégias de manutenção preditiva, reduzindo paradas inesperadas e aumentando a eficiência operacional (Ahsana *et al.*, 2023).

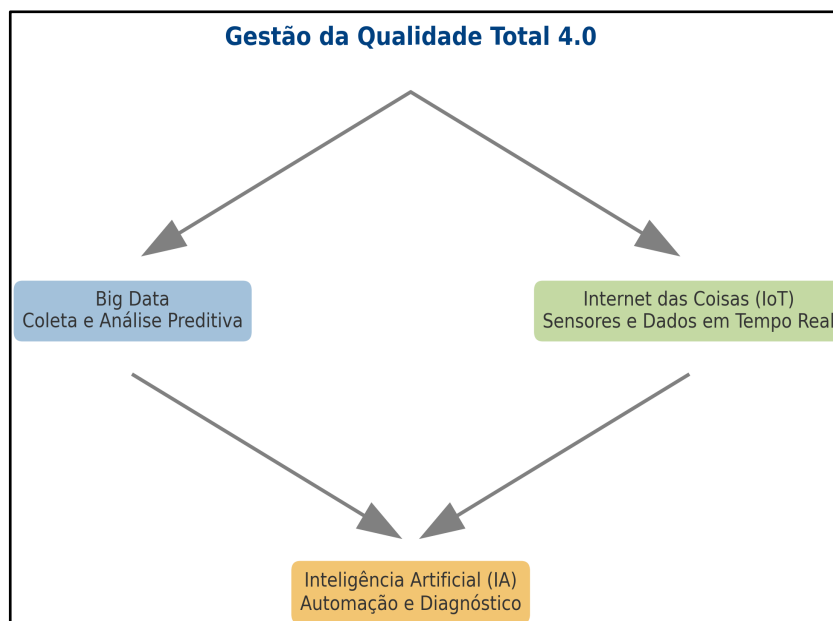
Já o *Big Data* fortalece a capacidade analítica das organizações, possibilitando a identificação de padrões ocultos em grandes volumes de dados e oferecendo suporte a decisões estratégicas. Hazen *et al.* (2014) destacam que a análise preditiva baseada em *Big Data* contribui não apenas para a redução de falhas, mas também para a sustentabilidade das cadeias de suprimentos, tornando os processos mais eficientes e resilientes.

A IA, por sua vez, potencializa a automação de inspeções e diagnósticos complexos. Johnson *et al.* (2022) demonstraram que algoritmos de visão computacional aplicados à inspeção de superfícies metálicas reduziram significativamente o índice de defeitos não identificados, elevando a confiabilidade dos processos produtivos. Além disso, técnicas de *machine learning* são amplamente aplicadas na construção de modelos preditivos que antecipam falhas com base em dados históricos e variáveis em tempo real (Kumar *et al.*, 2023).

Outro eixo teórico relevante é a integração entre abordagens tradicionais e digitais, conforme mostrado na Figura 1. Segundo Woźniak *et al.* (2021), a manufatura

aditiva, quando associada a monitoramento digital, melhora precisão e rastreabilidade, mas ainda requer suporte de técnicas estatísticas convencionais. Assim, a Indústria 4.0 não substitui as metodologias clássicas: ela as amplia, conformando um ambiente híbrido que combina previsibilidade e inovação.

Figura 1 - Integração entre os sistemas.



Fonte: Autoria Própria

Além disso, a literatura também destaca desafios relevantes. Wen e Chen (2022) ressaltam que, apesar do potencial das ferramentas digitais, a falta de padronização entre sistemas e a vulnerabilidade à segurança cibernética ainda representam barreiras para a consolidação da qualidade total. Baran e Polat (2022) reforçam que, para que os pilares da Indústria 4.0 sejam efetivamente aplicados, é necessário adotar modelos de gestão da qualidade integrados, que contemplem tanto a automação quanto a tomada de decisão estratégica baseada em dados.

Por fim, emergem discussões sobre a Indústria 5.0, orientada à colaboração entre humanos e máquinas inteligentes. Nessa etapa, a gestão da qualidade incorpora, além da eficiência, dimensões de sustentabilidade, personalização e bem-estar do trabalhador (Zimon *et al.*, 2022). Nesse contexto, a qualidade assume papel estratégico, deixando de ser apenas mecanismo de controle para tornar-se vetor de diferenciação competitiva e de inovação organizacional.

MÉTODOS

Este estudo utilizou uma abordagem bibliográfica, exploratória e comparativa para examinar a aplicação das ferramentas da Indústria 4.0 no controle da qualidade total. O procedimento metodológico seguiu quatro etapas: levantamento da literatura, seleção criteriosa das fontes, categorização dos estudos e análise comparativa.

Levantamento bibliográfico: A pesquisa foi conduzida em bases científicas reconhecidas internacionalmente, como Scopus, Web of Science, ScienceDirect e IEEE Xplore. Foram utilizadas palavras-chave relacionadas ao tema central, tais como “*Industry 4.0*”, “*Total Quality Management*”, “*Big Data*”, “*IoT*”, “*Artificial Intelligence*”, “*Predictive Analytics*” e “*Smart Manufacturing*”. O recorte temporal compreendeu o período de 2018 a 2024, garantindo a atualidade das informações.

Crítérios de seleção: Foram incluídos artigos que apresentassem aplicação prática de ferramentas digitais em ambientes industriais ou revisões sistemáticas com relevância para a gestão da qualidade. Excluíram-se estudos duplicados, publicações sem rigor metodológico ou com foco em áreas distantes do escopo industrial.

Categorização dos estudos: Os trabalhos selecionados foram organizados em três categorias principais:

- a) Ferramentas digitais de coleta e análise de dados, com foco em *Big Data* e *IoT*.
- b) Comparação entre métodos tradicionais e digitais de qualidade, relacionando práticas como CEP e *Six Sigma* às tecnologias emergentes.
- c) Desafios e tendências futuras, abordando aspectos de segurança, interoperabilidade, custos e perspectivas da Indústria 5.0.

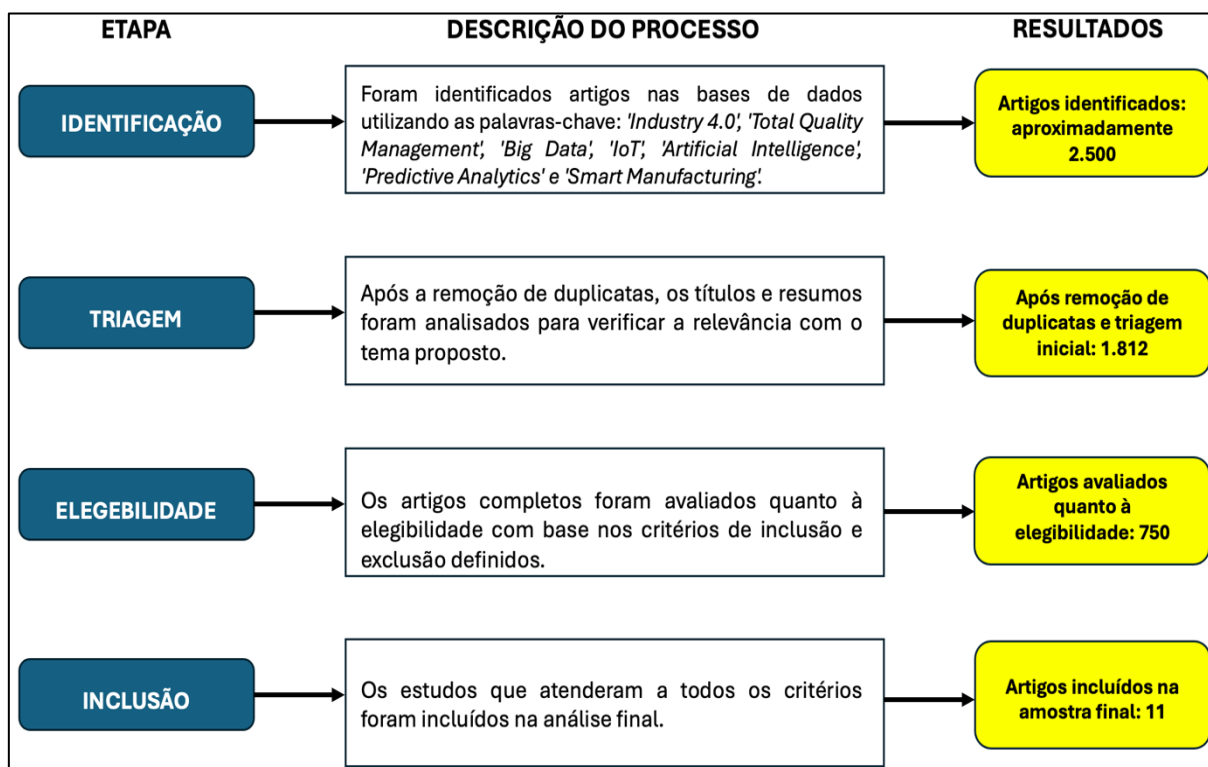
Análise comparativa e crítica: Confrontaram-se os achados com fundamentos clássicos da qualidade, identificando convergências, divergências e lacunas, de modo a integrar teoria e prática e esclarecer quando as tecnologias digitais complementam ou substituem metodologias tradicionais. Essa abordagem metodológica assegurou consistência na coleta e interpretação dos dados, permitindo a construção de resultados mais robustos e fundamentados.

RESULTADOS

A análise da literatura evidenciou avanços significativos no uso das ferramentas digitais da Indústria 4.0 aplicadas ao controle de qualidade, mas também revelou limitações que ainda desafiam sua implementação plena.

A Figura 2 mostra resumidamente as etapas do planejamento e a descrição dos processos, bem como os principais resultados de cada etapa, após os filtros.

Figura 2 - Etapas e processos para obtenção das amostras do estudo.



Fonte: Autoria Própria

Big Data e análise preditiva: A exploração de grandes volumes de dados ampliou a detecção de padrões complexos. No setor automotivo, algoritmos preditivos baseados em séries temporais reduziram falhas de produção em até 30% (Hazen *et al.*, 2014). No setor de energia, modelos preditivos anteciparam desgaste de componentes críticos, elevando a confiabilidade sistêmica.

IoT e monitoramento em tempo real: A literatura mostrou que sensores e dispositivos interconectados permitem mapear continuamente variáveis críticas como temperatura, pressão, vibração e consumo de energia. No setor alimentício, a IoT

garantiu maior rastreabilidade e conformidade com normas sanitárias internacionais. Já no setor aeronáutico, a tecnologia viabilizou diagnósticos de manutenção preditiva, reduzindo riscos de falhas em componentes essenciais.

IA e automação da inspeção: Algoritmos de *machine learning* e visão computacional foram utilizados para detectar defeitos em superfícies metálicas, componentes eletrônicos e até em produtos farmacêuticos. Esses sistemas reduziram drasticamente o tempo de inspeção, aumentando a precisão e diminuindo a variabilidade humana no processo. Estudos de caso apontaram reduções superiores a 25% em custos relacionados a retrabalho e devoluções de clientes.

Integração e interoperabilidade: Plataformas digitais integradas aumentaram a sinergia entre produção, logística e qualidade, acelerando processos, padronizando rotinas e encurtando o tempo de resposta a não conformidades (Zimon *et al.*, 2022).

A Tabela 1 sumariza as principais contribuições de cada ferramenta digital da Indústria 4.0 no controle de qualidade total, conforme evidenciado pela literatura analisada.

Tabela 1 - Resumo dos Resultados e Contribuições das Ferramentas da Indústria 4.0

Ferramenta da Indústria 4.0	Contribuição para a Qualidade Total	Exemplos de Aplicação/Setor
Big Data	Amplia a detecção de padrões complexos, fortalece a análise preditiva e suporta decisões estratégicas.	Redução de falhas de produção em até 30% no setor automotivo; antecipação de desgaste de componentes críticos no setor de energia.
Internet das Coisas (IoT)	Garante a coleta de dados em tempo real sobre variáveis críticas do processo.	Maior rastreabilidade e conformidade com normas sanitárias (setor alimentício). diagnósticos de manutenção preditiva (setor aeronáutico).
Inteligência Artificial (IA)	Potencializa a automação da inspeção e diagnóstico complexos, reduzindo a variabilidade humana.	Detecção de defeitos em superfícies metálicas e componentes eletrônicos; redução superior a 25% em custos de retrabalho e devoluções de clientes.
Integração de Sistemas	Aumenta a sinergia entre produção, logística e qualidade, acelerando processos e padronizando rotinas.	Encurtamento do tempo de resposta a não conformidades.

Fonte: Autoria Própria.

Apesar dos avanços, foram identificadas barreiras críticas, como por exemplo:

- a) **Econômicas:** custos de implementação ainda são elevados para pequenas e médias empresas.
- b) **Tecnológicas:** falta de padronização de protocolos e riscos crescentes de segurança cibernética.
- c) **Humanas:** carência de profissionais qualificados para lidar com ferramentas digitais e análise avançada de dados.

Essas barreiras críticas são detalhadas na Tabela 2, que organiza os desafios de implementação identificados.

Tabela 2 - Desafios Críticos da Implementação da Indústria 4.0 na Qualidade

Categoria do Desafio	Descrição da Barreira	Implicações e Requisitos
Econômicas	Altos custos de implementação, especialmente para pequenas e médias empresas.	Pode gerar uma difusão desigual da Indústria 4.0, exigindo políticas de incentivo e apoio governamental.
Tecnológicas	Falta de padronização de sistemas e vulnerabilidade à segurança cibernética.	Invasões podem corromper dados de produção e prejudicar a confiabilidade; defesa por governança de dados robusta e integração entre qualidade e segurança.
Humanas/Culturais	Carência de profissionais qualificados para lidar com ferramentas digitais e análise avançada de dados.	É crucial desenvolver habilidades digitais; a transição requer condução participativa e envolvimento ativo das equipes.

Fonte: Autoria Própria

De forma geral, os resultados confirmam que a Indústria 4.0 eleva o controle de qualidade a um patamar estratégico, consolidando-o como um elemento essencial para competitividade e inovação.

DISCUSSÃO

Os resultados obtidos reforçam a ideia de que as ferramentas da Indústria 4.0 têm papel central na redefinição do controle de qualidade, porém a implementação dessas tecnologias ainda enfrenta importantes barreiras técnicas, econômicas e organizacionais.

Um resultado chave é a integração entre práticas clássicas e recursos digitais. CEP e Six Sigma seguem amplamente empregados, mas seu desempenho se eleva quando combinados a tecnologias emergentes. Kumar *et al.* (2019) mostram que modelos preditivos baseados em *Big Data* aceleram a identificação de desvios e, portanto, complementam o CEP. De modo análogo, Woźniak *et al.* (2021) indicam que a manufatura aditiva ganha confiabilidade com monitoramento via sensores IoT em tempo real, embora permaneça dependente de validações estatísticas.

Outro aspecto relevante é a segurança da informação. A adoção crescente da IoT e a segurança da informação é crítica. Com mais IoT e sistemas conectados, os riscos de ataques crescem. Wen e Chen (2022) alertam que invasões podem corromper dados de produção e prejudicar a confiabilidade. Por isso, Baran e Polat (2022) defendem governança de dados robusta e integração entre qualidade e segurança.

Aspectos humanos e culturais também são determinantes. A implantação de sistemas inteligentes requer profissionais com competências em análise de dados, programação e gestão digital. Ahsana *et al.* (2023) sustentam que desenvolver habilidades digitais é tão crucial quanto investir em infraestrutura, pois lacunas de capacitação reduzem os ganhos esperados. Zimon *et al.* (2022) destacam ainda que a transição para uma qualidade digitalizada demanda uma condução participativa, com envolvimento ativo da gestão e das equipes.

No campo prático, observa-se que setores como o automotivo, aeronáutico e farmacêutico já aplicam soluções avançadas de *Big Data* e IoT para garantir rastreabilidade e monitoramento contínuo, enquanto pequenas e médias empresas ainda enfrentam obstáculos relacionados a custos e infraestrutura. Esse contraste sugere que a difusão da Indústria 4.0 pode ocorrer de forma desigual, exigindo políticas de incentivo e apoio governamental para ampliar o acesso às tecnologias.

Por fim, a discussão aponta para o futuro da Indústria 5.0, que propõe maior equilíbrio entre automação e participação humana. Nesse paradigma, a qualidade não será apenas resultado da eficiência de algoritmos, mas da sinergia entre criatividade, personalização e IA. Como ressalta Schwab (2016), a próxima revolução industrial se orientará pela valorização do ser humano como parte essencial da inovação, o que reforça a necessidade de alinhar qualidade, sustentabilidade e bem-estar organizacional.

Em síntese, a Indústria 4.0 amplia o alcance da qualidade total, mas sua consolidação depende de interoperabilidade segura, capacitação, gestão estratégica da informação e apoio institucional. A evolução rumo à Indústria 5.0 tende a aprofundar essa integração e consolidar um novo paradigma de qualidade orientado à inovação e à sustentabilidade

CONCLUSÃO

As ferramentas digitais da Indústria 4.0 transformam o controle de qualidade ao permitir monitorar, analisar e intervir em tempo real. A integração de *Big Data*, IoT e IA melhora eficiência, padronização e confiabilidade, elevando o patamar da qualidade total.

Contudo, para que tais benefícios se concretizem, é preciso superar desafios de interoperabilidade, cibersegurança e capacitação profissional. A transição para a Indústria 5.0 tende a acentuar a necessidade de alinhamento entre tecnologia e capital humano na busca da excelência produtiva.

Em síntese, a Indústria 4.0 vai além de complementar métodos clássicos: ela instaura um novo paradigma de gestão, mais estratégico, preditivo e integrado.

REFERÊNCIAS

AHSANA, Md. Anjar *et al.*. Predictive analytics of product quality in Industry 4.0. **Sustainable Operations and Computers**, v. 4, p. 53-61, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2023.02.001>.

BARAN, E.; POLAT, T. K. Classification of Industry 4.0 for *Total Quality Management*: A Review. **Sustainability**, v. 14, n. 6, p. 3329, 2022.
<https://doi.org/10.3390/su14063329>.

CHEN, K. S.; LIN, S. C.; LAI, K. K.; WANG, W. P. Decision-Making Model of Production Data Management for Multi-Quality Characteristic Products in Consideration of Industry 4.0. **Applied Sciences**, v. 13, n. 7883, p. 1–20, 2023. <https://doi.org/10.3390/app13137883>.

HAZEN, B. T. *et al.*. Big Data and predictive analytics for supply chain sustainability: A theory-driven research agenda. **Computers & Industrial Engineering**, v. 81, p. 76–83, 2014.

JOHNSON, V. C. *et al.*. Industry 4.0: Intelligent Quality Control and Surface Defect Detection. 3C Empresa. **Investigación y pensamiento crítico**, v. 11, n. 2, p. 186–192, 2022.
<https://doi.org/10.17993/3cemp.2022.110250.186-192>.

Kumar *et al.*. Sustainable **Smart Manufacturing Processes in Industry 4.0**. 2023. DOI: 10.1201/9781003436072.

RIFQI, H. *et al.*. Positive Effect of Industry 4.0 on Quality and Operations Management. **International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)**, v. 17, n. 9, p. 138–151, 2021.
<https://doi.org/10.3991/ijoe.v17i09.24717>.

SCHWAB, K. (2016). A Quarta Revolução Industrial. São Paulo: **Edipro**. 2016.

WEN, Y. C.; CHEN, W. H.. Service Innovation and Quality Assessment of Industry 4.0 Microservice through Data Modeling and System Simulation Evaluation Approaches. **Applied Sciences**, v. 12, p. 4718, 2022.
<https://doi.org/10.3390/app12094718>.

WOŹNIAK, J. *et al.* Analysis of the Quality of Products Manufactured With the Application of Additive Technologies. **International Journal for Quality Research**, v. 16(3), p. 845–858, 2021. <https://doi.org/10.24874/IJQR16.03-12>.

ZIMON, D. *et al.*. Supply chain quality management (SCQM) literature review and model proposal in the era of Industry 4.0. **International Journal for Quality Research**, v. 16 n. 4, p. 1283–1296, 2022. <https://doi.org/10.24874/IJQR16.04-21>.