



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial  
na Gestão de Operações:**  
Limitações e possibilidades



# **A RELAÇÃO ENTRE A GESTÃO DA QUALIDADE TOTAL E A INDÚSTRIA 4.0: MAPEAMENTO CIENTÍFICO DA LITERATURA**

**KAYKE AUGUSTO BARBOSA SILVA** - kayke.2149728@discente.uemg.br  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS - UEMG - PASSOS

**PAULO HENRIQUE AMORIM SANTOS** - paulo.amorim@uemg.br  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS - UEMG - PASSOS

**DANIELE DOS REIS PEREIRA MAIA** - daniele.maia@uemg.br  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS - UEMG - PASSOS

**LO-RUANA KAREN AMORIM FREIRE** - loruana.freire@uemg.br  
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS - UEMG - PASSOS

**ÁREA:** 4. ENGENHARIA DA QUALIDADE  
**SUBÁREA:** 4.1 - GESTÃO DE SISTEMAS DA QUALIDADE

**RESUMO:** O POTENCIAL DA QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL ESTÁ SENDO INVESTIGADO SIMULTANEAMENTE COM A SUA EVOLUÇÃO. NESTE INCIPIENTE CENÁRIO VERIFICA-SE A NECESSIDADE DE ESTUDOS MULTIDISCIPLINARES PARA PREENCHER LACUNAS ENTRE DIVERSAS TEMÁTICAS. ESTE ARTIGO TEM POR MAPEAR O CAMPO DE PESQUISA QUE RELACIONA A INDÚSTRIA 4.0 E A GESTÃO DA QUALIDADE TOTAL. PARA TANTO, REALIZOU-SE UM MAPEAMENTO CIENTÍFICO DO CAMPO, A PARTIR DE TÉCNICAS DE BIBLIOMETRIA DESCRITIVA E ANÁLISE DE REDES SOCIAIS. COM ESTE TRABALHO CONSTATOU-SE QUE A PARTIR DE 2019 HOVE UM AUMENTO EXPONENCIAL NA PRODUÇÃO CIENTÍFICA. PERCEBE-SE A EMERGÊNCIA DE AUTORES E PERIÓDICOS NO CAMPO, BEM COMO INVESTIGAÇÕES SOBRE A APLICABILIDADE DE TECNOLOGIAS COMO BIG DATA ANALYTICS E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL. O ARTIGO É UM GUIA PARA NOVAS PESQUISAS ACADÊMICAS AO TEMPO QUE TRÁS INFORMAÇÕES ATUALIZADAS PARA GESTORES INDUSTRIAIS.

**PALAVRAS-CHAVES:** GESTÃO DA QUALIDADE TOTAL; INDÚSTRIA 4.0; INOVAÇÃO; MAPEAMENTO CIENTÍFICO.

## 1. INTRODUÇÃO

Os saltos tecnológicos marcados por “Revoluções Industriais” culminaram no cenário atual, conhecido como Quarta Revolução Industrial (LASI *et al.*, 2014). Nos últimos anos, as indústrias estão cada vez mais aderindo à conexão digital e ao desenvolvimento e compartilhamento de informações (GHOBAKHLOO, 2020). Essa nova combinação de computadores interconectados, materiais inteligentes e máquinas inteligentes cria um ambiente inteligente também chamado de Indústria 4.0 (I4.0) (GILCHRIST, 2016).

A I4.0 pode ser definida como sendo “o uso de métodos e produtos inteligentes, que são sustentados pelo levantamento e análise autônoma de dados e apresentam uma integração total, que visa operações eficientes e inteligentes” (BUER *et al.*, 2018). A I4.0 é um conceito abrangente que envolve o aumento da interconectividade dos sistemas de fabricação auxiliada por novas tecnologias digitais (TORTORELLA; FETTERMANN, 2018; KAMBLE *et al.*, 2019). A integração dessas tecnologias avançadas promove a digitalização e a automação dos processos industriais (CARVALHO *et al.*, 2022).

As tecnologias em questão têm o potencial de reduzir custos, aumentar a flexibilidade, acelerar processos, melhorar a qualidade e auxiliar na tomada de decisões (MOHAMED, 2018; OLSEN; TOMLIN, 2020). A Quarta Revolução Industrial é uma nova fase para ambientes de fabricação que se tornarão mais inteligentes, altamente interconectados e conectados em tempo real (SAXBY *et al.*, 2020). Este conceito envolve a utilização de sistemas ciberfísicos, internet das coisas e inteligência artificial para criar fábricas inteligentes e sistemas de produção mais eficientes e adaptáveis (CARVALHO *et al.*, 2022).

Essa conectividade evolui os sistemas de informação de fabricação existentes para plataformas abertas, digitais e automatizadas (KAMBLE *et al.*, 2019). Além de melhorar a eficiência operacional, a I4.0 tem como objetivo transformar modelos de negócios, proporcionando maior flexibilidade e capacidade de personalização para atender às demandas variáveis do mercado global.

Diferentemente das revoluções passadas, que foram examinadas após serem estabelecidas, as pesquisas sobre a potencial Quarta Revolução Industrial estão sendo conduzidas de forma simultaneamente com a sua evolução (CUENCA *et al.*, 2018). Neste cenário, por ser um campo de pesquisa incipiente ainda se verifica uma lacuna sobre diversas temáticas que envolvem o atual segmento industrial, dentre os quais cita-se a relação entre a Gestão da Qualidade Total (do inglês, *Total Quality Management*, ou TQM) e a I4.0.

A TQM é frequentemente referenciada como um programa de melhoria contínua

organizado e abrangente (SANTOS; MARTINS, 2020). A aplicação da TQM traz alguns aspectos positivos a organização, dentre os quais citam-se: desenvolvimento contínuo dos produtos/processos; potencialização dos resultados financeiros; aprovação dos clientes internos/externos; treinamento dos funcionários e gestão eficiente dos recursos (SILVEIRA *et al.*, 2016).

Entretanto, mesmo com as diversas vantagens que a TQM pode proporcionar, sua implementação é desafiadora e consideravelmente impactada por elementos decisivos de sucesso (CIANO *et al.*, 2019). O processo de implementação do TQM necessita da colaboração e empenho de todas as vertentes da empresa, sendo de suma importância a contribuição dos gestores e líderes, engajamento dos colaboradores e capacitação dos funcionários, com o intuito de obter resultados de excelência (SILVEIRA *et al.*, 2016).

Embora a Indústria 4.0 crie oportunidades, ela também levanta novos desafios para a gestão de operações e para a gestão da qualidade (MOHAMED, 2018; OLSEN; TOMLIN, 2020). Ainda não está claro como a integração das tecnologias da Indústria 4.0 em ambientes de produção existentes pode apoiar a melhoria contínua (TORTORELLA; FETTERMANN, 2018). Os programas atuais de melhoria contínua são focados nas pessoas, e como esses podem funcionar em um ambiente automatizado ainda precisa ser mais explorado (SAXBY *et al.*, 2020).

Teoricamente, as organizações podem se beneficiar de ciclos de melhoria de processos baseados em dados integrando tecnologias da Indústria 4.0 desde a coleta de dados até o compartilhamento, análise, otimização e feedback de dados (BUER *et al.*, 2018). Esses sistemas de produção inteligentes podem diagnosticar-se autonomamente e propor projetos de melhoria contínua (ALAVIAN *et al.*, 2020). Como exemplo, as organizações podem combinar manufatura enxuta com tecnologias da Indústria 4.0 (muitas vezes referidas como Automação Enxuta) para alcançar melhor desempenho empresarial em dimensões de sustentabilidade, qualidade de produto e flexibilidade (TORTORELLA; FETTERMANN, 2018; SONY, 2018; SAXBY *et al.*, 2020; CHIARINI *et al.*, 2020).

Da mesma forma, o termo Qualidade 4.0 refere-se à digitalização do TQM e seu impacto na tecnologia, processos e pessoas de qualidade (CHIARINI, 2020). Portanto, novas pesquisas são necessárias para explorar ainda mais o potencial das tecnologias da Indústria 4.0 na promoção de programas de melhoria (ARCIDIACONO; PIERONI, 2018). Desta forma, o objetivo desse trabalho foi mapear o campo de pesquisa que relaciona a indústria 4.0 e a TQM. Para esse fim, realizou-se um mapeamento científico do campo, a partir de técnicas de bibliometria descritiva e análise de redes sociais.

A Fundamentação Teórica (Seção 2) e o Método de Pesquisa utilizado para alcançar o objetivo proposto (Seção 3) são apresentados nas seções seguintes. Em seguida, apresentam-se os Resultados (Seção 4), a Discussão perante a fundamentação teórica (Seção 5) e Conclusão (Seção 6).

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Indústria 4.0

As fases de desenvolvimento da I4.0, conhecida também como Quarta Revolução Industrial, chegaram à forma vigente através da combinação das revoluções industriais antecedentes com informações digitais de tecnologias em desenvolvimento, em um processo evolutivo que se desenrolou por décadas (JOHNSON, 2019).

A Primeira Revolução Industrial, também denominada, “Mecanização”, deu início à produção mecânica e ao uso de máquinas a vapor no setor industrial (ASIF, 2020). A Segunda Revolução Industrial, conhecida como “Eletrificação”, trouxe consigo, desenvolvimentos-chave, dentre os quais citam-se a produção em larga escala e as linhas de montagem movidas à eletricidade (ASIF, 2020). E a terceira revolução, chamada de “Digitalização” é caracterizada por avanços na produção autônoma por meio do uso de eletrônica e Tecnologia da Informação (TI) (ASIF, 2020).

O intuito da I4.0 é ampliar a eficiência e produtividade operacional através de um processo produtivo autônomo e dinâmico, que engloba tecnologias de informação e comunicação visando possibilitar uma produção em larga escala de produtos com um elevado grau de customização (TORTORELLA; FETTERMAN, 2018). Ao modificar as indústrias em unidades produtivas autossuficientes e digitalizadas, a I4.0 tem como objetivo melhorar a utilização dos recursos produtivos, otimizar a qualidade dos produtos, aumentar a velocidade e flexibilidade dos processos industriais e reduzir os custos (CREŠNAR *et al.*, 2020).

O êxito na integração da I4.0 possibilita a organização uma rápida capacidade de adaptação as mudanças do mercado de negócios, e também, a previsão e antecipação da demanda dos clientes (CREŠNAR *et al.*, 2020). A I4.0 almeja também impulsionar a sustentabilidade, a inovação e a competitividade (CREŠNAR *et al.*, 2020).

Várias tecnologias suportam a I4.0, como sistemas ciberfísicos, internet das coisas e big data analytics (FRONTONI *et al.*, 2018; KAMBLE *et al.*, 2019). As invenções mais modernas da I4.0 tem apresentado a combinação entre o virtual e o físico, por meio de diversas as tecnologias. O Quadro 1 apresenta algumas das tecnologias atualmente utilizadas na indústria.

**QUADRO 1 - Principais tecnologias da I4.0**

| <b>Tecnologia</b>                  | <b>Definição</b>                                                                                                                                                                                     | <b>Autor</b>                   |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Internet das Coisas (IoT)</b>   | Rede de dispositivos físicos e virtuais que se comunicam e interagem entre si                                                                                                                        | Mascarenhas et al., (2021)     |
| <b>Big Data Analytics</b>          | Conjunto de dados cuja dimensão ultrapassa a capacidade de captura, armazenamento e análise de um software de banco de dados típico                                                                  | Nascimento et al., (2017)      |
| <b>Sistemas Ciberfísicos (CPS)</b> | Sistemas altamente complexos e multidisciplinares que integram componentes físicos e virtuais, combinando elementos de computação e fenômenos físicos na parte cibernética                           | Maciel (2019)                  |
| <b>Computação em Nuvem</b>         | Um modelo que permite acesso conveniente e onipresente a redes, servidores, armazenamento, aplicativos e serviços. Estes recursos são configuráveis conforme a necessidade dos usuários.             | Cândido e Araújo Júnior (2022) |
| <b>Inteligência Artificial</b>     | Capacidade de dispositivos eletrônicos operarem de maneira que simula o pensamento humano, ou seja, a capacidade de raciocinar. Máquinas interpretam dados, aprendem e executam tarefas específicas. | ABT (2023)                     |
| <b>Blockchain</b>                  | Protocolo de transação descentralizado que utiliza uma rede <i>peer-to-peer</i> para transações entre participantes não-confiáveis, sem necessidade de uma autoridade central.                       | Lima (2022)                    |

Fonte: Os Autores (2024)

## 2.2 Gestão da Qualidade Total

Gestão da Qualidade Total (do inglês, *Total Quality Management*, ou TQM) é um termo cujas origens podem ser rastreadas até meados da década de 1980 como uma substituição ao termo americano anteriormente usado, *Total Quality Control*, ou TQC (MARTÍNEZ-LORENTE et al., 1998). Embora as origens do TQC sejam atribuídas a Armand V. Feigenbaum, a filosofia do TQM também engloba as ideias de gestão da qualidade de Joseph M. Juran e Kaoru Ishikawa (FEIGENBAUM, 1961; JURAN et al., 1974; ISHIKAWA, 1985; MARTÍNEZ-LORENTE et al., 1998). Esses autores acreditavam que todas as partes separadas de uma empresa devem trabalhar juntas para alcançar o controle da qualidade e um bom relacionamento com os clientes (FEIGENBAUM 1961; ISHIKAWA, 1990).

Em outras palavras, a TQM pode ser entendida como uma doutrina dedicada a cultura de qualidade da empresa (CREŠNAR et al., 2020). Esta tem como premissa que todos membros da empresa devem desempenhar suas funções da melhor maneira possível, de modo a entregar elevados padrões de qualidade nos resultados das atividades desempenhadas (PSAROMMATIS et al., 2020).

A abordagem enfatiza as visões de outros gurus da qualidade, W. Edwards Deming e Phillip B. Crosby, de que a inspeção por amostragem deve ser suprimida (CROSBY, 1979; DEMING, 1982). As diferenças nas visões desses cinco autores de gestão da qualidade são complementadas nos anos seguintes com os elementos "benchmarking" e "gestão da cadeia de suprimentos" (MARTÍNEZ-LORENTE et al., 1998).

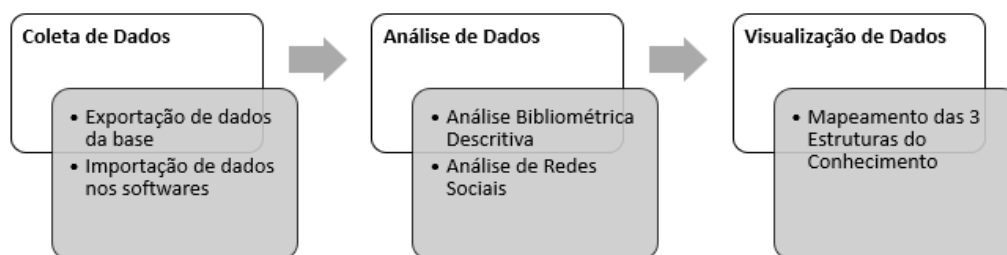
Assim, a TQM representa a Quarta Era da Gestão da Qualidade ao apresentar uma abordagem global de gestão da qualidade, abrangendo toda a rede de valor e destacando os recursos humanos (CIANO *et al.*, 2019). Alicerçada por três pilares: “valores”, “ferramentas” e “metodologias”, que têm o intuito de atender com êxito as expectativas dos mais variados clientes, a TQM faz uso de uma menor quantidade de recursos (ASIF, 2020). O foco nos consumidores e nos processos, o progresso contínuo e as decisões fundamentadas em evidências são exemplos dos “valores” da mesma. Diagramas e matrizes são exemplos de “ferramentas” aplicadas neste seguimento embasadas em metodologias específicas, para alcançar os referidos valores, já as “metodologias” podem ser definidas como maneiras de trabalho que representam uma sequência de atividades (ASIF, 2020).

A TQM ganhou muita importância nas últimas décadas tanto para gestores quanto para acadêmicos (BAJAJ *et al.*, 2018). Motivado por suas dez dimensões, o programa é reconhecido como o paradigma de melhoria abrangente mais importante na economia moderna para a excelência organizacional (SLACK *et al.*, 2010; GOETSCH; DAVIS, 2013; KAUR *et al.*, 2018). Além disso, suas práticas e fatores de implementação bem-sucedida são bem reconhecidos pela literatura (SILA; EMBRAHIMPOUR, 2003; TALIB *et al.*, 2011; KUTLU; KADAIFCI, 2014).

### 3. MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa utilizado neste estudo foi o mapeamento científico que combina abordagens de bibliometria descritiva e análise de redes sociais (ARIA; CUCCURULLO, 2017). Esta abordagem é recomendada para examinar um domínio de estudo de forma ampla, identificando padrões na literatura através de análises e representações visuais (ZUPIC; CATER, 2015). O protocolo empregado para o mapeamento científico é fundamentado nas orientações de Aria e Cuccurullo (2017), sintetizadas na Figura 1.

FIGURA 1 – Etapas do Mapeamento Científico



Fonte: Adaptado de Aria e Cuccurullo (2017)

Coleta de Dados: A base indexadora *Web of Science* foi escolhida para coleta de dados por sua referência pelo DOI, o que evita erros de processamento. A seguinte *string* de busca utilizada na base de dados: "total quality management" AND ("industr\* 4.0" OR "smart manufacturing" OR "big data" OR "internet of thing\*" OR "artificial intelligence" OR "deep learning" OR "machine learning" OR "RFID" OR "cyber-physical system\*" OR "additive manufacturing" OR "3D printing" OR "cloud computing" OR "augmented reality" OR "virtual reality" OR "digital twin\*" OR "cyber security" OR "blockchain"). Todos os artigos encontrados foram considerados elegíveis.

Análise de dados: A amostra inicial foi processada utilizando o pacote R *Bibliometrix* V. 4.1. e o *software* VOS Viewer V. 1.6.20 (VAN ECK; WALTMAN, 2010; ARIA; CUCCURULLO, 2017). A análise bibliométrica descritiva facilita a identificação dos principais autores, periódicos e publicações de forma quantitativa (ZUPIC; CATER, 2015). Enquanto isso, a análise de redes sociais permite a construção de mapas que conectam documentos, autores e temas (VAN ECK; WALTMAN, 2010).

Visualização dos Dados: Por meio do pacote R *Bibliometrix* V. 4.1 foram criados gráficos e tabelas para melhor interpretação das informações obtidas. Com estes verificou-se a estrutura do conhecimento e a forma de ocorrência da temática estudada (COBO *et al.*, 2011).

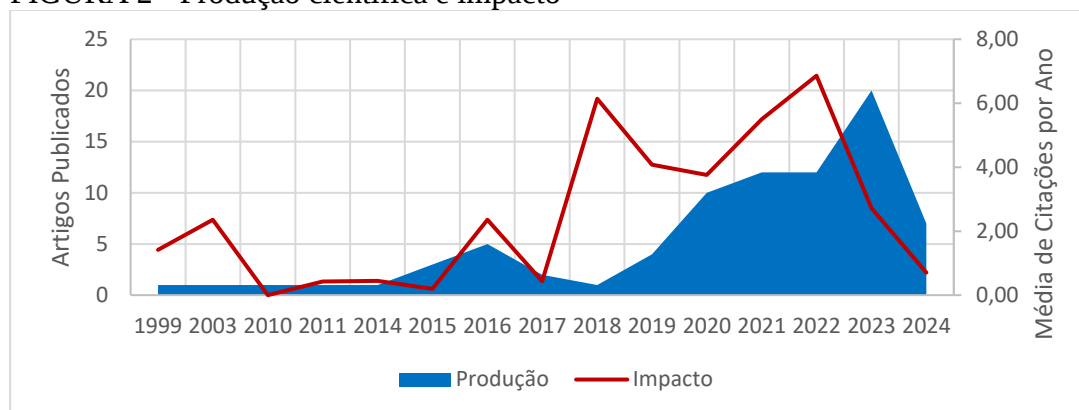
#### 4. RESULTADOS

Os dados necessários para a realização da pesquisa foram coletados em 15 de maio de 2024. Foram analisadas publicações de 1999 a 2024, e, como resultado, obteve-se um total de 81 conjuntos de metadados, dos quais 55 foram classificados como artigos.

A princípio, por meio da análise da estrutura intelectual, que abrange a área de estudo, foi possível identificar a produção científica, bem como, seu impacto no que diz respeito à publicação de artigos e a média de citações por ano, conforme ilustrado na Figura 2.

Nota-se que a área de pesquisa é recente, sendo que a partir do ano de 2019, foi constatado um aumento significativo na produção científica, atingindo um montante de 20 publicações em 2023. No que concerne a taxa de crescimento anual, esta alcança um percentual de 8,09% ao ano. Os anos de 2018 e 2022 se destacam pelo impacto de suas publicações.

FIGURA 2 - Produção científica e impacto



Fonte: Os Autores (2024)

Após uma segunda análise da estrutura intelectual em questão, identificou-se os principais periódicos, que estão representados na Tabela 1. Observa-se que a revista de maior destaque, tanto no que concerne a quantidade de publicação quanto pela familiaridade com o método TQM, é o *TQM Journal*, com 11 publicações. Também são notórias no campo são as revistas *Total Quality Management & Business Excellence* e *Sustainability*, com 7 e 4 publicações, respectivamente.

Pode-se verificar ainda que o Reino Unido é detentor da maioria dos periódicos mais conceituados, que apresentam em seu escopo a temática “Negócios” e “Gestão e Contabilidade”. Na listagem, também são encontrados periódicos de expressivo impacto no ramo de Engenharia de Produção, dentre eles cita-se, o *Sensors* (Índice H = 245) e o *International Journal of Production Research* (Índice H = 186).

TABELA 1 - Principais periódicos do campo

| Periódico                                             | Artigos | País           | Escopo                                                                                                                  | Cobertura | Índice H |
|-------------------------------------------------------|---------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|
| TQM JOURNAL                                           | 11      | Reino Unido    | Negócios, Gestão e Contabilidade; Ciências da Decisão                                                                   | 2008      | 79       |
| TOTAL QUALITY MANAGEMENT & BUSINESS EXCELLENCE        | 7       | Reino Unido    | Negócios, Gestão e Contabilidade                                                                                        | 2003      | 94       |
| SUSTAINABILITY                                        | 4       | Suíça          | Ciência da Computação; Energia; Ciência ambiental; Ciências Sociais                                                     | 2009      | 169      |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH          | 3       | Reino Unido    | Negócios, Gestão e Contabilidade; Ciências da Decisão; Engenharia                                                       | 1970*     | 186      |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF LEAN SIX SIGMA               | 2       | Reino Unido    | Negócios, Gestão e Contabilidade; Ciências da Decisão; Engenharia                                                       | 2010      | 52       |
| INTERNATIONAL JOURNAL OF QUALITY AND SERVICE SCIENCES | 2       | Reino Unido    | Negócios, Gestão e Contabilidade                                                                                        | 2009      | 39       |
| QUALITY AND RELIABILITY ENGINEERING INTERNATIONAL     | 2       | Reino Unido    | Ciências da Decisão; Engenharia                                                                                         | 1985      | 72       |
| SENSORS                                               | 2       | Suíça          | Bioquímica, Genética e Biologia Molecular; Química; Ciência da Computação; Engenharia; Medicamento; Física e Astronomia | 2001      | 245      |
| TECHNOLOGICAL FORECASTING AND SOCIAL CHANGE           | 2       | Estados Unidos | Negócios, Gestão e Contabilidade; Psicologia                                                                            | 1970      | 179      |

\* Cobertura: 1961,1963-1968, 1970-2023

Fonte: Os Autores (2024)

A Tabela 2 expõe os artigos de maior significância da amostra em termos de citações, sobressaem-se em termos de citações locais (dentro da amostra) e citações globais, Asif (2020), que discorre sobre alinhamento dos modelos de gestão da qualidade com a Indústria 4.0., e Babatunde (2021), que avalia a integração dos aspectos "hard" e "soft" da TQM com a I4.0. Em relação às citações globais, além dos dois artigos mencionados anteriormente, outro que tem expressiva relevância é o De Souza (2022) que aborda o conceito da "TQM 4.0". Ademais, é possível reconhecer outro conjunto de periódicos, que possuem escopos que abrangem os tópicos: ciência da computação; energia; ciência ambiental e ciências sociais.

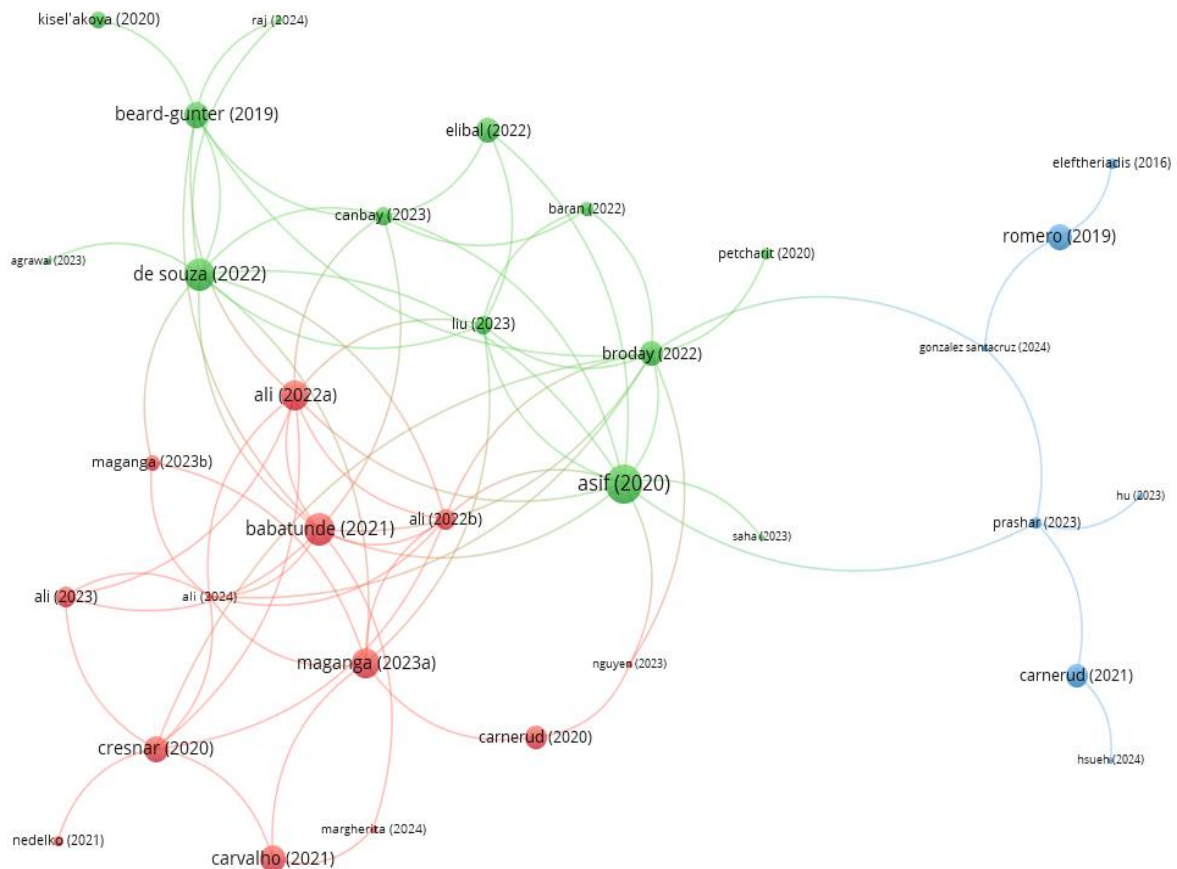
**TABELA 2 – Documentos mais citados**

| <b>Autores</b> | <b>Ano</b> | <b>Periódico</b>     | <b>Citações locais</b> | <b>Citações Globais</b> |
|----------------|------------|----------------------|------------------------|-------------------------|
| ASIF M         | 2020       | J CLEAN PROD         | 11                     | 47                      |
| BABATUNDE OK   | 2021       | TQM J                | 8                      | 34                      |
| BEARD-GUNTER A | 2019       | INT J QUAL SERV SCI  | 7                      | 21                      |
| DE SOUZA FF    | 2022       | TQM J                | 7                      | 33                      |
| CRESNAR R      | 2020       | SENSORS-BASEL        | 6                      | 22                      |
| BRODAY EE      | 2022       | INT J QUAL SERV SCI  | 6                      | 20                      |
| ALI K          | 2022       | TOTAL QUAL MANAG BUS | 5                      | 28                      |
| MAGANGA DP     | 2023       | TQM J                | 4                      | 29                      |
| CARVALHO AM    | 2021       | TOTAL QUAL MANAG BUS | 3                      | 24                      |

Fonte: Os Autores (2024)

Através de uma análise conclusiva da estrutura intelectual do campo estudado, é apresentada a rede social de citações, como ilustrado na Figura 3. Esta rede é composta por três clusters principais, cada um representando distintas linhas de pesquisa dentro do domínio. O primeiro cluster, colorido de verde, concentra-se em estudos relacionados à TQM e aspectos gerais de gestão da qualidade, refletindo uma abordagem tradicional no campo. O segundo cluster, destacado em vermelho, foca na I4.0 e suas tecnologias associadas, explorando como essas inovações estão transformando os processos produtivos e gerenciais. Por fim, o cluster azul aborda a fusão dessas áreas através do termo "Qualidade 4.0", que é utilizado por um grupo específico de autores para descrever a evolução da gestão da qualidade na era digital. Esta representação visual dos clusters ajuda a elucidar as principais tendências e as áreas de foco emergentes no campo, destacando a interação e a evolução dos tópicos de pesquisa ao longo do tempo.

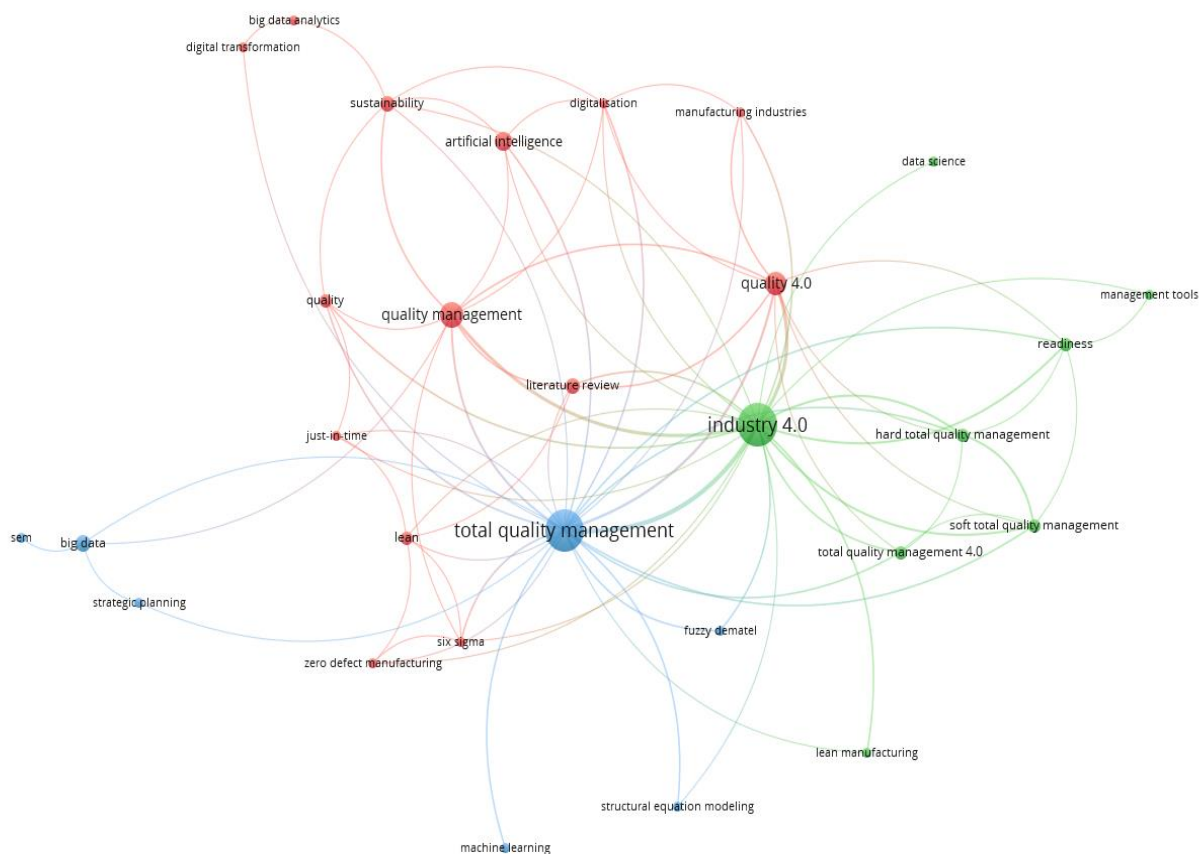
FIGURA 3 – Rede social de citações



Fonte: Os Autores (2024)

A partir da realização da análise de coocorrência de palavras-chave, foi possível discernir a estrutura conceitual subjacente ao campo de estudo desta pesquisa. Como evidenciado na Figura 4, observa-se que as palavras-chave que aparecem com maior frequência nos artigos selecionados para a amostra se agrupam em três principais clusters temáticos. O primeiro cluster, representado na cor verde, integra conceitos de I4.0 e TQM. O segundo cluster, destacado em azul, foca na intersecção entre TQM e tecnologias da I4.0. Finalmente, o terceiro cluster, em vermelho, aborda a Gestão da Qualidade associada especificamente com as inovações da Qualidade 4.0. Essa distribuição temática reflete as tendências atuais de pesquisa e os focos de interesse dentro do campo estudado, destacando a interconexão entre a gestão de qualidade tradicional e as novas tecnologias emergentes da quarta revolução industrial.

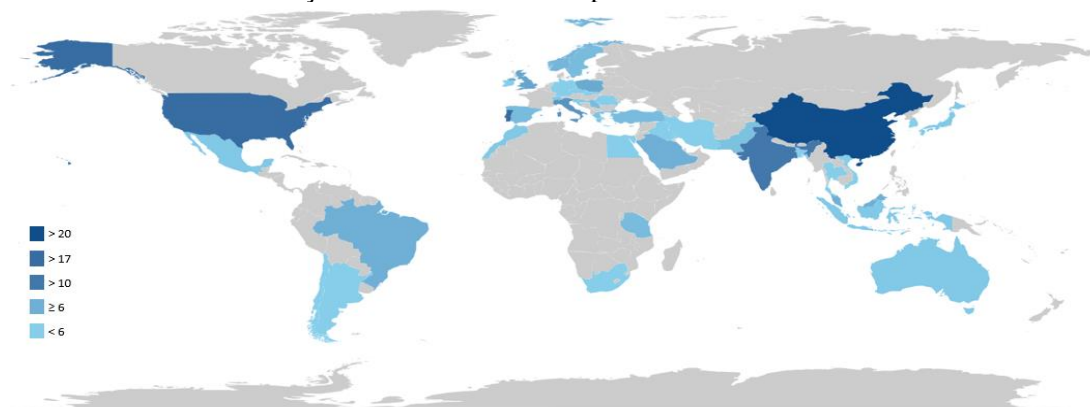
FIGURA 4 – Rede social de coocorrência de palavras-chave



Fonte: Os Autores (2024)

Por fim, a colaboração científica é apresentada na Figura 5, que ilustra a relação existente entre os países com maior montante de produção científica, sendo de suma importância a produtividade e cooperação entre China (24), Portugal (18) e Estados Unidos (18).

FIGURA 5 – Colaboração científica entre os países



Fonte: Os Autores (2024)

## 5. DISCUSSÃO

Percebe-se uma evolução recente e notável na pesquisa, e um crescimento substancial no volume de publicações a partir de 2019, destacando o crescente interesse acadêmico e prático nessas interseções tecnológicas. A análise revela uma predileção por tecnologias como big data analytics e inteligência artificial, que são cruciais para a operacionalização da Indústria 4.0 dentro dos paradigmas da TQM.

Avanços tecnológicos da I4.0 estão sendo integrados aos princípios da TQM. Resultados atuais indicam uma transformação nos modelos de gestão da qualidade, onde a digitalização e a interconectividade não apenas otimizam processos, mas também remodelam a estrutura e a execução da TQM. Lasi *et al.* (2014) foram dos primeiros a identificar as implicações da Quarta Revolução Industrial, notadamente na maneira como as empresas integram tecnologias digitais para aprimorar suas operações. Ghobakhloo (2020) expandiu essa visão ao detalhar como a digitalização está transformando a gestão operacional e a eficiência nas indústrias contemporâneas, uma perspectiva que ressoa diretamente com os resultados encontrados.

Além disso, a análise da produção científica e sua citação revela uma emergência de novas dimensões e preocupações, como a sustentabilidade e a customização em massa, que são cruciais para a competitividade no cenário atual. A I4.0 permite uma forma mais dinâmica e adaptável de gerenciamento da qualidade, alinhada com as demandas de personalização e eficiência exigidas pelo mercado contemporâneo. Práticas tradicionais de TQM são incrementadas com ferramentas tecnológicas que facilitam a coleta e análise de dados, promovendo uma melhoria contínua que é mais informada e precisa.

Em relação a melhoria contínua, os resultados apoiam as evidências analisadas em Buer *et al.* (2018) e Tortorella e Fettermann (2018) sobre como essas integrações tecnológicas podem ser aplicadas para melhorar a eficiência operacional e a gestão da qualidade.

De forma similar, a interconectividade e a automação promovida pela I4.0 e a gestão da qualidade é evidenciada, como já ilustrado por Santos e Martins (2020) e Carvalho *et al.* (2022), sobre produção mais adaptável e personalizada. Os resultados também contribuíram com Olsen e Tomlin (2020) sobre desafios e oportunidades que emergem com a I4.0, apontando para uma nova era de gestão da qualidade onde os processos de melhoria contínua são cada vez mais automatizados e baseados na gestão de dados.

## 6. CONCLUSÃO

Esta pesquisa é um esforço de contribuição ao campo de interseção entre a TQM e a I4.0, enfatizando como as tecnologias emergentes podem redefinir práticas de gestão em contextos industriais contemporâneos. O estudo revelou um aumento notável na produção científica desde 2019, indicativo do crescente interesse e relevância dessas temáticas no cenário acadêmico e industrial.

Comparando os resultados obtidos com a literatura existente, fica claro que as práticas tradicionais de TQM estão sendo profundamente influenciadas pela adoção de tecnologias associadas à Indústria 4.0, como *Big Data Analytics* e inteligência artificial. Estas tecnologias não apenas aprimoram a eficiência e a eficácia dos processos existentes, mas também promovem uma gestão mais adaptável e proativa, capaz de responder às exigências de personalização e flexibilidade do mercado atual.

Além disso, o estudo aponta para uma mudança paradigmática na qual a TQM não é mais apenas uma questão de controle de qualidade, mas uma cultura de melhoria que se integra perfeitamente com as operações digitais e automatizadas da I4.0. Este alinhamento sugere que as organizações que efetivamente integrarem essas tecnologias em suas práticas de gestão da qualidade estarão mais bem posicionadas para liderar em termos de inovação, competitividade e sustentabilidade.

Em suma, o trabalho não apenas mapeia o desenvolvimento atual do campo, mas também estabelece um robusto ponto de partida para futuras investigações sobre como a I4.0 pode continuar a transformar o panorama da gestão da qualidade. A pesquisa incentiva tanto acadêmicos quanto profissionais a explorar mais profundamente as capacidades transformadoras da Quarta Revolução Industrial, impulsionando a evolução contínua das práticas de TQM em direção a um futuro mais integrado e tecnologicamente avançado.

## REFERÊNCIAS

- ALAVIAN, P.; EUN, Y.; MEERKOV, S. M.; ZHANG, L. Smart production systems: automating decision-making in a manufacturing environment. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 3, p. 828-845, 2020.
- ARCIDIACONO, G.; PIERONI, A. The Revolution Lean Six Sigma 4.0. **International Journal on Advanced Science Engineering Information Technology**, v. 8, n. 1, p. 141-149, 2018.
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017.

ASIF, Muhammad. Are QM models aligned with Industry 4.0? A perspective on current practices. **Journal of Cleaner Production**, v. 258, p. 120820, 2020.

BAJAJ, S.; GARG, R.; SETHI, M. Total quality management: a critical literature review using Pareto analysis. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 67, n. 1, 2018.

BARBOSA, Lucia Martins; PORTES, Luiza Alves Ferreira. A inteligência artificial. **Revista Tecnologia Educacional [on line]**, Rio de Janeiro, n. 236, p. 16-27, 2023.

BUER, S. V.; STRANDHAGEN, J. O.; CHAN, F. T. S. The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2924-2940, 2018.

CÂNDIDO, Ana Clara; ARAÚJO JÚNIOR, Rogério Henrique de. Potencialidades do desenvolvimento de cloud computing no âmbito da gestão da informação. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 27, p. 57-80, 2022.

CARVALHO, Andriele De Prá et al. A relação da indústria 4.0 com a sustentabilidade: uma revisão. **Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838**, v. 15, n. 1, 2022.

CHIARINI, A.; BELVEDERE, V.; GRANDO, A. Industry 4.0 strategies and technological developments. An exploratory research from Italian manufacturing companies. **Production Planning & Control**, p. 1-14, 2020.

CIANO, Maria Pia et al. How IJPR has addressed 'lean': a literature review using bibliometric tools. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 15-16, p. 5284-5317, 2019.

COBO, Manuel J. et al. Science mapping software tools: Review, analysis, and cooperative study among tools. **Journal of the American Society for information Science and Technology**, v. 62, n. 7, p. 1382-1402, 2011.

ČREŠNAR, Rok; POTOČAN, Vojko; NEDELKO, Zlatko. Speeding up the implementation of industry 4.0 with management tools: Empirical investigations in manufacturing organizations. **Sensors**, v. 20, n. 12, p. 3469, 2020.

CROSBY, P. B. **Quality is free**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979.

CUENCA, Caio Zago et al. Impactos da indústria 4.0 sobre o futuro dos sistemas de produção. **Anais**, 2018.

DEMING, W. E.; EDWARDS, D. W. **Quality, productivity, and competitive position**. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, Center for Advanced Engineering Study, v. 183, 1982.

FEIGENBAUM, A. V. **Total Quality Control**. New York: McGraw-Hill, 1961.

- FRONTONI, E. et al. Cyber-physical systems for industry 4.0: Towards real-time virtual reality in smart manufacturing. In: **International Conference on Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics**. Cham: Springer, 2018. p. 422-434.
- GHOBAKHLOO, M. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, 2020.
- GILCHRIST, A. **Introducing Industry 4.0**. In: Industry 4.0. Berkeley, CA: Apress, 2016. p. 195-215.
- GOETSCH, D. L.; DAVIS, S. **Quality management for organizational excellence: introduction to total quality**. Boston: Pearson, 2013.
- ISHIKAWA, K. **What is quality control?: The Japanese way**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1985.
- ISHIKAWA, K. **Introduction to Quality Control**. Tokyo: 3A Corporation, 1990.
- JOHNSON, S. Quality 4.0: a trend within a trend. **Quality**, Vol. 58 No. 2, pp. 21-23, 2019.
- JURAN, J. M.; GRZYNA, F. M. **Quality control handbook**. New York: McGraw Hill, 1974.
- KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; DHONE, N. C. Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organizational performance in Indian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 58, p. 7543, 2019.
- KAUR, M.; SINGH, K.; SINGH, D. Synergetic success factors of total quality management (TQM) and supply chain management (SCM): A literature review. **International Journal of Quality & Reliability Management**, 2019.
- KUTLU, A. C.; KADAIFCI, C. Analyzing critical success factors of total quality management by using fuzzy cognitive mapping. **Journal of Enterprise Information Management**, 2014.
- LASI, Heiner; FETTKE, Peter; KEMPER, Hans-Georg; FELD, Thomas; HOFFMANN Michael. Industry 4.0. **Business & information systems engineering**, v. 6, p. 239-242, 2014.
- LIMA, Reynaldo Dezen et al. **BLOCKCHAIN: conceito e aplicações**. 2022.
- MACIEL, Braian Konzgen. **Classificação de single board computer para embarque de sistemas ciberfísicos baseados na arquitetura 5C**. 2019. Dissertação de Mestrado.
- MARTÍNEZ-LORENTE, A. R.; DEWHURST, F.; DALE, B. G. Total quality management: origins and evolution of the term. **The TQM Magazine**, 1998.
- MASCARENHAS, Ana Patrícia Fontes Magalhães et al. Desenvolvimento de produtos IOT. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 4711-4724, 2021.
- MOHAMED, M. Challenges and benefits of Industry 4.0: an overview. **International Journal of Supply and Operations Management**, v. 5, n. 3, p. 256-265, 2018.

NASCIMENTO, Carlos Alberto Xavier et al. Inovação nos Negócios por meio da Análise de Big Data. **International Journal of Professional Business Review**, v. 3, n. 1, p. 1-16, 2018.

OLSEN, T. L.; TOMLIN, B. Industry 4.0: Opportunities and challenges for operations management. **Manufacturing & Service Operations Management**, v. 22, n. 1, p. 113-122, 2020.

PSAROMMATIS, Foivos; PROUVOST, Sylvain; MAY, Gökan; KIRITSIS, Dimitris. Product quality improvement policies in industry 4.0: characteristics, enabling factors, barriers, and evolution toward zero defect manufacturing. **Frontiers in Computer Science**, v. 2, p. 26, 2020.

SANTOS, P. H. A.; MARTINS, R. A. Continuous Improvement Programs and Industry 4.0: Descriptive Bibliometric Analysis. In: **4th International Conference on Quality Engineering and Management**, p. 763-777, 2020.

SAXBY, R.; CANO-KOUROUKLIS, M.; VIZA, E. An initial assessment of Lean Management methods for Industry 4.0. **The TQM Journal**, 2020.

SILA, I.; EBRAHIMPOUR, M. Examination and comparison of the critical factors of total quality management across countries. **International Journal of Production Research**, v. 41, n. 2, p. 235-268, 2003.

SILVEIRA, Karla Silva; HIKICHI, Suzana Eda; SALGADO, Eduardo Gomes. Utilização do AHP para priorização das práticas de TQM na indústria farmacêutica. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 2, p. 524-549, 2016.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Operations Management**. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2010.

SONY, M. Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions. **Production & Manufacturing Research**, v. 6, n.1, p. 416-432, 2018.

TALIB, F.; RAHMAN, Z.; QURESHI, M. N. Analysis of interaction among the barriers to total quality management implementation using interpretive structural modeling approach. **Benchmarking: An International Journal**, 2011.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2018.

VAN ECK, Nees; WALTMAN, Ludo. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523-538, 2010.

ZUPIC, Ivan; CATER, Tomaž. Bibliometric methods in management and organization. **Organizational research methods**, v. 18, n. 3, p. 429-472, 2015.