



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

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



QUALIDADE 4.0: IMPULSIONANDO A GESTÃO DA QUALIDADE A UMA NOVA TRANSFORMAÇÃO

Ricardo Prado Belfiore – ricardo.belfiore@ufabc.edu.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - UFABC

Delmo Alves de Moura – delmo.moura@ufabc.edu.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC - UFABC

ÁREA: 04. ENGENHARIA DA QUALIDADE

SUBÁREA: 04.1 - GESTÃO DE SISTEMAS DA QUALIDADE

RESUMO: A QUALIDADE PASSOU POR UMA SÉRIE MUDANÇAS DURANTE A HISTÓRIA MODERNA, FAMOSAS INICIATIVAS DE QUALIDADE FORAM ADOTADAS MUNDIALMENTE, INCLUINDO O TQM (TOTAL QUALITY MANAGEMENT), SIX SIGMA, LEAN SIGMA. ENTRETANTO NOS ÚLTIMOS ANOS A DISCIPLINA DA QUALIDADE ENTROU EM ESTAGNAÇÃO. AO MESMO TEMPO A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL E A INDÚSTRIA 4.0 VEM CADA VEZ MAIS SE TORNANDO RELEVANTES DENTRO DA INDÚSTRIA. O INTERESSE PELA GESTÃO DA QUALIDADE VEM CAINDO, ABRINDO UMA OPORTUNIDADE PARA A QUALIDADE 4.0, UM CONCEITO EMERGENTE, CONECTANDO AS NOVAS TECNOLOGIAS COM OS MÉTODOS TRADICIONAIS DE QUALIDADE POSSIBILITANDO AS ORGANIZAÇÕES A ATINGIREM UMA PERFORMANCE OTIMIZADA, EXCELÊNCIA OPERACIONAL, INOVAÇÃO E PRODUTOS DE ALTA QUALIDADE. ELA FAZ REFERÊNCIA AO FUTURO DA QUALIDADE E EXCELÊNCIA ORGANIZACIONAL NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0. FORAM ENCONTRADAS DIVERSAS TECNOLOGIAS QUE IMPACTAM DE FORMA POSITIVA A QUALIDADE, COMO O BIG DATA E DATA ANALYTICS, INTERNET DAS COISAS (IOT), INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL, DEEP LEARNING, SISTEMAS CIBER FÍSICOS (CPS), COMPUTAÇÃO EM NUVEM E MACHINE LEARNING. FORAM TAMBÉM ESTUDADOS OS FATORES DE PREPARAÇÃO / MATURIDADE PARA A QUALIDADE 4.0. AS SETE PRINCIPAIS DIMENSÕES FORAM IDENTIFICADAS E OS AUTORES QUE ÀS ESTUDARAM. O PRESENTE ARTIGO CONTRIBUI PARA DISSEMINAR ESTE CONCEITO EMERGENTE DA QUALIDADE 4.0 IMPULSIONANDO A GESTÃO DA QUALIDADE A UMA NOVA TRANSFORMAÇÃO.

PALAVRAS-CHAVES: QUALIDADE 4.0; TQM; INDÚSTRIA 4.0; QUALITY; QUALITY MANAGEMENT.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade passou por uma série mudanças durante a história moderna, da inspeção para o controle de qualidade, evoluindo para a qualidade assegurada e gestão da qualidade e qualidade por projeto. Famosas iniciativas de qualidade foram adotadas mundialmente, incluindo o TQM (Total Quality Management), *Six Sigma*, *Lean Sigma* e Qualidade no Projeto. Parece, no entanto, que nos últimos anos a disciplina da qualidade entrou em estagnação, poucos modelos inovadores vêm sendo desenvolvidos para a qualidade (ZONNENSHAIN; KENETT, 2020).

Embora a gestão da qualidade fosse tradicionalmente orientada por dados, na gestão da qualidade tradicional, muitas vezes os engenheiros da qualidade tomam as suas decisões usando apenas a intuição e/ou avaliações qualitativas (ZONNENSHAIN; KENETT, 2020).

Em contrapartida a Transformação Digital e a Indústria 4.0 vem cada vez mais se tornando relevantes dentro da indústria. O nível de qualidade nos processos de manufatura cada vez mais preocupam as empresas, à medida que respondem a pressões como o aumento da complexidade e da variedade de produtos, cadeias de valor mais complexas e menor tempo para lançamento dos produtos. A gestão da qualidade está se tornando cada vez mais desafiadora à medida que a variedade de modelos e produtos altamente complexos abrigam o perigo de fornecerem produtos defeituosos ao mercado (BOUSDEKISSET al., 2023). Recentes recalls de produtos da General Motors e Toyota são exemplos de sérios problemas na gestão da qualidade, levando a grandes perdas financeiras devido ao aumento nos custos da má qualidade. Estes desafios levantam a questão onde estamos na jornada da qualidade e como os métodos e práticas tradicionais de gestão da qualidade absorvem estas mudanças na era da Indústria 4.0 (GUNASEKARAM; SUBRAMANIAN; NGAI, 2019).

Com o objetivo de reverter esta tendência e conduzir a qualidade para uma transformação, foi criado o termo Qualidade 4.0 em 2017, cunhado por Dan Jacob. A Qualidade 4.0 faz referência a Indústria 4.0 e estão relacionadas com o rápido avanço da conectividade, mobilidade, análise de dados, digitalizando as operações e resultando em transformações na eficiência da produção, no desempenho da cadeia de fornecimento, na inovação dos produtos. A Indústria 4.0 em alguns casos, permitiu modelos de negócios inteiramente novos. Esta transformação deve ser prioridade para os líderes de qualidade, já que o monitoramento e melhoria da qualidade estão entre os principais casos de uso da Industrial 4.0 (JACOB, 2017).

Conforme Jacob (2017) os grande parte dos líderes de qualidade não possuem uma compreensão clara das tecnologias da indústria 4.0, suas aplicações e importâncias. Esta falta

de compreensão está impedindo que a área da qualidade efetivamente lidere as mudanças em direção a Qualidade 4.0.

Para Zonnenshain; Kenett, (2020) nos últimos anos a disciplina de qualidade entrou em estagnação, poucos modelos inovadores de qualidade foram propostos e profissionais da qualidade nas organizações aparentemente perderam suas posições de liderança. O interesse no Google Trends pelo termo “*quality management*” caiu 61% nos últimos 20 anos caiu, em contrapartida o interesse termo *data analytics* aumentou 62 vezes no mesmo período. No ano de 2023 o termo “*data analytics*” foi três vezes mais pesquisado que o termo “*quality management*”

A Qualidade 4.0 é uma oportunidade para o movimento da qualidade se tornar relevante novamente e voltar a ter um papel de destaque. A Qualidade 4.0 como um conceito emergente, tem a missão de reverter esta estagnação na gestão da qualidade. Como um conceito emergente, atualmente não existe uma definição unificada e comumente reconhecida do que é Qualidade 4.0 (NENADÁL et al., 2022).

Desta forma, para contribuir com a compreensão deste conceito emergente de Qualidade 4.0 uma revisão de literatura com análise bibliométrica será aplicada, buscando identificar as principais palavras chaves e o relacionamento entre elas, a evolução da produção científica, os artigos mais relevantes, as revistas científicas de maior impacto e os principais autores. Além disso este artigo tem o objetivo de fundamentar a teoria da Qualidade 4.0, investigar as principais tecnologias relacionadas e levantar os fatores de preparação para a Qualidade 4.0. O estudo busca também contribuir para pesquisas futuras e auxiliar os profissionais da área a impulsionar a gestão da qualidade a uma nova transformação.

2. METODOLOGIA

A análise bibliométrica, tem a finalidade de medir por análises estatísticas a produção de pesquisa científica e tecnológica na forma de artigos, publicações, citações, patentes, entre outros, possibilitando avaliar atividades de pesquisa, instituições, países etc., auxiliando assim, nas tomadas de decisões e no gerenciamento da pesquisa (OKUBO, 1997). Portanto, a análise bibliométrica ou bibliometria refere-se a uma análise quantitativa da comunicação escrita (TURRIONI; MELLO, 2012). As técnicas de bibliometria podem originar diversos tipos de indicadores, tais como: indicadores de publicação, indicadores de citações, indicadores de co-publicações, indicadores de co-citações, entre outros (OKUBO, 1997).

Esta pesquisa analisou os principais trabalhos relacionados a Qualidade 4.0, descrevendo e fornecendo dados atuais e relevantes relacionados ao tema, através de fontes fidedignas de

informações. A revisão de literatura foi exploratória e tem o objetivo de não deixar de lado nenhuma obra importante sobre a Qualidade 4.0 (TURRIONI; MELLO, 2012).

A condução do trabalho utilizou como base os termos relacionados a Qualidade 4.0. Foram definidos critérios de busca utilizando palavras chaves, base de dados, tipos de publicação e o período de publicação. A condução da pesquisa primeiramente envolveu publicações com a palavra-chave “Quality 4.0”. A busca na base de dados Scopus foi efetuada em julho de 2023 e atualizada em janeiro de 2024. Foi feita uma busca inicial na base de dados científica Scopus e Web of Science (WOS). Além disso, o mesmo critério foi usado para exibir os artigos em todas as fontes para garantir a confiabilidade e acuracidade dos dados e das informações obtidas. Para o processo de busca dos artigos científicos determinou-se como premissa publicações dos últimos 10 anos.

Revisando os achados, as buscas foram concentradas na base de dados Scopus, onde foram encontrados o maior número de artigos com o conteúdo relacionados a esta pesquisa. De acordo com Broday (2022), o Scopus é a base de dados mais abrangente de referências bibliográficas, não apenas para pesquisa, mas também para disseminação de informações, portanto é altamente representativa e relevante na comunidade científica.

Através da busca do termo “Quality 4.0” na base de dados Scopus nos títulos dos artigos, resumo e palavras-chave encontrou-se 207 documentos. Limitando o conteúdo artigos e revisões provenientes de revistas científicas escritos em inglês e português, a partir de 2017, momento em que o termo Qualidade 4.0 foi cunhado a busca foi reduzida para 135 documentos.

Os dados achados foram importados para o software RStudio combinado com a plataforma Bibliometrix, pacote de linguagem de programação estatística R para pesquisa quantitativa em cienciometria e bibliometria. O Bibliometrix permite analisar diversos fatores chave relativos ao conteúdo.

3. RESULTADOS

3.1 Revisão Bibliométrica

As palavras-chave possuem um papel importante na definição dos artigos científicos. O objetivo revisão das palavras-chave são identificar os mais frequentes termos usados e a correlação entre elas (TISSIR et al., 2023).

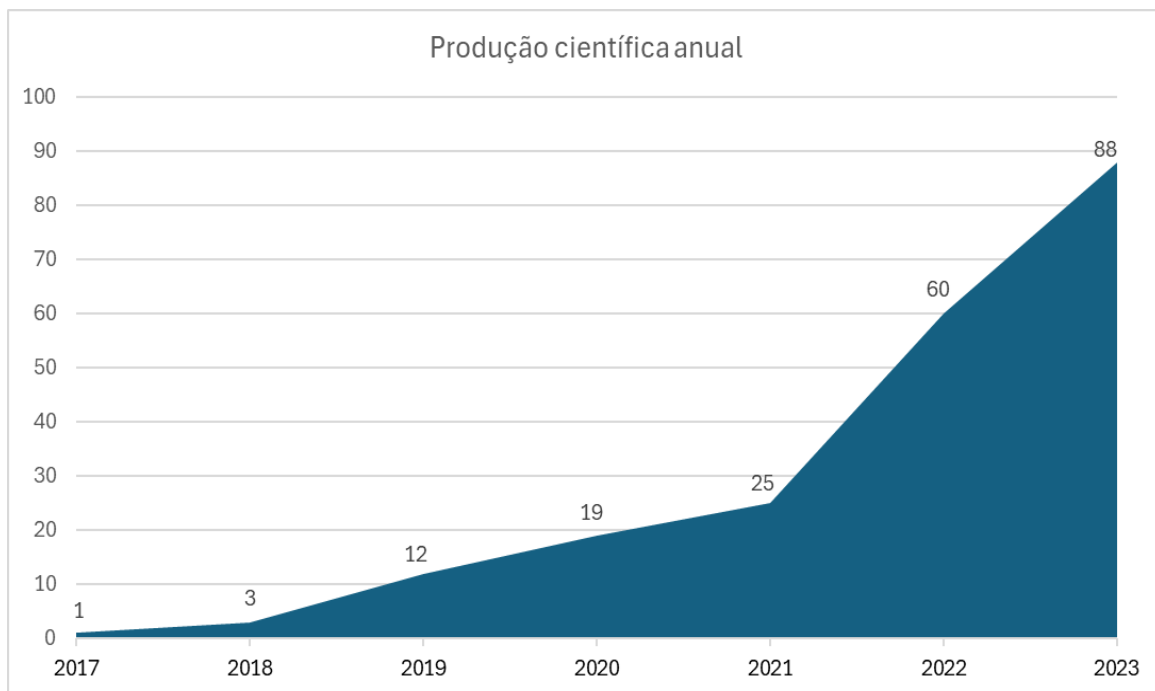
Para analisar o relacionamento entre as palavras-chave utilizou-se gráfico de rede de coocorrências do Bibliometrix conforme Figura 1.

Pode-se ver os temas centrais são Qualidade 4.0, Indústria 4.0 e estão conectados com a gestão da qualidade. Temas relacionados a manutenção também estão conectados a Qualidade 4.0. As tecnologias da Indústria 4.0, como “*big data*”, inteligência artificial, “*machine learning*” estão ligadas ao controle de qualidade. Por fim, de forma isolada o tema liderança é um fator de sucesso para a Qualidade 4.0.

Aumentando o escopo da busca incluindo as três palavras-chave adicionais foram encontrados 75 artigos adicionais, totalizando 210 artigos.

A Figura 2 demonstra a evolução da produção científica relacionada ao tema da pesquisa em quantidade de publicações deste 2017. A quantidade de publicações foi crescente considerando que a Qualidade 4.0 é um termo incipiente. Os anos de 2022 e 2023 totalizam 148 artigos, representando 70% das publicações relacionadas a Qualidade 4.0. Foram encontrados também 2 artigos em 2024.

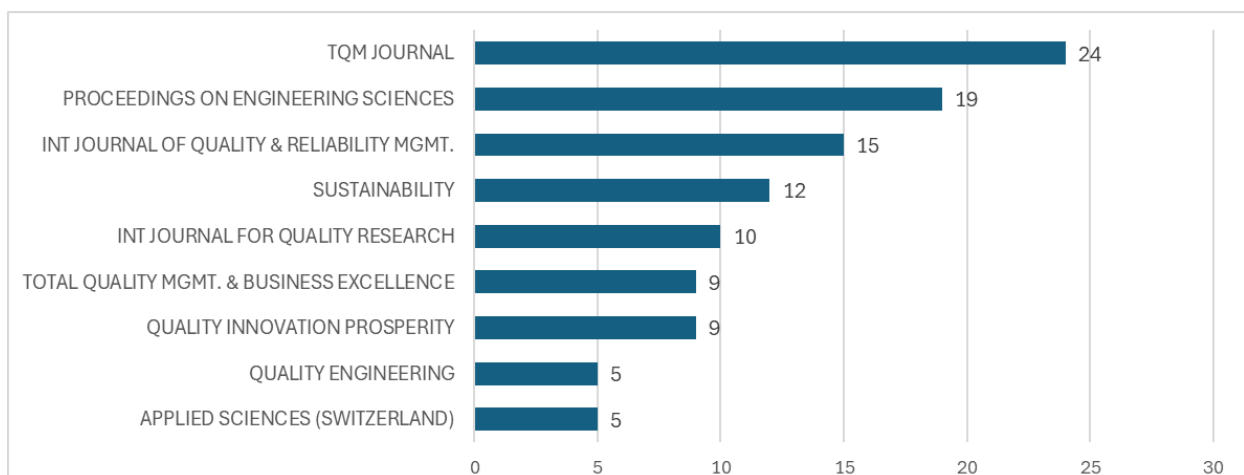
FIGURA 2 - Produção científica anual



Fonte: Dados compilados do Scopus (2024), artigos 2017 a 2023.

As informações a seguir foram extraídas com a combinação de palavras-chave, autores, revistas científicas. As fontes mais relevantes considerando o número de artigos está demonstrada na Figura 3. TQM Journal é a revista científica com maior número de artigos publicados. Ela possui o objetivo de publicar artigos que relatem pesquisas que abordem desafios reais da indústria e da gestão e contribuam para o desenvolvimento de soluções reais.

FIGURA 3 - quantidade de artigos publicados revista científica

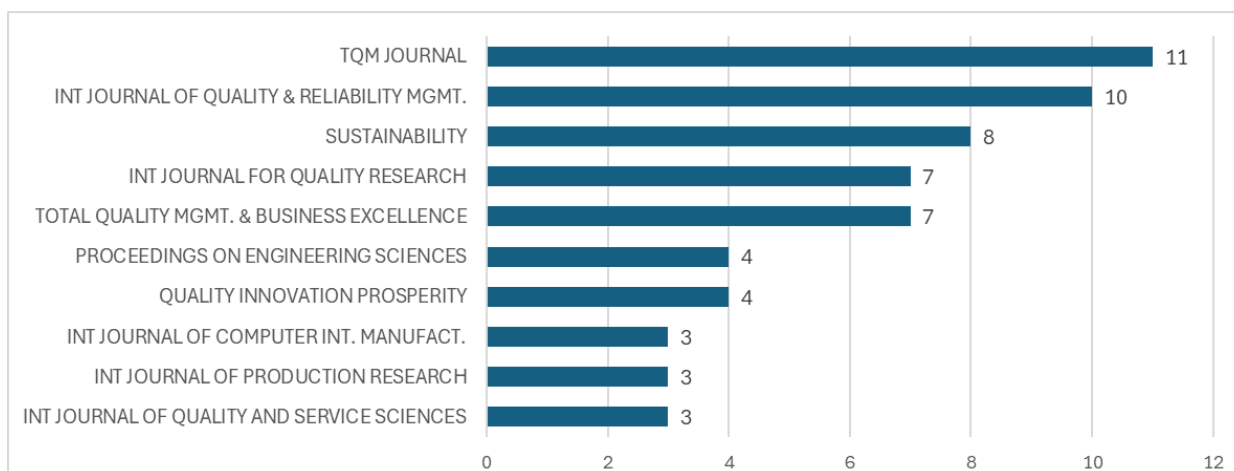


Fonte: Biblioshiny e Scopus (2024)

O Biblioshiny disponibiliza a análise dos periódicos por fonte de impacto pelo H-index como pode-se ver na Figura 4. O H-index combina a quantidade de artigos publicados pelo periódico e citações por outros artigos pelo período pesquisado. H-index é um melhor indicador

de produtividade que a quantidade de artigos publicados apenas (HIRSCH; CARDONA, 2007).

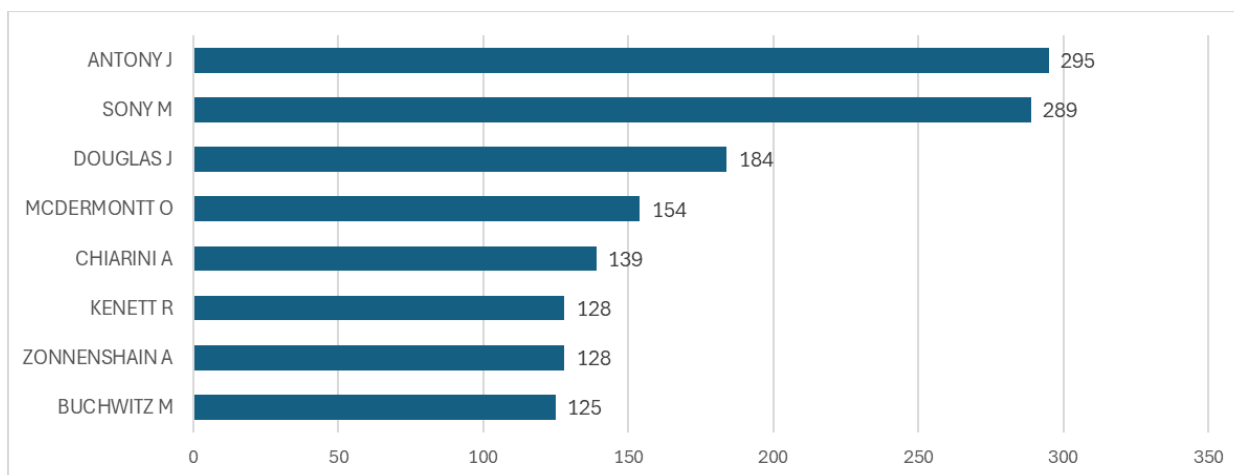
FIGURA 4: Fonte de Impacto, H-Index



Fonte: Biblioshiny e Scopus (2024)

A Figura 5 classifica os autores dos artigos científicos pelo total de citações por autor. A classifica os autores pelo impacto com base no H-index apresenta um resultado semelhante portando não será demonstrada.

FIGURA 5: Citações por autor



Fonte: Biblioshiny e Scopus (2024)

Após a leitura dos resumos, foram eliminados os artigos que não estavam alinhados com o objetivo da pesquisa onde foram selecionados 71 artigos. Os 71 artigos foram adicionados programa Mendley Reference Manager onde foi realizada uma leitura seletiva analisando seu conteúdo resultando em 54 artigos que foram utilizados como base com base para revisão da literatura na busca de responder os objetivos da pesquisa.

3.2 Fundamentação teórica da Qualidade 4.0

Em linha as revoluções industriais, a qualidade evoluiu através de numerosas transformações. Chiarini; Kumar, (2022) correlacionam as revoluções industriais com a abordagem da qualidade como demonstrado a seguir:

Qualidade 0.0 (inspeção) e Qualidade 1.0 (controle), transformação do trabalho manual em sistema industrial mecanizado, a qualidade, quando presente era meramente uma inspeção básica ou utilizando gráficos de controle.

Qualidade 2.0 (garantia): qualidade através de padrões e qualidade assegurada, onde a produtividade é o maior objetivo, a qualidade é baseada no controle, auditoria.

Qualidade 3.0 (melhoria): assim que a renda per capita aumenta, os consumidores buscam por uma melhor qualidade. A qualidade se torna crucial para aumentar a participação de mercado das empresas. A ISO 9000, o TQC (controle da qualidade total), o TQM e six sigma se tornam importantes na busca da satisfação do cliente e na melhoria contínua, onde todos os funcionários são envolvidos na melhoria da qualidade e solução de problemas.

As motivações para estas mudanças estão sobretudo conectadas a estas mudanças no mercado e na mudança de atitude dos consumidores. A mais recente transformação da qualidade denominamos de Qualidade 4.0.

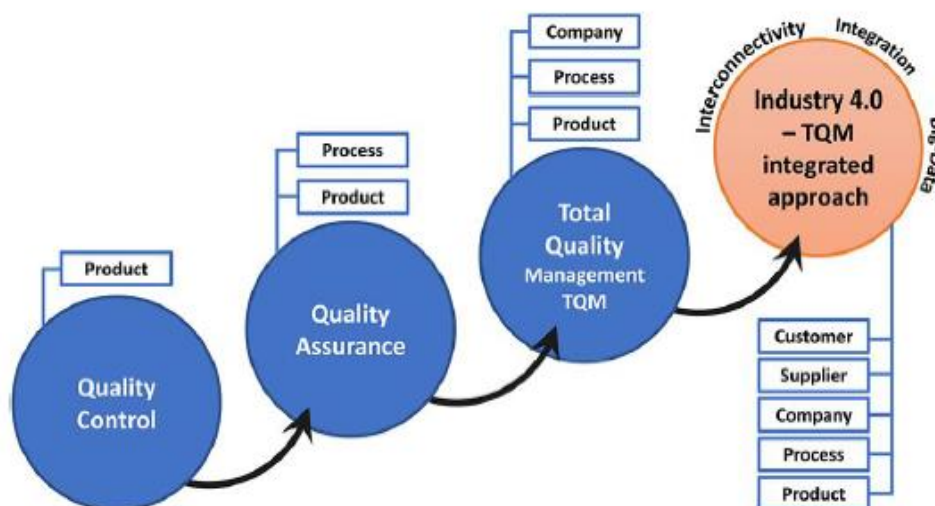
A Qualidade 4.0 conecta as novas tecnologias com os métodos tradicionais de qualidade para atingir uma performance otimizada, excelência operacional e inovação (JACOB, 2017). Antony et al., (2022) definem Qualidade 4.0 como o uso de tecnologias avançadas como computação em nuvem, IoT, CPS, sistemas automatizados de qualidade, melhorando a interação através do planejamento da qualidade, qualidade assegurada e melhoria da qualidade para atingir um novo ideal em performance, excelência operacional e inovação para atender a visão, missão e objetivos na organização. Conforme afirmado pela American Society for Quality (2020), “Qualidade 4.0 é um termo que faz referência ao futuro da qualidade e excelência organizacional no contexto da Indústria 4.0” (SAIHI; AWAD; BEN-DAYA, 2023).

Alguns autores sugerem que os fabricantes devem fazer a transição para o conceito da Qualidade 4.0 para integrar novas tecnologias para analisar os dados e avaliar a qualidade (JAVOID et al., 2021).

Qualidade 4.0 como tal é muito mais do que tecnologia. É um novo método pelo qual as ferramentas digitais podem ser usadas para que a capacidade das organizações de fornecer consistentemente produtos de alta qualidade possa ser aprimorada. A Qualidade 4.0 impulsionará melhorias em toda a cadeia de valor (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020).

Pode-se ver na figura 6 uma perspectiva mais ampla para integrar os recursos da Indústria 4.0 com qualidade, através da interconectividade, integração e Big-data integrando toda a cadeia.

FIGURA 6: O Framework TQM na Era da Indústria 4.0



Fonte: Nenadál, (2020)

A integração conectará as expectativas dos clientes, as análises de mercado, aos sistemas de produção. A qualidade dos produtos será controlada e garantida por meio de sensores inteligentes e análises de investigação e falhas. O custo da qualidade será mínimo devido a detecção inteligente de falhas e a detecção antecipada. Esta interconectividade e integração da Indústria 4.0 com a qualidade pode-se chamar de Qualidade 4.0.

3.3 O impacto das tecnologias na Qualidade 4.0

A Qualidade 4.0 é apoiada por tecnologias da que proporcionam mudanças reais na qualidade, liderança e na cultura da qualidade no processo (JAVOID ET AL., 2021). A qualidade pode se beneficiar com as tecnologias da Indústria 4.0. A implantação da Qualidade 4.0 garante que as organizações melhorem sua eficiência e seus modelos de negócios. As empresas apoiadas pela digitalização de seus processos têm a oportunidade de atingir suas metas de excelência operacional e desempenho (SONY; ANTONY; DOUGLAS, 2020). De acordo com Rifqi et al., (2021) a Qualidade 4.0 combina efetivamente os métodos e ferramentas de gestão da qualidade com as novas tecnologias da Indústria 4.0.

De acordo com Mtotywa, (2022) a Qualidade 4.0 está fundada nas bases das tecnologias da Indústria 4.0, onde a alta gestão deve estar comprometida com a tecnologia e inovação, sendo

necessária uma mudança cultural.

Maganga; Taifa, (2023) através de uma revisão da literatura identificaram que aplicando as tecnologias, a Qualidade 4.0 oferece vários benefícios como a melhora da qualidade e a eficiência dos produtos, bem como de toda a operação. Eles também ranquearam as tecnologias que podem alavancar a Qualidade 4.0 nas indústrias.

O Quadro 1 a seguir identifica as principais tecnologias ligadas a Qualidade 4.0 que podem impactar a performance operacional da indústria e seus respectivos autores.

QUADRO 1: Fatores na preparação para a Qualidade 4.0

Tecnologia	Principais impactos	Autores
<i>Big data & Analytics</i>	Os novos sistemas de produção aumentaram a geração de dados em toda a cadeia de valor de forma exponencial. A utilização destes dados de maneira apropriada pode resultar em uma melhoria nas práticas de gestão da qualidade. O <i>big data</i> permite que a indústria utilize estes dados e ao mesmo tempo, identifique os dados essenciais para melhorar os processos de fabricação, através da utilização de sensores, aliado a rápidos sistemas de comunicação cyber físicos da Indústria 4.0, prevendo problemas de qualidade nas organizações. O <i>big data</i> foi considerado por diversos autores como a principal dimensão, principal impulsionador e fator motivacional na adoção da Qualidade 4.0 nas indústrias de manufatura, além de ser a principal tecnologia que pode alavancá-la.	Sader; Husti; Daróczy, (2019), Markatos; Mousavi, (2023); Zonnenshain; Kenett, (2020); Maganga; Taifa, (2023); Johnson, (2019), Sony; Antony; Douglas, (2020);
Internet das Coisas (IoT)	Integrar máquinas, processos, pessoas e toda indústria transformadora com a ajuda de sensores, sistemas de feedback e digitalização, foi possível pela presença de IoT. O IoT é a segunda tecnologia que mais pode alavancar a Qualidade 4.0, habilitando inspeções de qualidade automatizadas. Como resultado desta integração, a IoT proporcionou um avançado ambiente colaborativo, emergiu com aumento da conectividade em toda cadeia de valor, desde os fornecedores até o cliente final, melhorando a experiência do cliente. As organizações podem acompanhar o desempenho dos produtos, coletar e analisar dados dos consumidores para entender suas necessidades. IoT integra sistemas horizontais e verticais permitem a interconectividade de sistemas remotos através de uma rede central, além da completa integração digital e automação de todos os aspectos da fabricação, aumentando o desempenho e a qualidade do produto. Tecnologias como RFID podem conectar estes sistemas.	Maganga; Taifa, (2022b); Antony et al., (2023b); Nenadál et al., (2022); Markatos; Mousavi, (2023); Chiarini; Kumar, (2022)
Inteligência Artificial (AI) e Deep Learning (DL)	Big data, AI e softwares preditivos são novos tipos de ferramentas de resolução de problemas, originando uma nova fronteira para as pessoas que trabalham no campo da qualidade. Estudos demonstram que a gestão de relacionamento com o cliente (CRM) tem impacto substancial na satisfação do cliente, onde estudos demonstraram correlação entre a implementação da tecnologia CRM e uma maior satisfação dos clientes. AI pode ser utilizada para aplicações dedicadas a gestão da qualidade para prever produtos não conformes. O DL aumenta a eficácia e eficiência no controle dos processos visando alcançar melhor qualidade e custos mais baixos, permitindo a autocorreção dos processos por meio de ciclos de	Chiarini, (2020); Mtotywa, (2022); Chiarini; Kumar, (2022); Villalba-Diez et al., (2019);

	feedback de qualidade mais curtos e precisos. A um nível mais estratégico, clientes e fornecedores poderão atingir novos níveis de transparência e rastreabilidade na qualidade e eficiência dos processos.	
Sistema de Execução da Produção (MES) e Sistemas Cyber Físicos (CPS)	Dados de máquinas, linhas de montagem, sistemas logísticos podem ser trocados utilizando o software MES, identificando não conformidades e alertando automaticamente os envolvidos, além de retroalimentar a programação de produção. A detecção de falhas de forma automática, assim como o autoaprendizado das máquinas conectadas são capazes de tomar decisões independentes. CPS impacta na satisfação do cliente e seu relacionamento entre a empresa e seus clientes. CPS pode ser utilizado para auxiliar na rastreabilidade dos produtos em termos de programação e resultado de testes e estes resultados podem ser compartilhados com os clientes para melhorar a sua satisfação. O produto durante a sua vida útil pode transmitir dados, habilitando uma engenharia otimizada através de toda a cadeia de valor.	Chiarini; Kumar, (2022); Sader; Husti; Daróczy, (2019); Sony; Antony; Douglas, (2020); Chiarini, (2020);
Computação em nuvem	Contribuir para garantir a qualidade dos dados, confiança e desenvolvimento de uma cultura de qualidade por meio de monitoramento contínuo que permite a autorização de transações que atendam aos objetivos de qualidade.	Sisodia; Forero, (2020)
Machine Learning (ML)	Organizações podem destravar percepções valiosas e identificar oportunidades de melhoria nos processos relacionados a qualidade utilizando <i>Analytics</i> e ML. A análise preditiva, alimentada por algoritmos ML, pode ser aplicada a dados históricos para identificar padrões e tendências previstos. As organizações podem tomar medidas proativas para prevenir defeitos ou falhas, prevenindo problemas de qualidade antes que ocorram. Recentemente o controle de qualidade e a detecção de falhas emergiram como duas áreas primárias de foco em pesquisa, onde técnicas baseadas em ML foram demonstradas como efetivas nos dois domínios. Muitos algoritmos do ML como a árvore de decisão, <i>random forest</i> , rede neural entre outras foram usadas para predição da qualidade. Uma barreira para uma adoção mais ampla da análise de dados na gestão da qualidade ocorre devido aos algoritmos de ML requererem uma habilidade analítica avançada para seu treinamento, configuração e interpretação.	Virmani et al., (2023); Markatos; Mousavi, (2023);

Fonte: Elaborado pelos autores

3.4 Nível de preparação ou maturidade da indústria em relação a Qualidade 4.0

O termo preparação vem da tradução do termo em inglês *readiness* que significa disposição ou estar preparado para qualquer coisa. O termo preparação pode frequentemente descrever o processo de aceitação tecnológica e sua aplicação (MAGANGA; TAIFA, 2022b). O termo preparação ou *readiness* pode ser substituído pelo termo maturidade (NENADÁL et al., 2022).

O modelo de maturidade é uma técnica comprovada para se fazer uma avaliação nos processos de negócios ou certos aspectos das organizações. A avaliação de maturidade pode ser usada para medir o nível de maturidade atual de certos aspectos da organização de uma forma relevante, habilitando os *stakeholders* para claramente identificarem as fortalezas e os pontos

de melhoria e assim priorizar o que fazer a fim de atingir níveis de maturidade maiores (PROENÇA, 2016).

Ao iniciar o caminho para melhorar o desempenho, as organizações geralmente investigam a sua maturidade atual. O termo “avaliação de maturidade” é usado para tais atividades. Em geral, o termo “maturidade” refere-se ao estado de ser completo, abrangente, pronto ou perfeito. A palavra “maturidade” pode ser substituída pelo termo “prontidão” (NENADÁL et al., 2022).

As atividades de avaliação de maturidade/prontidão concentram-se nas organizações como um todo ou em suas partes como sistemas de gestão, tecnologia, produtos, processos entre outros (NENADÁL et al., 2022). Os fatores de preparação são críticos na implementação da Qualidade 4.0 (ANTONY et al., 2023).

O Quadro 2 resume os modelos de maturidade para a Qualidade 4.0 encontrados na revisão de literatura. Para definição das dimensões os autores investigaram a maturidade da Qualidade 4.0 nas organizações, desenvolveram modelos de maturidade, ouviram opiniões de especialistas da indústria e do meio acadêmico.

QUADRO 2: Fatores na preparação para a Qualidade 4.0

Dimensões para a Qualidade 4.0	(Maganga; Taifa, 2022a)	(Zulfiqar <i>et al.</i> , 2023)	(Chiarini; Kumar, 2022)	(Mtotywa, 2022)	(Nenadál <i>et al.</i> , 2022)
Visão estratégica para a Qualidade 4.0	✓	✓			✓
Colaboração e envolvimento	✓			✓	✓
Foco no cliente	✓			✓	
Competência dos funcionários	✓	✓	✓	✓	✓
Suporte e comprometimento da alta gestão	✓	✓	✓	✓	✓
Cultura organizacional	✓	✓		✓	✓
Infraestrutura / desenvolvimento tecnológico	✓				✓

Fonte: Elaborado pelos autores

Dentre os artigos centrados neste tópico, nenhum artigo estudou a preparação e maturidade das empresas no Brasil, abrindo a oportunidade para pesquisas futuras.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão de literatura com análise bibliométrica identificou as principais e mais influentes fontes. Pode-se identificar um aumento significativo nas publicações a partir de 2022, demonstrando que o tema vem despertando o interesse dos pesquisadores. O relacionamento de palavras chaves demonstrou a alta ligação com a Indústria 4.0 e suas tecnologias confirmando a necessidade de estudar este fenômeno.

A revisão dos artigos selecionados possibilitou a fundamentação teórica através da evolução da qualidade, demonstrando a necessidade de mudanças onde a transformação para a Qualidade 4.0 é uma necessidade para atender as necessidades do mercado e acompanhar a mudança de atitude dos consumidores.

A Qualidade 4.0, através das tecnologias podem ser usadas para que as organizações forneçam produtos de alta qualidade. As tecnologias como *big data & Analytics*, IoT, AI, DL, MES, CPS, computação em nuvem e ML conectadas com as máquinas e coletando uma grande quantidade de dados podem levar a disciplina da qualidade para um outro patamar. A qualificação dos profissionais para lidar com esta grande quantidade de dados é um desafio que precisa ser mais estudado em pesquisas futuras.

As organizações têm um papel importante para alavancar a Qualidade 4.0 e através de avaliações de preparação/maturidade podem identificar suas fraquezas e implementar um plano para aumento da maturidade.

Como observação final, o fenômeno foi estudado em poucos países, necessitando de novos estudos acerca do tema.

REFERÊNCIAS

ANTONY, Jiju *et al.* An exploration of organizational readiness factors for Quality 4.0: an intercontinental study and future research directions. **International Journal of Quality and Reliability Management**, [s. l.], v. 40, n. 2, p. 582–606, 2023a.

ANTONY, Jiju *et al.* How do organizational performances vary between early adopters and late adopters of Quality 4.0? An exploratory qualitative study. **TQM Journal**, [s. l.], 2023b.

BOUSDEKIS, Alexandros *et al.* Data analytics in quality 4.0: literature review and future research directions. **International Journal of Computer Integrated Manufacturing**, [s. l.], v. 36, n. 5, p. 678–701, 2023.

BRODAY, Evandro Eduardo. The evolution of quality: from inspection to quality 4.0. **International Journal of Quality and Service Sciences**, [s. l.], v. 14, n. 3, p. 368–382, 2022.

CHIARINI, Andrea. Industry 4.0, quality management and TQM world. A systematic literature review and a proposed agenda for further research. **TQM Journal**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 603–616, 2020.

CHIARINI, Andrea; KUMAR, Maneesh. What is Quality 4.0? An exploratory sequential mixed methods study of Italian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, [s. l.], v. 60, n. 16, p. 4890–4910, 2022.

GUNASEKARAN, Angappa; SUBRAMANIAN, Nachiappan; NGAI, Wai Ting Eric. Quality management in the 21st century enterprises: Research pathway towards Industry 4.0. **International Journal of Production Economics**, [s. l.], v. 207, p. 125–129, 2019.

HIRSCH, J E; CARDONA, Manuel. Does the h index have predictive power? **PNAS December**, [s. l.], v. 4, p. 19193–19198, 2007. Disponível em: www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.0707962104.

JACOB, Dan. **Getting Digitally Connected to Transform Quality Management QUALITY 4.0 IMPACT AND STRATEGY HANDBOOK CONNECT**. [S. l.: s. n.], 2017.

JAVAID, Mohd *et al.* Significance of Quality 4.0 towards comprehensive enhancement in manufacturing sector. **Sensors International**, [s. l.], v. 2, 2021.

JOHNSON, S. Quality4.0_Johnson. **Quality**, [s. l.], p. 21–23, 2019. Disponível em: <https://www.qualitymag.com/articles/95272-quality-40-a-trend-within-a-trend>. Acesso em: 12 jan. 2024.

MAGANGA, Deusdedith Pastory; TAIFA, Ismail W.R. Quality 4.0 conceptualization: an emerging quality management concept for manufacturing industries. **TQM Journal**, [s. l.], v. 35, n. 2, p. 389–413, 2023.

MAGANGA, Deusdedith Pastory; TAIFA, Ismail W.R. Quality 4.0 transition framework for Tanzanian manufacturing industries. **TQM Journal**, [s. l.], 2022a.

MAGANGA, Deusdedith Pastory; TAIFA, Ismail W.R. The readiness of manufacturing industries to transit to Quality 4.0. **International Journal of Quality and Reliability Management**, [s. l.], 2022b.

MARKATOS, Nikolaos G.; MOUSAVI, Alireza. Manufacturing quality assessment in the industry 4.0 era: a review. **Total Quality Management and Business Excellence**, [s. l.], 2023.

MTOTYWA, Matolwandile Mzuvukile. Developing a Quality 4.0 Maturity Index for Improved Business Operational Efficiency and Performance. **Quality Innovation Prosperity**, [s. l.], v. 26, n. 2, p. 101–127, 2022.

NENADÁL, Jaroslav *et al.* Quality 4.0 Maturity Assessment in Light of the Current Situation in the Czech Republic. **Sustainability (Switzerland)**, [s. l.], v. 14, n. 12, 2022.

NENADÁL, Jaroslav. The new EFQM model: What is really new and could be considered as a suitable tool with respect to quality 4.0 concept? **Quality Innovation Prosperity**, [s. l.], v. 24, n. 1, p. 17–28, 2020.

- PROENÇA, Diogo. Methods and Techniques for Maturity Assessment. *In: , 2016. Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI) . [S. l.]: IEEE, 2016.*
- RIFQI, Hanane *et al.* Positive Effect of Industry 4.0 on Quality and Operations Management. **International journal of online and biomedical engineering**, [s. l.], v. 17, n. 9, p. 133–147, 2021.
- SADER, Sami; HUSTI, István; DARÓCZI, Miklós. Industry 4.0 as a key enabler toward successful implementation of total quality management practices. **Periodica Polytechnica Social and Management Sciences**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 131–140, 2019.
- SISODIA, Raoul; FORERO, Daniel Villegas. **Quality 4.0-How to Handle Quality in the Industry 4.0 Revolution**. 2020. - CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Gothenburg, Sweden.
- SONY, Michael; ANTONY, Jiju; DOUGLAS, Jacqueline Ann. Essential ingredients for the implementation of Quality 4.0: A narrative review of literature and future directions for research. **TQM Journal**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 779–793, 2020.
- TISSIR, Siham *et al.* Lean Six Sigma and Industry 4.0 combination: scoping review and perspectives. **Total Quality Management and Business Excellence**, [s. l.], v. 34, n. 3–4, p. 261–290, 2023.
- TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **METODOLOGIA DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. [S. l.: s. n.], 2012. Disponível em: www.carlosmello.unifei.edu.br.
- VILLALBA-DIEZ, Javier *et al.* Deep learning for industrial computer vision quality control in the printing industry 4.0. **Sensors (Switzerland)**, [s. l.], v. 19, n. 18, 2019.
- VIRMANI, Naveen *et al.* Assessing solutions to overcome Quality 4.0 barriers: a decision-making framework. **TQM Journal**, [s. l.], 2023.
- ZONNENSHAIN, Avigdor; KENETT, Ron S. Quality 4.0: the challenging future of quality engineering. **Quality Engineering**, [s. l.], v. 32, n. 4, p. 614–626, 2020.
- ZULFIQAR, Maryam *et al.* A readiness assessment of Quality 4.0 in packaging companies: an empirical investigation. **Total Quality Management and Business Excellence**, [s. l.], 2023.