



A INTEGRAÇÃO DE SEIS SIGMA, BIG DATA E INTERNET DAS COISAS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

JOSÉ AUGUSTO MARTINS DE ALMEIDA - gutomartins0208@gmail.com
CENTRO UNIVERSITÁRIO DA FUNDAÇÃO EDUCACIONAL GUAXUPÉ - UNIFEG

DANIELE DOS REIS PEREIRA MAIA - danielerp@estudante.ufscar.br
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCAR

FABIANE LETICIA LIZARELLI - fabiane@dep.ufscar
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCAR

THAIS MOREIRA TAVARES – thaism0405@gmail.com UNIVERSIDADE
FEDERAL DE SÃO CARLOS - UFSCAR

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

ÁREA: 4. ENGENHARIA DA QUALIDADE

SUBÁREA: 4.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE

RESUMO: A INDÚSTRIA 4.0 ESTÁ TRANSFORMANDO OS AMBIENTES INDUSTRIAIS POR MEIO DE AVANÇOS TECNOLÓGICOS. PROGRAMAS DE MELHORIA CONTÍNUA, COMO A ABORDAGEM SEIS SIGMA, SÃO IMPULSIONADAS PELO USO BIG DATA E INTERNET DAS COISAS (IOT). ESSAS TECNOLOGIAS POSSIBILITAM AS ORGANIZAÇÕES A GERENCIAREM GRANDES VOLUMES DE DADOS EM TEMPO REAL E INTEGRAR DISPOSITIVOS PARA APRIMORAR OS PROCESSOS PRODUTIVOS. ESTE ESTUDO INVESTIGA POR MEIO DE UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA OS BENEFÍCIOS DA INTEGRAÇÃO DE BIG DATA, INTERNET DAS COISAS E SEIS SIGMA NOS PROCESSOS PRODUTIVOS, COM ÊNFASE NA MELHORIA CONTÍNUA. A PESQUISA EXAMINOU DOCUMENTOS DAS BASES DE DADOS SCOPUS E WEB OF SCIENCE, SEGUINDO AS DIRETRIZES DO PROTOCOLO DE PESQUISA PRISMA. ALÉM DISSO, FORAM UTILIZADOS OS SOFTWARES COMO MENDELEY E NVIVO PARA GARANTIR SUPORTE E RIGOR NA ANÁLISE DOS DADOS. OS ACHADOS PERMITEM CONLUIR QUE A INTEGRAÇÃO PROPORCIONA VISUALIZAÇÕES DE DADOS APRIMORADAS E MONITORAMENTO CONTÍNUO DOS PROCESSOS. ALÉM DISSO, PERMITE ANÁLISES AVANÇADAS E A IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES COMPLEXOS, POSSIBILITANDO A TOMADA DE DECISÕES EM TEMPO REAL. POSSIBILITA AUMENTO NA EFICIÊNCIA E QUALIDADE DOS PROCESSOS DE PRODUÇÃO.

PALAVRAS-CHAVES: SEIS SIGMA, BIG DATA, INTERNET DAS COISAS, REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente os avanços tecnológicos estão redefinindo ambientes industriais, caracterizada pela busca incessante em excelência operacional e competitividade (JAVOID *et al.*, 2022). Nesse contexto, emerge a Indústria 4.0 (I4.0), impulsionada por tecnologias que visam potencializar os processos de produção, tornando as empresas mais competitivas e preparadas para os desafios em ambientes dinâmicos (ÇINAR; ZEESHAN; KORHAN, 2021).

A I4.0 é marcada por um conjunto de tecnologias e uma abordagem holística para a transformação digital dos processos industriais. A I4.0 inclui um conjunto integrado de tecnologias, tais como *Big Data*, Computação e Nuvem, Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Realidade Aumentada, Impressão 3D, entre outras (GOMES, 2020; TSARAMIRSIS *et al.*, 2022). I4.0 visa promover a automação e a integração dos processos, resultando em processos produtivos mais eficientes e ágeis (DING; FERRAS HERNANDEZ; AGELL JANE, 2023). O uso das tecnologias possibilita análise avançadas e inteligentes de dados em tempo real e decisões mais rápidas e precisas (GUPTA; MODGIL; GUNASEKARAN, 2020; MAIA; LIZARELLI; GAMBIN, 2024).

Com a aplicação das tecnologias, a quantidade crescente de dados tem potencializado os sistemas de produção (RAUT *et al.*, 2019). O uso de *Big Data* e Internet das Coisas (IoT) têm sido indispensáveis para as organizações em ambientes de negócios cada vez mais complexos. *Big Data* incluem a capacidade de prever e analisar centenas de informações em bancos de dados, caracterizado pelas dimensões volume, velocidade, variedade, veracidade, valor, variabilidade e visualização (RIALTI *et al.*, 2019). IoT definida como uma rede de dispositivos físicos e virtuais interconectados, permite que objetos se comuniquem entre si por meio de padrões e protocolos (VERMESAN; FRIESS, 2022). *Big Data* e IoT desempenham um papel importante na gestão inteligente dos processos, possibilitando a análise de dados em tempo real, a integração de sensores, o controle eficaz dos processos produtivos e a identificação de oportunidades de melhoria em ambientes operacionais (MAIA; LIZARELLI; GAMBIN, 2024).

As tecnologias representariam oportunidades às abordagens tradicionais de melhoria contínua, como o *Seis Sigma* (SS) (ANTONY *et al.*, 2019; ANTONY; SONY, 2020; ABDALLA *et al.*, 2023). A abordagem SS depende de análises de dados para identificar oportunidades de melhoria. O *Big Data*, com sua capacidade de gerenciar grandes volumes de

dados e realizar análises avançadas, pode ampliar essa capacidade (ANTONY *et al.*, 2019; GUPTA; MODGIL; GUNASEKARAN, 2020). Ao integrar o *Big Data* ao SS, as organizações podem identificar padrões complexos, tomar decisões informadas em tempo real e impulsionar a eficiência e a qualidade dos processos (GUPTA; MODGIL; GUNASEKARAN, 2020; MAIA; LIZARELLI; GAMBIN, 2024).

Desta forma, este artigo tem como objetivo, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura, investigar a integração entre as abordagens *Seis Sigma*, *Big Data* e Internet das coisas (IoT). A pesquisa busca investigar quais os benefícios dessa integração para os processos de produção. O problema de pesquisa reside na necessidade de compreender como essa integração pode potencializar a eficácia das estratégias de melhoria contínua nas organizações (ANTONY *et al.*, 2019). E a justificativa para este estudo é fundamentada na crescente importância dessa integração para a competitividade e eficiência dos processos produtivos (MAIA; LIZARELLI; GAMBIN, 2024). Portanto, compreender como a integração pode ocorrer pode proporcionar *insights* importantes para aprimorar a tomada de decisão, otimizar processos e impulsionar a excelência operacional em ambientes orientados por dados e a cada vez mais complexos.

O artigo está estruturado em cinco principais seções. Na primeira, são introduzidos o estudo, sua justificativa e objetivos; a segunda seção discute os conceitos das abordagens abordadas; a terceira descreve o método de pesquisa adotado; a quarta seção detalha o processo de Revisão Sistemática da Literatura realizado; na quinta seção, são apresentados os principais resultados, incluindo análises quantitativas e qualitativas; por fim, a sexta seção conclui-se o estudo, incluindo implicações tanto acadêmicas quanto práticas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta o referencial teórico, incluindo os conceitos *Seis Sigma*, *Big Data* e Internet das coisas.

2.1 Seis Sigma

A abordagem *Seis Sigma* (SS) teve origem nos Estados Unidos no final da década de 1980, desenvolvido pela Motorola como uma estratégia para medir e melhorar a qualidade de seus processos (ANTONY *et al.*, 2019). Atualmente é reconhecido como uma das estratégias de melhoria contínua mais poderosas na indústria global. Por meio do SS, projetos de melhoria são identificados, selecionados e priorizados conforme a importância estratégica,

visando reduzir variações, falhas, erros e defeitos (SNEE *et al.*, 2010). Com o objetivo de aumentar a lucratividade das empresas através da redução da variabilidade e melhorias nos produtos e processos, a abordagem busca também aumentar a satisfação dos clientes (MAIA; LIZARELLI; GAMBIN, 2024). O *Seis Sigma* utiliza técnicas estatísticas como teste de hipóteses, ANOVA, análise de regressão e controle estatístico de processos e o método estruturado DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) (SNEE *et al.*, 2010). A combinação dessas técnicas estatísticas e metodologia estruturada permite alcançar metas de qualidade e eficiência de maneira sistemática e baseada em dados.

2.2 Big Data

Surgida em meados de 2010, a tecnologia *Big Data* tornou-se essencial para a gestão de grandes quantidades de dados (IBRAHIM *et al.*, 2018). Caracterizado inicialmente pelos três V's (volume, velocidade e variedade), a tecnologia evoluiu, atualmente é definido por sete critérios classificados como 7Vs: Volume, Velocidade, Variedade, Veracidade, Valor, Variabilidade e Visualização (FAROUKHI *et al.*, 2020). Seus recursos incluem a infraestrutura e sistemas de informações que superam a capacidade de *softwares* convencionais de banco de dados para coletar, armazenar, gerenciar e analisar, extraíndo informações valiosas para diversos setores industriais (BELHADI *et al.*, 2020; TALEB *et al.*, 2021). A tecnologia permite a realização de análises descritiva, preditiva e prescritiva, otimizando produtos, processos e cadeias de suprimentos na manufatura (WANG *et al.*, 2016)

2.3 Internet das Coisas

O conceito de Internet das Coisas (IoT) foi introduzido por Kevin Ashton em 1999, revolucionando a maneira como interagimos com o mundo ao nosso redor (MOHAMED; MOHAMED, 2019). Definida como uma rede de dispositivos físicos e virtuais interconectados, a IoT permite que esses objetos se comuniquem entre si por meio de padrões e protocolos interoperáveis como RFID “*Radio Frequency Identification*” (identificação por Radiofrequência) e NFC “*Near Field Communication*” (Comunicação por Campo de Proximidade) (NOURA; ATIQUZZAMAN; GAEDKE, 2019). A tecnologia é dinâmica e autoconfigurável, possibilita a coleta e análise de dados em tempo real, cria ambientes onde máquinas e dispositivos trabalham integrados (GULZAR; SOFI; SHOLLA, 2024).

A tecnologia melhora a eficiência operacional, facilita a transformação digital em várias áreas, incluindo fábricas inteligentes e cidades conectadas (KHAN; JAVAID, 2022).

Fábricas inteligentes utilizam IoT para conectar diversas máquinas, dispositivos e sensores a uma rede central, conhecida em alguns casos como Interface Homem-Máquina (IHM), permitindo a comunicação em tempo real e a minimização de tempos de inatividade (LONGO *et al.*, 2021). Tecnologias avançadas como inteligência artificial e robótica são integradas à IoT para melhorar ainda mais a eficiência operacional (MAIA; LIZARELLI; GAMBIN, 2024). A capacidade da IoT de promover transformações digitais e sustentar avanços tecnológicos são destacadas no cenário industrial moderno, onde a coleta de dados precisa e o controle automatizado são cruciais para o sucesso contínuo e a inovação (VERMESAN; FRIESS, 2022).

3. MÉTODO DE PESQUISA

O presente estudo adota o método Revisão sistemática da Literatura (RSL). Inicialmente desenvolvida para pesquisadores e profissionais médicos, a metodologia rigorosa e estruturada tem sido adotada em diversas outras áreas como ciências sociais, engenharia, administração, educação, psicologia, e muitos outros (LENBERG; FELDT; WALLGREN, 2018; LINNENLUECKE; MARRONE; SINGH, 2020; MYSTAKIDIS; BERKI; VALTANEN, 2021). O objetivo é identificar lacunas na pesquisa, consolidar teorias, proporcionar visão abrangente e conclusões bem fundamentadas sobre os temas estudados (DANES; MANFÈ; ROMANO, 2018; TOEPPER; ZLATKIN-TROITSCHANSKAIA; KÜHLING-THEES, 2022). É aplicada tanto em análises qualitativas, quanto análises quantitativas (MOHER *et al.*, 2009).

Como característica estão a reprodutibilidade, a transparência e protocolos predefinidos que abrangem a sequência da pesquisa, bases de dados e critérios de inclusão (MOHER *et al.*, 2009). O processo assegura uma síntese abrangente e confiável das evidências disponíveis, o que contribui significativamente para o avanço do conhecimento científico e para a tomada de decisões em diversas áreas do conhecimento (TRANFIELD *et al.*, 2003; MOHER *et al.*, 2009).

4. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Seguindo os princípios de reprodutibilidade e transparência recomendados para a realização da RSL, adotou-se o protocolo sistemático PRISMA proposto por Moher *et al.*, (2009). O protocolo é composto por quatro etapas principais, a identificação (busca e

levantamento); triagem (revisão dos títulos, resumos e palavras-chave); elegibilidade (análise e leitura completa dos artigos) e inclusão (seleção dos estudos).

Os documentos foram extraídos das bases de dados *Web of Science* e *Scopus*, devido à sua extensa cobertura internacional. As palavras-chave utilizadas para a busca nas bases de dados foram: *TITLE-ABS-KEY* (((*"Big Data"*) AND (*"Six Sigma"*) AND (*"Internet of things"*))). A pesquisa inicialmente incluiu artigos que cumpriram os seguintes critérios: (1) documentos publicados online até dezembro do ano de 2023; (2) documentos continham pelo menos um dos termos identificados no resumo, título ou palavras-chave; (3) publicados em periódicos. Foram identificados (17) documentos na base de dados *Scopus* e (11) documentos na base *Web of Science*, totalizando um total de 28 documentos. Esses documentos foram importados para o *software Mendeley*, iniciando a primeira etapa do PRISMA, que consistiu na remoção de duplicados. Esse processo resultou na exclusão de (8) registros duplicados, deixando um total de (20) documentos pré-selecionados para as próximas etapas do protocolo PRISMA. Antes de iniciar as próximas etapas do método PRISMA, que incluem triagem, elegibilidade e inclusão, quatro revisores do grupo de pesquisa estabeleceram critérios específicos de exclusão e inclusão detalhados na Tabela 1.

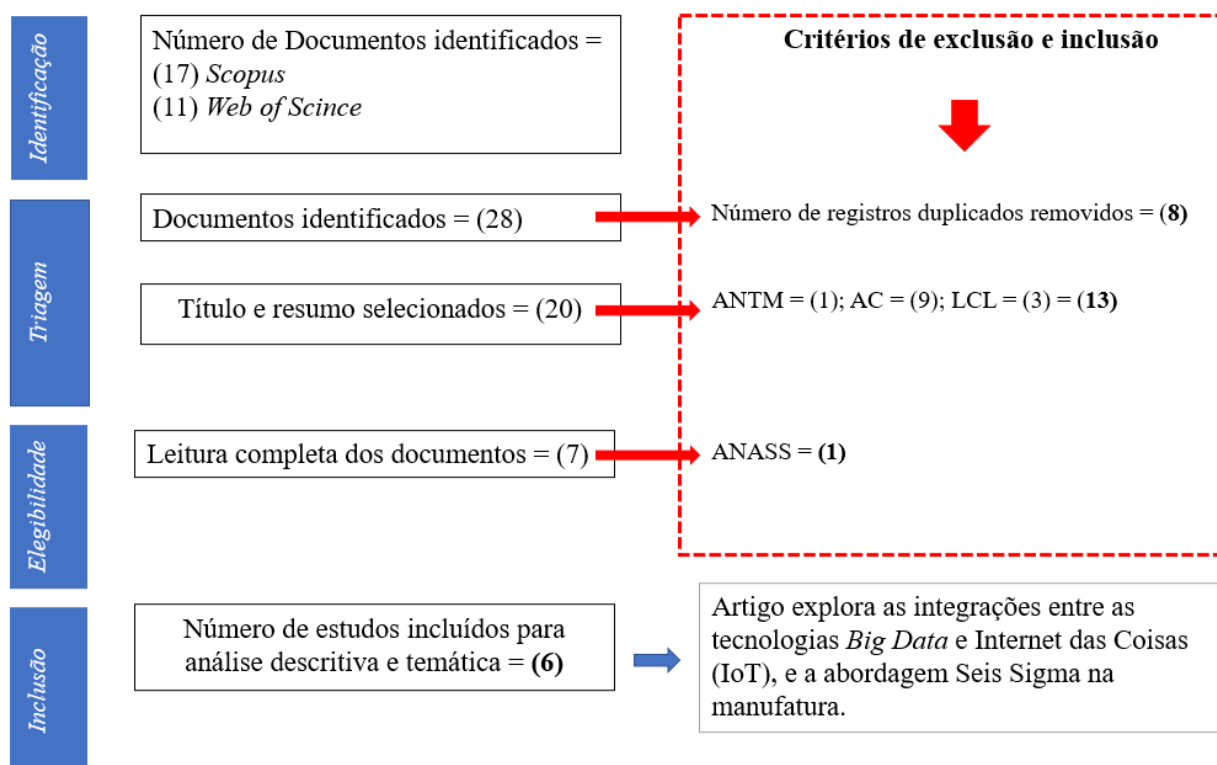
TABELA 1 – Critérios de exclusão e inclusão

Critérios para exclusão do artigo	Codificação para inclusão e exclusão
Artigo não está relacionando o tema de pesquisa com as áreas de manufatura	(ANTM)
Artigo não aborda Seis Sigma	(ANASS)
Artigos de Conferências	(AC)
Livros ou capítulos de livros	(LCL)
Critério de inclusão do artigo	
Artigo explora as integrações entre as tecnologias <i>Big Data</i> e Internet das Coisas (IoT), e a abordagem Seis Sigma na manufatura.	(AEIBISSM)

Fonte: Adaptado Liao *et al.* (2017)

Após a definição dos critérios, os documentos foram submetidos aos processos de triagem, que incluíram a revisão dos títulos, resumos e palavras-chave, bem como a leitura completa e codificação dos artigos. Esse processo foi realizado por quatro revisores, com o apoio do *Software Nvivo*. E desta forma, a análise final da revisão da literatura foi realizada com um total de (6) documentos, provenientes de revistas acadêmicas internacionais. Os resultados de maneira consolidada são ilustrados na Figura 1.

FIGURA 1- Protocolo Prisma



Fonte: Adaptado Moher *et al.* (2009)

5. RESULTADOS

Duas abordagens de análise de dados foram aplicadas, uma quantitativa e outra qualitativa. Primeiramente, realizou-se uma análise quantitativa para analisar as fontes dos artigos, métodos de pesquisa aplicados, assim como o número de citações. E posteriormente, foi conduzida a análise qualitativa do conteúdo dos artigos. As principais informações dos documentos selecionados, incluindo título, contribuições e autores, são apresentadas na TABELA 1.

TABELA 1 – Documentos incluídos para a análise

Título	Objetivos	Autores
Integração das tecnologias da Indústria 4.0 no Lean Six Sigma DMAIC: uma revisão sistemática	Revisa as tecnologias da (I4.0) para otimizar tarefas <i>Lean Six Sigma</i> (LSS) e analisar os benefícios dessa integração em projetos de melhoria.	Pongboonchai-Empl <i>et al.</i> (2023)
Um roteiro estratégico para a indústria manufatureira implementar a Indústria 4.0	Explorar a literatura que aborda as tecnologias da I4.0 e o LSS, bem como seus impactos específicos na indústria de manufatura.	Butt (2020)

Explorando relacionamentos para integrar Lean, sustentabilidade ambiental e indústria 4.0	Investigar as formas de integração entre <i>Lean</i> , I4.0 e sustentabilidade ambiental (SE) no gerenciamento de processos de produção industrial.	Mesquita <i>et al.</i> (2022)
Análise de avanços e pontos críticos do mapeamento do fluxo de valor usando bibliometria	Revisar e analisar a literatura sobre mapeamento de fluxo de valor (VSM) para identificar os avanços e pontos críticos.	Liu and Zhang (2023)
Tendências de distribuição na Indústria 4.0: estudo de caso de uma grande multinacional de refrigerantes na América Latina	Investigar a logística 4.0 e técnicas de distribuição em cidades inteligentes.	Buestán <i>et al.</i> (2020)
Indústria 4.0 e Seis Sigma: uma revisão sistemática da literatura e proposta de agenda de pesquisa	Compreender que tipos de relações existem entre SS e I4.0 e com as tecnologias I4.0, bem como os benefícios derivados desta integração e direções futuras para este campo de estudo.	Maia, Lizarelli e Gambin (2024)

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

*Com base ao portfólio de artigos inclusos para a análise das bases de dados *Scopus* e *Web of Science*

5.1 Análise quantitativa

A análise revela uma baixa diversidade nos métodos de pesquisa utilizados, incluindo um estudo de caso e cinco revisões sistemáticas da literatura. Entre os principais periódicos em que esses estudos foram publicados, destaca-se o *International Journal of Lean Six Sigma* com dois artigos. E outros periódicos como, *Production Planning & Control*; *Benchmarking: An International Journal*; *Designs* e *Logistics Journal: nicht referierte Veröffentlichungen*, cada um com uma publicação. Os principais periódicos com maior quantidade de publicação sobre o tema e os métodos de pesquisas, são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 – Principais periódicos publicados e os métodos de pesquisa adotados

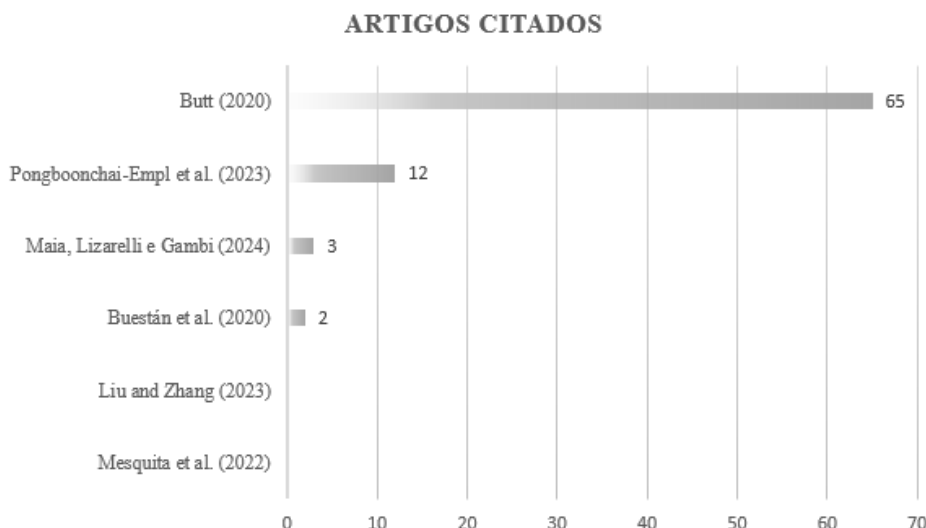
Periódicos	Método de pesquisa	Autores
<i>Production Planning & Control</i>	Revisão Sistemática da Literatura	Pongboonchai-Empl <i>et al.</i> (2023)
<i>Designs</i>	Revisão Sistemática da Literatura	Butt (2020)
<i>International Journal of Lean Six Sigma</i>	Revisão sistemática da literatura	Mesquita <i>et al.</i> (2022)
<i>International Journal of Lean Six Sigma</i>	Revisão Sistemática da literatura	Liu and Zhang (2023)
<i>Logistics Journal: nicht referierte Veröffentlichungen</i>	Estudo de caso	Buestán <i>et al.</i> (2020)
<i>Benchmarking: An International Journal</i>	Revisão Sistemática da Literatura	Maia, Lizarelli e Gambi (2024)

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

*Com base ao portfólio de artigos analisados da tabela 1

Quanto aos artigos mais citados, foi utilizado a base de dados *Scopus* para conduzir a análise, identificando um total de 4 artigos, sendo que 2 deles ainda não receberam nenhuma citação até o momento. Destaca-se significativamente o estudo de Butt (2020), com um total de 65 citações, indicando um forte impacto e relevância na comunidade acadêmica. Em seguida, o artigo de Pongboonchai-Empl *et al.* (2023) é mencionado em 12 publicações, refletindo uma considerável adesão e reconhecimento pelos seus pares. Maia, Lizarelli e Gambin (2024) contribuíram com 3 citações até o momento, sugerindo uma aceitação inicial do seu trabalho recente, e Buestán *et al.* (2020) aparece com 2 citações, conforme a Figura 2.

FIGURA 2 - Artigos mais citados



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

*Com base ao portfólio de artigos analisados da tabela 1

5.1 Análise qualitativa

Os resultados da análise destacam que IoT e *Big Data Analytics* apoiam o *Seis Sigma* em diversas práticas. IoT facilita a coleta de dados em tempo real por meio de sensores interconectados, permitindo a visualização em tempo real do desempenho dos processos, a identificação rápida de desvios, e tomada de decisões informadas. Dispositivos IoT atuam como mecanismos de prevenção de erros (*Poka Yoke*) ao monitorar continuamente os processos e identificar anomalias antes que causem defeitos. Além disso, a análise de dados coletados pela IoT proporciona *insights* profundos sobre o desempenho dos processos, permitindo um redesenho mais eficiente e ajustes imediatos para manter a qualidade e eficiência. A IoT também aprimora a eficácia das cartas de controle e do Controle Estatístico

de Processos (CEP) ao fornecer dados precisos e relevantes. A coleta detalhada e em tempo real melhora a identificação das causas raízes dos problemas e facilita o mapeamento do fluxo de valor, identificando gargalos e desperdícios de forma eficiente.

Já o *Big Data Analytics*, ajuda a identificar padrões e anomalias em grandes conjuntos de dados, permitindo correções precisas e melhoria contínua da qualidade. Ferramentas tradicionais, como a matriz de causa e efeito, são ampliadas para identificar fatores críticos que impactam os resultados dos processos, permitindo a expansão da análise *Seis Sigma* com a inclusão de detecção de anomalias, análises de risco, tendências, análises descritivas e preditivas. *Big Data Analytics* também determina os níveis ideais de parâmetros de processo, reduzindo a necessidade de testes extensivos e economizando recursos. Técnicas de simulação baseadas em *Big Data* permitem testar diferentes cenários e prever os impactos das mudanças antes de implementá-las. Análises de *feedback* dos clientes melhoram a compreensão das suas necessidades e expectativas, informando melhor os projetos de melhoria.

A integração das tecnologias IoT e *Big Data Analytics* resulta em impactos positivos significativos, como a redução de produtos defeituosos, aumento da produtividade, maior satisfação dos clientes, redução de custos, melhoria da qualidade dos produtos, redução da complexidade dos processos, melhor identificação de riscos e falhas, aprimoramento do processo de análise de dados, tomada de decisão, e gestão da cadeia de suprimentos. As relações entre as tecnologias *Big Data* e IoT SS com *Seis Sigma* são mostradas na Tabela 3.

TABELA 3 – Análise qualitativa

IoT no Apoio ao Seis Sigma		Autores
<i>Visualização de Dados</i>	IoT facilita a coleta de dados em tempo real através de sensores e dispositivos interconectados, permitindo a visualização instantânea do desempenho dos processos. Isso ajuda na identificação rápida de desvios e na tomada de decisões informadas.	Butt (2020), Pongboonchai-Empl et al. (2023), Maia, Lizarreli e Gambi (2024)
<i>Poka Yoke (à prova de erros)</i>	Dispositivos IoT podem monitorar continuamente os processos e identificar anomalias antes que causem defeitos, atuando como um mecanismo de prevenção de erros.	Pongboonchai-Empl et al. (2023)
<i>Redesenho de Processos</i>	A análise de dados coletados por IoT permite insights profundos sobre o desempenho dos processos, identificando pontos de melhoria e possibilitando um redesenho mais eficiente.	Pongboonchai-Empl et al. (2023), Maia, Lizarreli e Gambi (2024)
<i>Monitoramento de Processos</i>	IoT oferece monitoramento contínuo e em tempo real, permitindo ajustes imediatos para manter a qualidade e eficiência dos processos.	Butt (2020), Pongboonchai-Empl et al. (2023), Maia, Lizarreli e Gambi (2024)

	IoT possibilita a coleta e análise de grandes volumes de dados em tempo real, melhorando a eficácia das cartas de controle e do CEP ao fornecer dados mais precisos e relevantes para monitorar e controlar processos.	Pongboonchai-Empl et al. (2023), Maia, Lizarreli e Gambi (2024)
<i>Análise de Causa Raiz</i>	A coleta detalhada e em tempo real de dados ajuda na identificação precisa das causas raízes de problemas, melhorando a eficácia das análises de causa raiz.	
<i>Mapeamento do Fluxo de Valor</i>	IoT proporciona dados precisos e atualizados que facilitam o mapeamento do fluxo de valor, identificando gargalos e desperdícios de maneira mais eficiente.	Pongboonchai-Empl et al. (2023), Liu and Zhang (2023)
Big Data Analytics no Apoio ao Seis Sigma		Autores
<i>Análise e Correção de Dados</i>	<i>Big Data Analytics</i> ajuda a identificar padrões e anomalias em grandes conjuntos de dados, permitindo correções precisas e melhoria contínua da qualidade dos dados.	Pongboonchai-Empl et al. (2023), Maia, Lizarreli e Gambi (2024)
<i>Matriz de Causa e Efeito</i>	Big Data Analytics pode ampliar ferramentas tradicionais como a matriz de causa e efeito, identificando fatores críticos que impactam os resultados dos processos através de técnicas avançadas de análise de dados, permitindo a expansão da análise Seis Sigma tradicional com a inclusão de detecção de anomalias, análises de risco, tendências, análises descritivas e preditivas, além de análises visuais. Isso aumenta o poder de análise e permite identificar as causas raízes das variações, extraindo insights sobre os processos para atingir os objetivos e metas de melhoria do Seis Sigma.	
	Ao identificar fatores críticos que impactam os resultados dos processos, <i>Big Data Analytics</i> ajuda a eliminar causas de defeitos e desperdícios, melhorando a qualidade e a eficiência dos processos.	Mesquita et al. (2022), Pongboonchai-Empl et al. (2023), Maia, Lizarreli e Gambi (2024),
<i>Ajuste de Parâmetros</i>	Usando técnicas como algoritmos de árvore de decisão, <i>Big Data Analytics</i> ajuda a determinar os níveis ideais de parâmetros de processo, reduzindo a necessidade de testes extensivos e economizando tempo e recursos.	Pongboonchai-Empl et al. (2023)
	Melhoria do desempenho dos processos e da gestão da cadeia de fornecimento Impactos positivos na qualidade e no desempenho do negócio, por exemplo, reduz produtos defeituosos, aumenta a produtividade dos processos e a satisfação do cliente, ao mesmo tempo que reduz os custos	Butt (2020), Buestán et al. (2020), Liu and Zhang (2023)
<i>Análise Estatística</i>	<i>Big Data Analytics</i> oferece ferramentas avançadas para realizar análises estatísticas detalhadas, superando as limitações dos métodos tradicionais e permitindo uma análise mais robusta de grandes volumes de dados.	Pongboonchai-Empl et al. (2023), Maia, Lizarreli e Gambi (2024)
	BDA permite a coleta e análise de grandes volumes de dados em tempo real, melhorando a eficácia das cartas de controle e do CEP ao fornecer dados mais precisos e relevantes para monitorar e controlar processos.	
<i>Regressão</i>	<i>Big Data Analytics</i> aplica modelos de regressão para identificar relações entre variáveis e prever resultados, melhorando a capacidade de ajuste fino dos processos.	
<i>Simulação</i>	Técnicas de simulação baseadas em <i>Big Data</i> permitem testar	Pongboonchai-Empl et

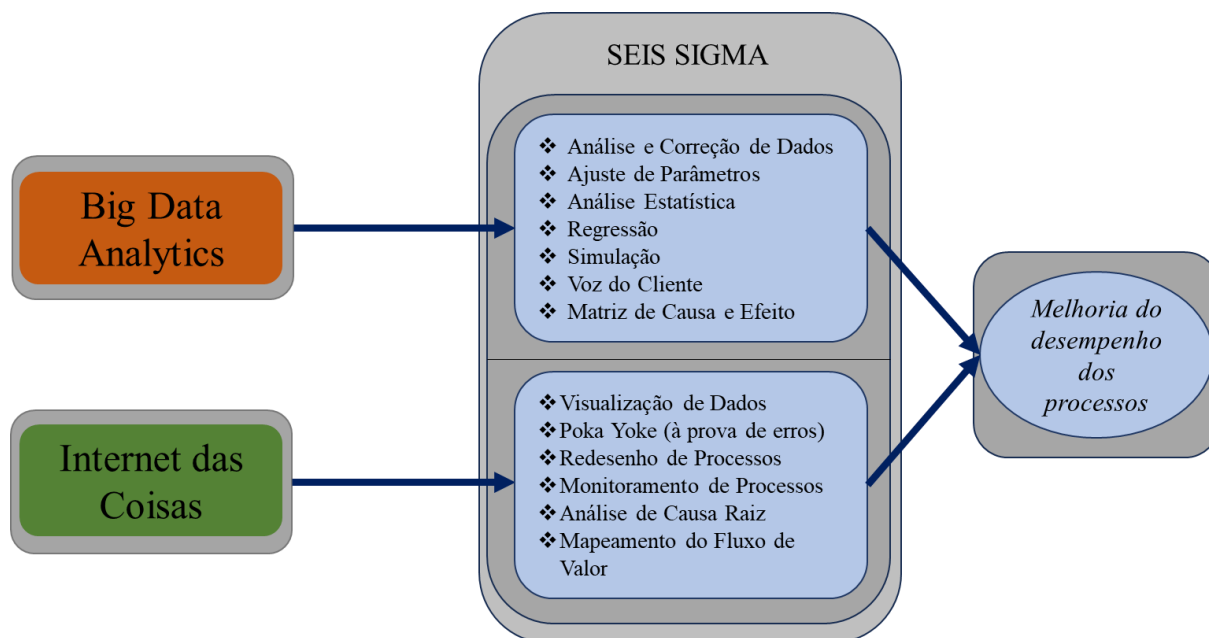
	diferentes cenários e prever os impactos das mudanças no processo antes de implementá-las.	<i>al.</i> (2023)
<i>Voz do Cliente</i>	<i>Big Data Analytics</i> pode analisar grandes volumes de feedback dos clientes (por exemplo, através da mineração de texto) para identificar tendências e melhorar a compreensão das necessidades e expectativas dos clientes, informando melhor os projetos de melhoria.	
IoT e Big Data Analytics no Apoio ao Seis Sigma		Autores
<i>Melhoria do desempenho dos processos</i>	Impactos positivos incluem a redução de produtos defeituosos, aumento da produtividade, maior satisfação dos clientes, redução de custos, melhoria na qualidade dos produtos, redução da complexidade dos processos, melhor identificação de riscos e falhas, aprimoramento do processo de análise de dados, tomada de decisão, cadeia de suprimentos/vendas/distribuições, e outros.	Butt (2020), Buestán <i>et al.</i> (2020), Liu and Zhang (2023), Maia, Lizarreli e Gambi (2024) e Pongboonchai-Empl <i>et al.</i> (2023)

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

*Com base ao portfólio de artigos analisados da tabela 1

Para proporcionar uma visão mais clara dos dados analisados e compilados na tabela 3, foi desenvolvido um *framework* no contexto da integração de *Big Data* e *Internet das Coisas* ao Seis Sigma, conforme abordado na revisão sistemática da literatura, ilustrado na figura 3.

FIGURA 3 – Framework



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Autores como Pongboonchai-Empl *et al.* (2023) e Maia, Lizarreli e Gambi (2024), sugerem a realização de estudos empíricos sobre a integração das tecnologias da Indústria 4.0

com a abordagem *Seis Sigma*. Os autores propõem investigar ferramentas de adequação e os impactos nas capacidades de análise de dados, tomada de decisão, eficiência e desempenho operacional, considerando variáveis como diferentes setores industriais e de serviços. Além disso, recomendam explorar a combinação do *Big Data* com o método DMAIC para melhorar e inovar processos em diversos setores. Também destacam a importância de estudos empíricos sobre a implementação do *Big Data Analytics* (BDA) e da Internet das Coisas (IoT) em projetos *Lean Seis Sigma* (LSS) em diferentes contextos, como a manufatura.

6. CONCLUSÃO

Este estudo explorou a integração da abordagem *Seis Sigma* com as tecnologias *Big Data* e Internet das Coisas (IoT) por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura. O objetivo foi investigar os benefícios dessa integração nos processos de produção e oferecer *insights* para aprimorar a tomada de decisão, otimizar processos e impulsionar a excelência operacional em ambientes cada vez mais complexos e orientados por dados. A pesquisa examinou documentos nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, seguindo as diretrizes do protocolo de pesquisa PRISMA. Concluindo que a integração proporciona visualizações de dados aprimoradas, monitoramento contínuo, análises avançadas e a capacidade de identificar padrões complexos em tempo real, resultando em melhorias significativas na eficiência e qualidade dos processos de produção.

Para avançar na compreensão e aplicação prática dessas tecnologias, são sugeridos estudos empíricos que explorem a integração das tecnologias da Indústria 4.0 com o *Seis Sigma*, considerando diferentes setores industriais e de serviços. Também se propõe investigar ferramentas de adequação e os impactos nas capacidades de análise de dados, tomada de decisão, eficiência e desempenho operacional. Além disso, é recomendado explorar a combinação do *Big Data* com o método DMAIC para inovar processos em diversos contextos. Para implicações teóricas, é crucial aprofundar estudos sobre a implementação do *Big Data Analytics* e IoT em projetos *Lean Seis Sigma* (LSS), especialmente na manufatura, considerando os benefícios e desafios específicos.

As limitações deste estudo incluem a dependência de dados disponíveis nas bases de dados selecionadas e a predominância de análises teóricas sobre implementações práticas. Implicações práticas envolvem a necessidade de adaptação das conclusões às realidades específicas de diferentes indústrias e a validação empírica das recomendações propostas para garantir sua aplicabilidade no campo.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, Maria Luiza Silva *et al.* "Big Data e DMAIC: uma revisão sistemática." **XIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, ConBreprou, 2023.

ANTONY, Jiju *et al.* An evaluation into the limitations and emerging trends of Six Sigma: an empirical study. **The TQM Journal**, v. 31, n. 2, p. 205-221, 2019.

ANTONY, Jiju; SONY, Michael. An empirical study into the limitations and emerging trends of Six Sigma in manufacturing and service organisations. **International Journal of Quality & Reliability Management**, v. 37, n. 3, p. 470-493, 2020.

BELHADI, Amine *et al.* The integrated effect of Big Data Analytics, Lean Six Sigma and Green Manufacturing on the environmental performance of manufacturing companies: The case of North Africa. **Journal of Cleaner Production**, v. 252, p. 119903, 2020.

BUESTÁN, Gabriela *et al.* Distribution trends in Industry 4.0: Case Study of a major soft drink multinational enterprise in Latin America. **Logistics Journal: nicht referierte Veröffentlichungen**, v. 2020, n. 09, 2020.

BUTT, Javaid. A strategic roadmap for the manufacturing industry to implement industry 4.0. **Designs**, v. 4, n. 2, p. 11, 2020.

ÇINAR, Zeki Murat; ZEESHAN, Qasim; KORHAN, Orhan. A framework for industry 4.0 readiness and maturity of smart manufacturing enterprises: a case study. **Sustainability**, v. 13, n. 12, p. 6659, 2021.

DANESE, Pamela; MANFÈ, Valeria; ROMANO, Pietro. A systematic literature review on recent lean research: state-of-the-art and future directions. **International Journal of Management Reviews**, v. 20, n. 2, p. 579-605, 2018.

DING, Bingjie; FERRAS HERNANDEZ, Xavier; AGELL JANE, Nuria. Combining lean and agile manufacturing competitive advantages through Industry 4.0 technologies: an integrative approach. **Production planning & control**, v. 34, n. 5, p. 442-458, 2023.

FAROUKHI, A. Z. *et al.* Big data monetization throughout Big Data Value Chain: a comprehensive review. **J Big Data** 7. 2020.

GOMES, Pedro; MAGAIA, Naercio; NEVES, Nuno. Industrial and artificial Internet of Things with augmented reality. **Convergence of Artificial Intelligence and the Internet of Things**, p. 323-346, 2020.

GULZAR, Bisma; SOFI, Shabir Ahmad; SHOLLA, Sahil. Exploring Personalized Internet of Things (PIoT), social connectivity, and Artificial Social Intelligence (ASI): A survey. **High-Confidence Computing**, p. 100242, 2024.

GUPTA, Shivam; MODGIL, Sachin; GUNASEKARAN, Angappa. Big Data in Lean Six Sigma: A Review and Further Research Directions. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 3, pág. 947-969, 2020.

IBRAHIM, Zul-Azri *et al.* A Review of Big Data Digital Forensic Analysis in Advanced Metering Infrastructure. **Advanced Science Letters**, v. 24, n. 3, p. 1603-1607, 2018.

JAVAID, Mohd *et al.* Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability. **Sustainable Operations and Computers**, v. 3, p. 203-217, 2022.

KHAN, Ibrahim Haleem; JAVAID, Mohd. Role of Internet of Things (IoT) in adoption of Industry 4.0. **Journal of Industrial Integration and Management**, v. 7, n. 04, p. 515-533, 2022.

LENBERG, Per; FELDT, Robert; WALLGREN, Lars Göran. Behavioral software engineering: A definition and systematic literature review. **Journal of Systems and software**, v. 107, p. 15-37, 2015.

LIAO, Yongxin *et al.* Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. **International journal of production research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

LINNENLUECKE, Martina K.; MARRONE, Mauricio; SINGH, Abhay K. Conducting systematic literature reviews and bibliometric analyses. **Australian Journal of Management**, v. 45, n. 2, p. 175-194, 2020.

LIU, Chaochao; ZHANG, Yang. Advances and hotspots analysis of value stream mapping using bibliometrics. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 14, n. 1, p. 190-208, 2023.

LOBO MESQUITA, Ligia *et al.* Exploring relationships for integrating lean, environmental sustainability and industry 4.0. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 13, n. 4, p. 863-896, 2022.

LONGO, Francesco *et al.* How 5G-based industrial IoT is transforming human-centered smart factories: A Quality of Experience model for Operator 4.0 applications. **IFAC-PapersOnLine**, v. 54, n. 1, p. 255-262, 2021.

MAIA, Daniele dos Reis Pereira; LIZARELLI, Fabiane Letícia; GAMBI, Lillian Do Nascimento. Industry 4.0 and Six Sigma: a systematic review of the literature and research agenda proposal. **Benchmarking: An International Journal**, v. 31, n. 3, p. 1009-1037, 2024.

MOHAMED, Khaled Salah; MOHAMED, Khaled Salah. **The era of internet of things: Towards a smart world**. Springer International Publishing, 2019.

MOHER, David *et al.* Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. **International journal of surgery**, v. 8, n. 5, p. 336-341, 2009.

MYSTAKIDIS, Stylianos; BERKI, Eleni; VALTANEN, Juri-Petri. Deep and meaningful e-learning with social virtual reality environments in higher education: A systematic literature review. **Applied Sciences**, v. 11, n. 5, p. 2412, 2021.

NOURA, Mahda; ATIQUZZAMAN, Mohammed; GAEDKE, Martin. Interoperability in internet of things: Taxonomies and open challenges. **Mobile networks and applications**, v. 24, p. 796-809, 2019.

PONGBOONCHAI-EMPL, Tanawadee *et al.* Integration of Industry 4.0 technologies into Lean Six Sigma DMAIC: A systematic review. **Production Planning & Control**, p. 1-26, 2023.

RAUT, Rakesh D. *et al.* Linking big data analytics and operational sustainability practices for sustainable business management. **Journal of cleaner production**, v. 224, p. 10-24, 2019.

RIALTI, Riccardo *et al.* Big data analytics capabilities and performance: Evidence from a moderated multi-mediation model. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 149, p. 119781, 2019.

SNEE, Ronald D. Lean Six Sigma—getting better all the time. **International Journal of Lean Six Sigma**, v. 1, n. 1, p. 9-29, 2010.

TALEB, Ikbal *et al.* Big data quality framework: a holistic approach to continuous quality management. **Journal of Big Data**, v. 8, n. 1, p. 76, 2021.

TOEPPER, Miriam; ZLATKIN-TROITSCHANSKAIA, Olga; KÜHLING-THEES, Carla. Literature review of international empirical research on transfer of vocational education and training. **International Journal of Training and Development**, v. 26, n. 4, p. 686-708, 2022.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British journal of management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

TSARAMIRSIS, Georgios *et al.* A modern approach towards an industry 4.0 model: From driving technologies to management. **Journal of Sensors**, v. 2022, p. 1-18, 2022.

VERMESAN, Ovidiu; FRIESS, Peter (Ed.). **Digitising the Industry Internet of Things Connecting the Physical, Digital and Virtual Worlds**. CRC Press, 2022.

WANG, Gang *et al.* Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. **International journal of production economics**, v. 176, p. 98-110, 2016.