



## DRIVERS E FACILITADORES PARA IMPLANTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 NOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO DE DESEMPENHO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

DRIVERS AND ENABLERS FOR THE IMPLEMENTATION OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES IN PERFORMANCE MEASUREMENT SYSTEMS: A SYSTEMATIC REVIEW

DRIVERS Y FACILITADORES PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE LA INDUSTRIA 4.0 EN SISTEMAS DE MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

**Marcelo Almir Lopes**

Universidade Federal de São Carlos  
marcelolopes@ufscar.br

### ARTIGO INFO.

Recebido: 19.04.2024

Aprovado: 18.07.2024

Disponibilizado: 12.08.2024

**PALAVRAS-CHAVE:** Sistemas de Medição de Desempenho; Tecnologias da Indústria 4.0; Indústria 4.0.

**KEYWORDS:** Performance Measurement Systems; Industry 4.0 Technologies; Industry 4.0.

**PALABRAS CLAVE:** Sistemas de Medición del Desempeño; Tecnologías de la Industria 4.0; Industria 4.0.

\*Autor Correspondente: Lopes, M. A.

### RESUMO

O ambiente de negócios em constante mudança e a evolução nos requisitos dos *stakeholders*, juntamente com a necessidade de processar rapidamente um grande volume de dados complexos em tempo real, requerem sistemas de medição de desempenho (SMDs) mais dinâmicos e resilientes. As tecnologias da Indústria 4.0 (I4.0) possuem um potencial significativo para aprimorar os SMDs. No entanto, implantar essas tecnologias nos SMDs é um processo complexo que enfrenta várias barreiras. Este artigo apresenta os resultados de uma revisão sistemática da literatura (RSL) que explora os fatores essenciais para implantação de tecnologias da I4.0 em SMDs. Por meio da análise de 33 documentos, o estudo destaca vários *drivers* importantes, incluindo a importância do monitoramento contínuo em tempo real do SMD para os tomadores de decisão, o potencial para aprimorar a agilidade e as perspectivas de melhorar a produtividade e eficiência. Além disso, a pesquisa identifica facilitadores significativos, como a capacidade financeira para investimentos e a disponibilidade de mão de obra qualificada. Portanto, este estudo contribui para uma melhor compreensão dos *drivers* e facilitadores que suportam a adoção de tecnologias da I4.0 em SMDs.

### ABSTRACT

The ever-changing business landscape and evolving stakeholder requirements, coupled with the influx of complex real-time data, require more dynamic and resilient performance measurement systems (PMS). Industry 4.0

(I4.0) technologies offer significant potential in enhancing PMS. However, implementing these technologies into PMS is a complex process that faces various barriers. This article presents the findings of a systematic literature review (SLR) that explores the essential factors for implementing I4.0 technologies in PMS. Through examining 33 documents, the study highlights several key drivers, including the importance of continuous real-time monitoring of PMS for decision-makers, the potential for enhanced agility, and the prospects for improved productivity and efficiency. Additionally, the research identifies significant enablers, such as financial capacity for investment and the availability of a qualified workforce. Therefore, this study contributes to a better understanding of the drivers and enablers that support the adoption of I4.0 technologies in PMS.

### RESUMEN

El entorno empresarial en constante cambio y los requisitos de las partes interesadas en constante evolución, junto con la necesidad de procesar rápidamente grandes volúmenes de datos complejos en tiempo real, requieren sistemas de medición del desempeño (SMDs) más dinámicos y resilientes. Las tecnologías de Industria 4.0 (I4.0) tienen un potencial significativo para mejorar los SMDs. Sin embargo, implementar estas tecnologías en SMDs es un proceso complejo que enfrenta varias barreras. Este artículo presenta los resultados de una revisión sistemática de la literatura (RSL) que explora los factores esenciales para implementar tecnologías I4.0 en SMDs. A través del análisis de 33 documentos, el estudio destaca varios *drivers* clave, incluyendo la importancia del monitoreo continuo en tiempo real del SMD para los tomadores de decisiones, el potencial para mejorar la agilidad y las perspectivas para mejorar la productividad y la eficiencia. Además, la investigación identifica facilitadores significativos, como la capacidad financiera para inversiones y la disponibilidad de mano de obra calificada. Por lo tanto, este estudio contribuye a una mejor comprensión de los impulsores y facilitadores que respaldan la adopción de tecnologías I4.0 en SMDs.

## 1. INTRODUÇÃO

Em um ambiente de economia global volátil e alta competitividade, as empresas enfrentam a necessidade de transformar seus sistemas tradicionais de fabricação para atender às demandas de um mercado competitivo (Garcia et al., 2023; Leitao et al., 2019; Sai S. Nudurupati et al., 2016). Com o advento da quarta revolução industrial, comumente conhecida como Indústria 4.0 (I4.0), a mudança da produção em massa para customização em massa aumentou a complexidade de processos de fabricação e seus sistemas de suporte, entre eles os sistemas de medição do desempenho (SMDs) (Bauters et al., 2018; R. Mello & Martins, 2019).

O sistema de medição de desempenho é um elemento essencial da gestão do desempenho e consiste em um conjunto multidimensional de medidas de desempenho que são capazes de quantificar a eficiência e eficácia das ações tomadas nas operações de uma organização (Neely et al., 2005; Sai S. Nudurupati et al., 2016; Raji et al., 2021; Türkeş et al., 2019). Os SMDs podem ajudar as organizações na detecção de falhas entre planejamento e execução ou identificar áreas para melhoria (Rasool et al., 2021). As informações obtidas por meio desses sistemas trazem conhecimento sobre as operações de uma organização e devem ser interpretadas para apoiar a tomada de decisão (Duarte et al., 2018; Konstas et al., 2023).

No contexto da Indústria 4.0, em que os sistemas físicos e virtuais de fabricação estão interligados de forma global e flexível criando as chamadas “fábricas inteligentes”, as empresas devem ser capazes de acompanhar e analisar mudanças diárias de desempenho ajustando as decisões (Kloviene & Uosyte, 2019; Schwab, 2016). A “transformação digital” possibilitada pelas tecnologias da Indústria 4.0 está mudando a forma como os negócios são conduzidos e impactando consumidores. Assim, os SMDs devem ser dinâmicos e sensíveis para acompanhar essas mudanças nos ambientes interno e externo das organizações e também alinhados a estratégia da organização para suportar e impulsionar um desempenho competitivo e inovador (Hwang et al., 2017; Khan et al., 2020; R. Mello et al., 2014). Os SMDs devem ser capazes de monitorar de forma autônoma e contínua o desempenho e fornecer informações relevantes, atualizadas e precisas facilitando tomadas de decisão rápidas e seguras diante de mudanças nos processos (Dweekat & Al-Aomar, 2018; Raffoni et al., 2018).

O *International Data Corporation* (IDC) prevê que a soma coletiva dos dados mundiais será de 175 *zetabytes* até 2025. O IDC prevê ainda que em 2025, cada pessoa conectada em qualquer lugar do mundo terá pelo menos uma interação de dados a cada 18 segundos. Portanto, todos estes dados e a conectividade irão desbloquear experiências de usuário únicas e um novo mundo de oportunidades de negócios (Reinsel et al., 2018; Sardi et al., 2020).

Estas rápidas transformações no ambiente de negócios e nos requisitos dos *stakeholders* dificultam a coleta, o armazenamento, o processamento e a análise otimizada desses dados volumosos e variados num período de tempo muito curto e contribuem para o aumento da complexidade dos SMDs. Além disso, a necessidade de atualizações e melhorias contínuas faz com que os SMDs, ainda estáticos, se tornem dinâmicos e resilientes para suportar essas transformações, tornando as organizações mais ágeis e com capacidade reativa e proativa

rápida (Bourne et al., 2003; Dweekat & Al-Aomar, 2018; Kennerley & Neely, 2003; Sai S. Nudurupati et al., 2016).

Embora a literatura existente ainda seja escassa devido ao tema emergente, ela mostra que as tecnologias da I4.0 causam um impacto positivo nos SMDs, tornando-os mais dinâmicos e adaptados as novas exigências do mercado. Tecnologias digitais da I4.0 como a internet das coisas, *big data analytics* e sistemas ciberfísicos têm um grande potencial para aperfeiçoar os SMDs e melhorar consideravelmente os resultados dos processos de tomada de decisão (Kloviene & Uosyte, 2019; Lopes & Martins, 2021; Lu, 2017; R. Mello & Martins, 2019). *Big data analytics*, por exemplo, permite o armazenamento, tratamento e análise de grandes quantidades de informações (Assandre & Martins, 2023). A disponibilidade a qualquer momento de dados massivos baseados em IoT e algoritmos de processamento de dados eficientes possibilita a tomada de decisões em tempo real (El Abdellaoui et al., 2019; Konstas et al., 2023).

Apesar dos benefícios que as tecnologias da I4.0 podem trazer às organizações, a falta de pesquisas envolvendo implantações dessas tecnologias nos SMDs ainda dificulta a sua disseminação (Giusti et al., 2018). Pesquisadores enfatizam a necessidade de mais estudos, principalmente empíricos, sobre medição de desempenho no contexto de mudança da I4.0 e sistemas de manufatura inteligentes, bem como as implicações de desempenho das tecnologias da I4.0 com as práticas de gestão (Chauhan & Singh, 2019; Frederico et al., 2019; Ghadge et al., 2020; Kamble et al., 2020; Raji et al., 2021).

Estudos demonstraram que a implantação de tecnologias da I4.0 é um processo complexo (Assandre & Martins, 2023; Eltayeb et al., 2021). Uma série de barreiras como a falta de recursos financeiros, infraestrutura digital inadequada, falta de pessoal qualificado, má qualidade dos dados e problemas de interoperabilidade e segurança cibernética, também podem impactar negativamente na implantação das tecnologias da I4.0 (Eltayeb et al., 2021; Ghadge et al., 2020; Kloviene & Uosyte, 2019; R. Mello & Martins, 2019). Diante deste cenário, um bom ponto de partida para uma organização desenvolver uma estratégia de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs é identificar os *drivers* (fatores de adoção das tecnologias da I4.0 nos SMDs) e os facilitadores (fatores que impulsionam e colaboram para que os resultados sejam alcançados). A compreensão destes fatores permite o desenvolvimento de ações específicas e o direcionamento de investimentos em recursos para facilitar o processo de implantação, proporcionando um caminho mais suave e econômico para adequação dos SMDs à I4.0.

Dessa forma, o objetivo deste artigo é realizar uma revisão sistemática da literatura (RSL) para identificar e analisar os principais *drivers* e facilitadores no processo para implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. Para representar esse objetivo, a RSL é orientada por duas questões de pesquisa: (RQ1) na literatura existente, quais os estudos estão contribuindo para a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs? (RQ2) quais os *drivers* e facilitadores relevantes no processo para implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs?

O resultado deste estudo contribuirá para o desenvolvimento da literatura sobre a implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs a partir de uma perspectiva gerencial e poderá apoiar os profissionais na abordagem dos *drivers* e facilitadores que eventualmente pavimentarão o caminho para uma implantação bem-sucedida.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: esta Seção I introduz o estudo abordando a contextualização do tema, a problemática, o objetivo e as questões desta pesquisa; a Seção II apresenta o método de RSL e as etapas que foram seguidas para sua execução; a Seção III ilustra e discute os resultados obtidos na RSL; por fim, a Seção IV apresenta as conclusões do artigo com as oportunidades, limitações e contribuições do estudo para o campo de pesquisa.

## 2. MÉTODO

A RSL pode ser definida como um processo formal e controlado no qual um pesquisador identifica, seleciona, avalia e sintetiza evidências científicas sólidas, confiáveis e robustas disponíveis em um conjunto de artigos com o objetivo de criar uma base teórica-científica (estado da arte) que permita tirar conclusões claras e confiáveis sobre um determinado tema ou assunto pesquisado (Conforto et al., 2011; Denyer & Tranfield, 2009). A RSL é uma revisão que responde a questões específicas e se diferencia das revisões tradicionais por utilizar um processo de revisão metódico, abrangente, transparente e replicável com o objetivo de minimizar a subjetividade e preconceito. Para realizar esse tipo de pesquisa, é necessário seguir uma sequência de etapas claramente definida e planejada, de acordo com um protocolo previamente estabelecido (Biolchini et al., 2007; Siddaway et al., 2019; Thomé et al., 2016).

A RSL apresentada neste artigo seguiu as fases e passos apresentados no Quadro 1 e foi baseada no procedimento adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011) e Denyer e Smart (2009). Os procedimentos sugeridos por esses autores estão mais alinhados aos campos de estudo de gestão. As fases e passos listados no Quadro 1 podem parecer sequenciais, mas é importante reconhecer que a maioria deles envolve a iteração (Conforto et al., 2011).

**Quadro 1.** Etapas da revisão sistemática da literatura

Fases		Passos	Aplicação na Pesquisa
Planejamento da Pesquisa		Identificação da necessidade de uma revisão da literatura	Definição do objetivo e das questões de pesquisa
		Desenvolvimento de um protocolo da revisão da literatura	Definição das fontes, tipos de documentos, palavras chaves, critérios de inclusão e exclusão
Condução	Coleta e seleção	Localização e coleta dos documentos	Busca de documentos nas fontes e indexadores científicos de acordo com o protocolo estabelecido
		Seleção dos documentos relevantes para a pesquisa	Leitura de títulos e resumos, aplicação de critérios de inclusão e exclusão
	Análise	Extração de dados	Extrair e armazenar informações nos formulários de extração de dados
		Síntese dos dados	Análise de conteúdo. Similaridades e diferenças entre os estudos serão destacadas
Resultados		Apresentação e análise dos resultados encontrados	Apresentação e discussão das descobertas.

Fonte: Adaptado de Conforto, Amaral e Silva (2011) e Denyer e Tranfield (2009).

## 2.1. PLANEJAMENTO DA PESQUISA

Depois da definição do objetivo e das questões de pesquisa, o próximo passo é definir o protocolo da RSL. O protocolo é um elemento crítico da RSL e pode ser definido como um plano desenvolvido antes do início da RSL que descreve como ela será conduzida (Denyer & Tranfield, 2009; Keele, 2007). Uma etapa a ser seguida do protocolo é a seleção das fontes. Por sua natureza, as RSLs visam ser abrangentes. Em campos emergentes e em movimento rápido, muitas das evidências podem residir também em documentos de congressos e conferências. Além disso, esses tipos de publicações ajudam a diminuir o viés de publicação (Denyer & Tranfield, 2009; Siddaway et al., 2019). Assim, esses tipos de documentos também são considerados nesta pesquisa. Dois indexadores científicos disponíveis via *web*, a *Scopus* e a *Web of Science* foram escolhidos para a coleta de dados. Os artigos científicos desses indexadores são multidisciplinares, abrangentes e reúnem uma grande coleção de revistas de diferentes editoras e proporcionam um ponto de acesso global a uma grande parte da literatura científica publicada internacionalmente.

O Quadro 2 apresenta o protocolo de coleta de dados para a RSL nos indexadores científicos *Web of Science* e *Scopus*.

**Quadro 2.** Protocolo da coleta de dados nos indexadores científicos *Web of Science* e *Scopus*

<b>Tipo de documento</b>	<i>Articles, Conference Paper, Proceedings Paper, Review, Book, Book Chapter, Early Access</i>
<b>Termos de busca pesquisados</b>	<b>Grupo 1:</b> <i>industry 4.0; smart manufactur*; smart factor*; digital manufactur*; cyber-physical system*; cyber physical system*; digitalization; digitalisation; digital ubiquity; internet of things; big data*; cloud computing</i> <b>Grupo 2:</b> <i>performance measur*; performance metric*; key-performance indicator*; measur* performance; performance indicator*; KPI*</i>
<b>Operador booleano</b>	<b>AND</b> entre grupos. <b>OR</b> entre os termos de busca
<b>Campos de busca</b>	<b>Título, resumo e palavras-chave</b>
<b>Indexadores Científicos</b>	<b><i>Web of Science e Scopus</i></b>
<b>Áreas de pesquisa</b>	<b><i>Web of Science:</i></b> <i>Engineering or Business Economics or Operations Research Management Science.</i> Na seleção dessas áreas, utilizou-se a opção "Refinar". <b><i>Scopus:</i></b> <i>Business, Management and Accounting or Decision Sciences or Engineering, Economics, Econometrics and Finance.</i> Na seleção dessas áreas, utilizou-se a opção "Limited to".
<b>Idiomas</b>	Inglês, espanhol ou português
<b>Anos de publicação</b>	Sem janela de tempo.
<b>Observações</b>	As palavras apresentadas nos termos de busca foram pesquisadas no título, resumo e palavras-chave dos documentos. O símbolo * em alguns termos de busca pesquisados significa que o sufixo dessas palavras pode variar, por isso esse recurso foi utilizado para abranger derivações dos termos de busca e aumentar o retorno de documentos.

Fonte: Adaptado de Leite (2012).

Para garantir que a grande maioria dos documentos fossem encontrados, o método de busca dos documentos foi iterativo, ou seja, contemplou ciclos que favorecem o aprendizado, refinamento da busca, e buscas cruzadas, a partir de referências citadas nos documentos encontrados, por meio do método *snowball* (Conforto et al., 2011).

É importante salientar que as tecnologias da I4.0 selecionadas como termos de busca no Grupo 1 do protocolo de coleta de dados, são as tecnologias que estão mais associadas aos

SMDs, de acordo com os resultados da análise bibliométrica e do mapeamento científico da literatura realizado no estudo de Lopes e Martins (2021).

Para selecionar os estudos mais relevantes e auxiliar na compreensão das questões de pesquisa, após a coleta de dados foram aplicados aos documentos selecionados os critérios de inclusão e exclusão descritos no Quadro 3.

**Quadro 3.** Critérios de inclusão e exclusão e suas explicações

I/E	Critério	Explicação do critério
Exclusão	Sem texto completo (STC)	STC1- O documento não apresenta texto completo a ser avaliado, possui conteúdo ou resultados incompletos ou não está disponível em formato eletrônico na web para <i>download</i> .
	Não relacionado (NR)	NR-1: O documento não é um artigo acadêmico ou é curto. Por exemplo, pôsteres, materiais editoriais, prefácios.
	Pouco relacionado (PR)	PR-1: O documento trata a questão do desempenho relacionado a utilização de indicadores, medidas, métricas e KPIs para expressar o desempenho de tecnologias ou mesmo da I4.0.
		PR-2: O documento trata os SMDs e as tecnologias da I4.0 de forma isolada ou associados a outros campos de pesquisa, por exemplo, Indústria 4.0 e <i>Supply Chain</i> .
	PR-3: Os termos SMD ou Indústria 4.0 somente aparecem nas palavras-chave ou no resumo.	
Inclusão	Parcialmente relacionado (PaR)	PaR-1: A contribuição das tecnologias da I4.0 nos SMDs é um dos vários objetos que devem ser revisados, pesquisados ou discutidos.
	Totalmente relacionado (TR)	TR- Os esforços de pesquisa do documento são explicitamente e especificamente dedicados a contribuição das tecnologias da I4.0 na melhoria dos SMDs.

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

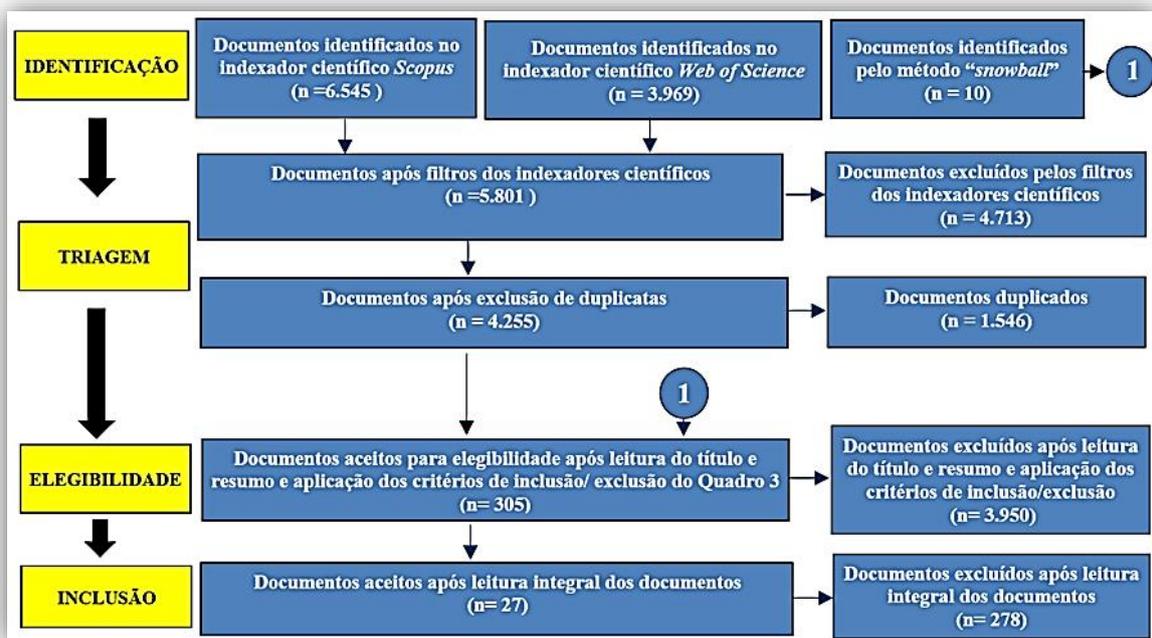
## 2.2. CONDUÇÃO DA PESQUISA

A Figura 1 apresenta um fluxograma PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic review and Meta-Analysis*) elaborado para fornecer uma visão geral e relatar as diversas etapas de coleta e seleção de dados (Moher et al., 2009).

Os documentos foram localizados por meio de uma busca nos indexadores científicos *Scopus* e *Web of Science* e selecionados de acordo com o protocolo de coleta estabelecido no Quadro 2. Esses documentos foram coletados e transportados para a ferramenta computacional *StArt* (*State of the Art through Systematic Reviews*), que ajudou na organização e triagem dos documentos e gerou um relatório com as evidências dessas tarefas (Fabbri et al., 2016). O gerenciador bibliográfico *Mendeley* também foi empregado para auxiliar no armazenamento e organização das referências.

A seleção dos documentos relevantes para a pesquisa começou pela exclusão de todos os documentos duplicados da amostra. Em seguida, foi realizada uma leitura dos títulos e resumos dos documentos com a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão apresentados no Quadro 3. Na sequência, os documentos que restaram (305 documentos) foram lidos integralmente e novamente foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão. A amostra final apresentou 27 documentos que envolvem processos de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

Figura 1. Fluxograma PRISMA com as diferentes fases da revisão sistemática da literatura



Fonte: Autor.

A fim de apoiar a extração, registro e codificação sistemática dos dados e análise subsequente, foi feita uma análise de conteúdo dos 27 documentos selecionados e os detalhes mais importantes de cada um foram armazenados em um "formulário de extração de dados". Além disso foi montado um banco de dados com o objetivo de agrupar os elementos de dados definidos para responder as questões de pesquisa.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados dos 27 documentos selecionados na RSL foram analisados para fornecer uma visão geral dos documentos e apresentar as respostas para as questões de pesquisa RQ1 e RQ2.

#### 3.1. ESTUDOS RELACIONADOS A IMPLANTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA I4.0 NOS SMDs

Foram selecionados na RSL 27 documentos que contribuem para a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. A Tabela 1 apresenta as referências dos documentos encontrados na RSL com as seguintes informações: o número atribuído ao documento dentro do estudo, os autores e o ano de publicação, o título do documento e na última coluna o total de citações (TC) de acordo com o *Google Scholar*. No total de citações, não foram usados os valores encontrados na *Scopus* e na *Web of Science* por conta deles diferirem para a mesma referência.

Tabela 1. Documentos selecionados na RSL

Nº	Referência	Título	TC
1	Supekar et al. (2019)	<i>A framework for quantifying energy and productivity benefits of smart manufacturing technologies</i>	27
2	Duarte et al. (2018)	<i>A framework to integrate performance measurement systems with data analytics</i>	0
3	Leitão et al. (2019)	<i>A Lightweight Dynamic Monitoring of Operational Indicators for a Rapid Strategic Awareness</i>	4
4	Konstas et al. (2023)	<i>A Pragmatic Framework for Data-Driven Decision-Making Process in the Energy Sector: Insights from a Wind Farm Case Study</i>	3
5	Wang et al. (2021)	<i>A proactive manufacturing resources assignment method based on production performance prediction for the smart factory</i>	33

6	Choi e Seo (2020)	<i>A Real-Time Physical Progress Measurement Method for Schedule Performance Control Using Vision, an AR Marker and Machine Learning in a Ship Block Assembly Process</i>	10
7	Mello e Martins (2019)	<i>Can Big Data Analytics Enhance Performance Measurement Systems?</i>	28
8	Pekarčíková et al. (2023)	<i>Case Study: Testing the Overall Efficiency of Equipment in the Production Process in TX Plant Simulation Software</i>	6
9	Lindegreen et al. (2022)	<i>Combining simulation and data analytics for OEE improvement</i>	13
10	Mörth et al. (2020)	<i>Cyber-physical systems for performance monitoring in production intralogistics</i>	71
11	Giusti et al. (2018)	<i>Data analytics and production efficiency evaluation on a flexible manufacturing cell</i>	10
12	Ante et al. (2018)	<i>Developing a key performance indicators tree for lean and smart production systems</i>	117
13	Hwang et al. (2017)	<i>Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment</i>	228
14	Bhadani et al. (2020)	<i>Development and implementation of key performance indicators for aggregate production using dynamic simulation</i>	43
15	Morella et al. (2020)	<i>Development of a New KPI for the Economic Quantification of Six Big Losses and Its Implementation in a Cyber Physical System</i>	12
16	Kloviene e Uosyte (2019)	<i>Development of Performance Measurement System in the Context of Industry 4.0: a Case Study</i>	33
17	Korsen e Ingvaldsen (2021)	<i>Digitalisation and the performance measurement and management system: reinforcing empowerment</i>	14
18	Venuta et al. (2021)	<i>Implementation of IoT Platform's Dashboards for the Visualisation of Dynamic KPIs: Insights from a Case Study</i>	1
19	Samir et al. (2018)	<i>Key Performance Indicators in Cyber-Physical Production Systems</i>	27
20	Zhou, Wang e Chua (2020)	<i>Machine OEE Monitoring and Analysis for a Complex Manufacturing Environment</i>	9
21	Nabil et al. (2023)	<i>Managing supply chain performance using a real time Microsoft Power BI dashboard by action design research (ADR) method</i>	2
22	Dev et al. (2019)	<i>Multi-criteria evaluation of real-time key performance indicators of supply chain with consideration of big data architecture</i>	83
23	Saez et al. (2018)	<i>Real-Time Manufacturing Machine and System Performance Monitoring Using Internet of Things</i>	117
24	Mahmoodpour et al. (2018)	<i>Role-based visualization of industrial IoT-based systems</i>	24
25	De Mello; Xavier e Martins (2015)	<i>Use of big data analytics in performance measurement systems</i>	7
26	Lamban et al. (2022)	<i>Using industry 4.0 to face the challenges of predictive maintenance: A key performance indicators development in a cyber-physical system</i>	35
27	Garcia et al. (2023)	<i>Visualization of Key Performance Indicators in the Production System in the Context of Industry 4.0</i>	0

Após a análise dos 10 documentos mais citados da Tabela 1, verifica-se que o documento de maior impacto é “*Developing performance measurement system for internet of things and smart factory environment*” de Hwang et al. (2017), com 228 citações. Esse artigo trata da aplicação da internet das coisas para coletar dados em tempo real e a utilização desses dados em indicadores de desempenho no processo de produção.

Ante et al. (2018) propõem uma estrutura hierárquica de *KPIs* nos níveis estratégico, tático e operacional para descrever o SMD de um sistema de manufatura automotiva suportado por tecnologias da I4.0.

Saez et al. (2018) desenvolvem um *framework* que permite avaliar e comparar o desempenho de sistemas de manufatura complexos em ambientes reais e virtuais, em tempo real, por meio de simulação.

Dev et al. (2019) propõem um modelo para ser utilizado como uma ferramenta de apoio para os tomadores de decisão na avaliação de *KPIs* em um sistema dinâmico em tempo real.

Mörth et al. (2020) tratam da aplicação da IoT para aprimorar o desempenho da intralogística a partir da aquisição e processamento de dados operacionais de um transportador, seguido pela determinação e visualização do desempenho em tempo real.

Bhadani et al. (2020) calculam e implementam *KPIs* relevantes para uma produção de uma planta de agregados usando dados da planta em tempo real e simulação dinâmica do processo. Os *KPIs* desenvolvidos são úteis para operadores e gerentes de fábrica para tomar decisões.

Lamban et al. (2022) implantam um *CPS* que permite visualizar em tempo real indicadores de manutenção, produtividade, sustentabilidade e custos. A implantação do *CPS* permite reduzir os tempos de tomada de decisão, programar as manutenções, melhorar a produtividade e observar falhas em tempo real.

Wang et al. (2021) propõe um método *PMRA* (*Proactive Manufacturing Resources Assignment*) baseado em tecnologias *IoT* e *CPS* e na previsão do desempenho da produção para aumentar a eficiência de *MRA* (*Manufacturing Resources Assignment*) e garantir o funcionamento ideal do sistema produtivo. Os resultados da aplicação deste método em uma empresa mostram que ele pode reduzir o total de atrasos para ajuste da produção e o consumo de energia.

Kloviene e Uosyte (2019) apresentam como os *SMDs* podem ser desenvolvidos em um contexto de Indústria 4.0 e mostram que o uso mais intensivo de métodos preditivos em processos de planejamento, ajudam a visualizar dados em tempo real para uma tomada de decisão mais rápida.

Mello e Martins (2019) investigam o potencial do *big data analytics* para aprimorar os *SMDs* e mostram que análises descritivas e preditivas melhoram a análise de desempenho e que a capacitação dos funcionários em ciência e gestão de dados é crucial para o sucesso da implantação do *big data analytics* nos *SMDs*.

A Tabela 2 apresenta os setores de implantação das tecnologias da I4.0 nos *SMDs* identificados nos 27 documentos selecionados na RSL. Deste conjunto, 17 documentos referem-se diretamente às pesquisas que envolvem a implantação das tecnologias da I4.0 em *SMDs* no setor industrial. Os outros 10 documentos tratam de estudos sobre implantação das tecnologias da I4.0 em *SMDs* realizados em laboratórios de aprendizagem de instituições de ensino ou em ambientes controlados e específicos para testes/treinamento dentro de indústrias. Apesar desses últimos documentos abordarem a implantação em pequena escala e não apresentarem estudos aprofundados sobre o tema, eles também foram escolhidos para análise, porque podem fornecer informações relevantes para esta pesquisa exploratória.

**Tabela 2.** Setores de implantação das tecnologias da I4.0 nos *SMDs* dos 27 documentos selecionados na RSL

Setor de implantação	Número de documentos	Referência (Tabela 1)
Indústria	17	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 25
Indústria (Ambiente controlado para testes e treinamentos) ou Instituições de ensino (Laboratório de aprendizagem)	10	8, 10, 11, 13, 15, 22, 23, 24, 26, 27

Fonte: Autor.

### 3.2. DRIVERS E FACILITADORES ENVOLVIDOS NO PROCESSO PARA IMPLANTAÇÃO DAS TECNOLOGIAS I4.0 SMDs

Após a análise de conteúdo dos 27 documentos da Tabela 1, foi feito o levantamento dos *drivers* e facilitadores envolvidos na implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

Os *drivers* podem ser entendidos como fatores motivadores e forças que induzem as empresas a implantarem as tecnologias da I4.0 nos SMDs.

Após a análise dos 27 documentos selecionados na RSL, foi elaborada uma lista com os *drivers* encontrados nesses documentos. Os *drivers* que tinham uma proximidade semântica foram considerados como um único termo. Depois de um processo de “clusterização”, os *drivers* foram categorizados entre: (i) fatores internos à organização; e (ii) fatores externos à organização. Esta divisão é importante ao lidar com aspectos associados a contexto organizacional, como pode ser observado em Pettigrew e Whipp (1993). Dentro destas 2 categorias os 19 *drivers* encontrados nos 27 documentos da RSL foram distribuídos em 7 subcategorias conforme Quadro 4.

As referências de cada *driver* do Quadro 4 podem ser encontradas na Tabela 1 pelo número atribuído ao documento dentro do estudo.

**Quadro 4.** Descrição dos *drivers* encontrados nos documentos selecionados na RSL

Categoria	Subcategorias	Nº	Driver	Referências
Fatores externos	Clientes	D1	Mantêr a excelência/ Prever o comportamento e atender novos requisitos dos clientes (por exemplo: customização de produtos)	7, 16, 18, 21, 27
		D2	Flexibilidade da produção (oferecer uma gama maior de produtos/reagendar dinamicamente a Produção)	1, 3, 12, 13, 14, 27
	Condições do mercado e competidores	D3	Crescente nível de competição (redução de custos, melhoria da qualidade, eficiência e produtividade)	14, 16, 17, 21, 24, 27
Fatores internos	Organização/ Melhorias nos Processos	D4	Melhoria da produtividade e eficiência (reduzir a taxa de erro, transparência dos dados)	1, 4, 7, 9, 13, 17, 18, 20, 24, 26
		D5	Melhorar o monitoramento remoto de desempenho dos processos	11, 13, 14
		D6	Redução de custos (recursos humanos, gestão de inventário e operações)	1, 21, 26
		D7	Melhoria da qualidade (detecção de defeitos, previsão de falhas, redução da variabilidade do processo)	7, 12
	Planejamento e Controle	D8	Agilidade (planejamento e controle em tempo real, resposta rápida as mudanças, previsão de eventos e padrões futuros)	3, 5, 7, 12, 13, 14, 16, 22, 23, 24, 27
	Força de trabalho	D9	Aumento na complexidade dos SMDs requerem novas habilidades dos seus usuários	10, 16, 25
	Sustentabilidade ambiental	D10	Melhoria da sustentabilidade ambiental/redução de impactos ambientais (por exemplo: redução consumo de energia)	1
	Gestão do desempenho	D11	Através da conectividade aprimorada, fornecer monitoramento contínuo em tempo real do SMD para os tomadores de decisão	3, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 18, 20, 22, 23, 26
		D12	Transformar dados em informações significativas/ relevantes para os tomadores de decisão (por exemplo: utilização de ferramentas de BDA)	2, 4, 7, 9, 10, 18, 21, 25, 26
		D13	Através de simulações, possibilitar aos tomadores de decisão, opções e insights para reconfiguração e avaliação do sistema em tempo real	9, 10, 14, 22, 23
		D14	Melhorar a visualização do desempenho para facilitar a identificação de informações relevantes para uma rápida e eficaz tomada de decisão	6, 10, 11, 18, 24, 26, 27
		D15	Transparência nos resultados de desempenho (transmissão clara e eficiente para as partes interessadas)	3, 10

<b>D16</b>	Melhorar a qualidade da informação para a tomada de decisão (informações precisas, disponíveis e em tempo real)	<b>14, 22</b>
<b>D17</b>	Substituição de tarefas manuais na operacionalização do SMD	<b>10, 20</b>
<b>D18</b>	Necessidade de atualização constante do SMD devido a natureza dinâmica das operações	<b>22</b>
<b>D19</b>	Necessidade de definir e priorizar as medidas de desempenho em função da mudança no ambiente dinâmico da tomada de decisão	<b>22</b>

Fonte: Autor.

A Figura 2 apresenta o número de referências por subcategoria para a categoria “Fatores externos” descrita no Quadro 4.

**Figura 2.** Número de referências por subcategoria (fatores externos)



Fonte: Autor.

De acordo com o número de referências da RSL, observa-se na Figura 2, que de uma perspectiva externa da organização, as subcategorias “Clientes” e “Condições de Mercado e Competidores” são importantes.

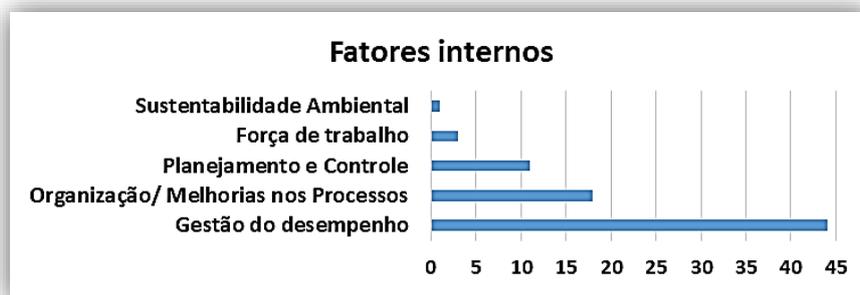
A melhoria da satisfação dos clientes e a busca de previsões mais precisas do comportamento deles frente as suas novas necessidades de produtos mais variados e customizados, bem como a exigência de uma flexibilidade no processo das empresas para reconfiguração da produção diante das mudanças frequentes desses novos requisitos dentro de um mercado globalizado, volátil e altamente exigente, requer que os SMDs sejam dinâmicos e adaptados a essas mudanças e as tecnologias da I4.0 podem contribuir com essa necessidade (Bhadani et al., 2020; Klovienne & Uosyte, 2019; Leitao et al., 2019; R. Mello & Martins, 2019).

O crescente nível de competição em um mercado global torna a empresa mais atual e inovadora, tanto no processo produtivo quanto na gestão. O mercado exige de seus competidores que seus resultados em termos de redução de custos, melhoria da qualidade, eficiência e produtividade, entre outros indicadores, sejam cada vez melhores. Assim os SMDs devem ter capacidade reativa para detectar as rápidas mudanças nesses indicadores e fornecer *insights* aos tomadores de decisão. O uso de tecnologias como *internet of things*, *cloud computing* e *big data analytics*, entre outras, são essenciais para coletar, armazenar e analisar dados de operações remotamente e ajudar nesse processo (Bhadani et al., 2020; Klovienne & Uosyte, 2019; Mahmoodpour et al., 2018).

A Figura 3 apresenta o número de referências por subcategoria para a categoria “Fatores internos” descrita no Quadro 4. De acordo com o número de referências da RSL, observa-se na Figura 3, que de uma perspectiva interna da organização, destaca-se a subcategoria

“Gestão do Desempenho”. Os SMDs tradicionais baseados em dados históricos são criticados por serem estáticos e reativos, com coleta e relatórios de dados complicados e demorados (Korsen & Ingvaldsen, 2021; S. S. Nudurupati et al., 2011; Sai S. Nudurupati & Bititci, 2005). Novas medidas de desempenho multidimensionais, novos modelos de negócios, grande volume e variedade de dados, mudanças nos ambientes internos e externos das organizações, novos requisitos de *stakeholders*, entre outros fatores, tornam os SMDs cada vez mais complexos, aumentando o desafio de atender a elevada competitividade e a necessidade de informações rápidas, precisas e oportunas para a tomada de decisão (Bititci et al., 2012; Kennerley & Neely, 2003; Sandengen et al., 2016). Isso significa que os novos SMDs devem capazes de acompanhar essas modificações, a fim de fornecer dados e informações relevantes para a tomada de decisão em tempo real (Kennerley & Neely, 2003; Nudurupati et al., 2011).

**Figura 3.** Número de referências por subcategoria (fatores internos)



Fonte: Autor

A integração das tecnologias da I4.0 nos SMDs pode ajudar no desenvolvimento de sistemas inteligentes que podem contribuir para a adequação dos SMDs as transformações desse novo ambiente (Lopes & Martins, 2021).

A Figura 4 apresenta o número de referências por *driver* conforme o Quadro 4.

**Figura 4.** Número de referências por *driver*



Fonte: Autor.

Verifica-se na Figura 4 que os três *drivers* mais citados para implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs, de acordo com os documentos da RSL, são:

**a) Fornecer monitoramento contínuo em tempo real do SMD para os tomadores de decisão, por meio da conectividade aprimorada (D11).** A implantação de tecnologias principalmente associadas à internet das coisas fornecem um monitoramento contínuo, por meio de interfaces de visualização apropriadas, da evolução dos *KPIs* dos SMDs ao longo do tempo e em tempo real. Esses SMDs são capazes de detectar e alertar os tomadores de decisão para situações críticas, principalmente aquelas que seriam difíceis de supervisionar ou prever sem o uso desses novos recursos, isso permite que eles tenham visibilidade em tempo real de suas máquinas e plantas e tomem decisões bem fundamentadas (Leitao et al., 2019; Lindegren et al., 2022; Zhou et al., 2020).

**b) Oferecer agilidade (planejamento e controle em tempo real, resposta rápida as mudanças, previsão de eventos e padrões futuros) (D8).** Organizações resilientes minimizam a deterioração do desempenho frente a qualquer perturbação, para isso elas devem ser ágeis e os SMDs capazes de detectar e informar rapidamente essas variações. A implantação de tecnologias da I4.0 permite o planejamento e controle em tempo real, proporcionando que as empresas sejam flexíveis e rápidas para responder a eventos imprevisíveis internos e também às rápidas mudanças nas condições do mercado como variações de demanda, oferta e preços (Ghadge et al., 2020; Kibira et al., 2016). A capacidade de previsão de eventos e padrões futuros devido à adoção de algoritmos preditivos associados aos SMDs permite a rápida reconfiguração do planejamento da produção (Leitao et al., 2019).

**c) Melhorar a produtividade e eficiência (reduzindo a taxa de erro, reduzindo o *lead time*, aumentando a transparência dos dados) (D4).** Uma empresa permanecerá competitiva desde que melhore continuamente a disponibilidade, eficiência e qualidade de sua produção (Garcia et al., 2023; Zhou et al., 2020). Monitorar e controlar o desempenho operacional das instalações e atividades de produção por meio dos SMDs, torna-se essencial para uma organização gerenciar e melhorar sua produtividade e eficiência (Ante et al., 2018; Hwang et al., 2017). No entanto, a dificuldade de capturar e processar dados em tempo real para retratar situações reais é uma tarefa complexa (Hwang et al., 2017). A implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs, como a internet das coisas, permite a utilização dos dados do chão de fábrica em tempo real nos SMDs, desta forma é possível desenvolver análises avançadas para rastrear e melhorar as operações em tempo real, aumentando assim a produtividade e eficiência da produção (Zhou et al., 2020). Sistemas ciberfísicos colaboram com esse aumento devido à sua capacidade de processar informações rapidamente para uma melhor tomada de decisão (Nader et al., 2021). SMDs baseados em tecnologias da I4.0 também liberam o tempo gasto de funcionários na coleta manual de dados, manipulação de planilhas e interpretação de relatórios para se dedicarem em projetos de melhoria da produção (Korsen & Ingvaldsen, 2021).

Na análise dos facilitadores (fatores que colaboram para que os resultados sejam alcançados), fatores (facilitadores) econômicos, gerenciais e normativos/governamentais, reconhecidos como relevantes para a implantação das tecnologias da I4.0 nas organizações, não foram identificados nos 27 documentos encontrados da RSL (Tabela 1). Para garantir que esses fatores também fossem considerados no processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos

SMDs, realizou-se uma pesquisa bibliográfica no *Google Scholar* para complementar a RSL. Nessa busca foram selecionados os documentos que envolvem facilitadores para a implantação das tecnologias da I4.0 nas organizações e apresentam um bom impacto em termos de números de citações (Tabela 3).

**Tabela 3.** Documentos obtidos na pesquisa bibliográfica complementar

Nº	Referência	Título	TC
28	Neto et al. (2020)	<i>Digital twins in manufacturing: An assessment of drivers, enablers and barriers to implementation</i>	51
29	Stentoft et al. (2020)	<i>Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers</i>	377
30	Rezqianita e Ardi (2020)	<i>Drivers and Barriers of Industry 4.0 Adoption in Indonesian Manufacturing Industry</i>	23
31	Horváth e Szabó (2019)	<i>Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?</i>	1145
32	Ghadge et al. (2020)	<i>The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains</i>	443
33	Schröder (2016)	<i>The challenges of industry 4.0 for small and medium-sized enterprises</i>	384

Fonte: Autor.

Após a análise dos 33 documentos selecionados (27 documentos da Tabela 1 mais 6 documentos da Tabela 3), elaborou-se uma lista contendo os facilitadores encontrados nesses documentos. Os facilitadores que apresentavam uma proximidade semântica foram considerados como um único termo. Posteriormente, com base nas categorias propostas por Neto et al. (2020) e Kennerley e Neely (2003), bem como na “clusterização” dos facilitadores, os mesmos foram agrupados em seis categorias (Quadro 5).

**Quadro 5.** Descrição das categorias dos facilitadores

Categoria	Descrição
<b>Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica</b>	A infraestrutura tecnológica é constituída por tecnologias sensoriais, de comunicação, de rede e de processamento de informações que contribuem para a interoperabilidade e conectividade entre os sistemas e dispositivos inteligentes.
<b>Fatores Técnicos: Gestão de dados</b>	A gestão de dados consiste no uso de recursos para identificação, coleta, armazenamento, compilação, análise e proteção de dados confiáveis e de boa qualidade para gerar informações precisas disponibilizadas por meio de ferramentas de visualização que facilitem a sua divulgação e interpretação pelos tomadores de decisão.
<b>Fatores sociais</b>	Os fatores sociais são fatores associados ao comportamento humano no meio organizacional. A necessidade de funcionários mais qualificados e flexíveis para lidar com mudanças frequentes no ambiente da I4.0 e a presença de uma cultura organizacional aberta facilitam o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.
<b>Fatores econômicos</b>	O processo de implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs requer das empresas um compromisso de longo prazo, altos investimentos financeiros em pessoas, processos e tecnologias e um certo nível de incerteza em relação ao retorno desse investimento.
<b>Fatores gerenciais</b>	Os fatores gerenciais estão ligados à forma com que o processo de implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs é planejado e colocado em prática pelos seus responsáveis. Um planejamento claro e bem definido de implantação, o apoio e o suporte ativo e contínuo da alta administração são instrumentos valiosos para tornar o caminho de implantação um sucesso.
<b>Fatores normativos/governamentais</b>	Os fatores normativos/governamentais remetem as políticas e regulamentações desenvolvidas pelo governo para criar um ambiente amigável para atrair as empresas a adotarem as novas tecnologias da I4.0.

Fonte: Autor.

O Quadro 6 apresenta a lista final com os 24 facilitadores encontrados nos 33 documentos selecionados na RSL, agrupados de acordo com as respectivas categorias. Na última coluna do Quadro 6 estão os números das referências bibliográficas onde os facilitadores foram encontrados (Tabelas 1 e 3).

**Quadro 6.** Descrição dos facilitadores encontrados nos documentos das Tabelas 1 e 3

Categoria	Nº	Fator (Facilitador)	Referência
Fatores Técnicos: Infraestrutura Tecnológica	F1	<b>Infraestrutura digital adequada:</b> Presença de infraestrutura de TI e outros recursos tecnológicos básicos e adequados para suportar a aplicação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.	7, 16, 10 25
	F2	<b>Interoperabilidade:</b> Uso de interfaces, protocolos de comunicação padronizados facilitam conectividade e interoperabilidade importante para comunicação e troca de dados entre sistemas.	3, 13, 24
	F3	<b>Conectividade aprimorada:</b> Boa estrutura de rede global composta de dispositivos inteligentes conectados entre si ou com ambiente externo permite mapear o estado de subsistemas individuais e sistema como um todo e monitorar, analisar o desempenho em tempo real.	4, 10, 11
	F4	<b>Cibersegurança:</b> A implementação de estratégias de segurança cibernética são essenciais para garantir a proteção de computadores, servidores, dispositivos móveis, sistemas eletrônicos, redes e dados contra ataques maliciosos.	7, 27
Fatores Técnicos: Gestão de Dados	F5	<b>Qualidade dos dados:</b> Dados confiáveis e de boa qualidade geram informações precisas para os SMDs e para os tomadores de decisão.	1, 7, 25
	F6	<b>Acessibilidade e integração de dados:</b> Possibilidade de acessar, coletar e integrar dados de múltiplas fontes de dados heterogêneas ou de sistemas legados com protocolos de comunicação de diferentes fabricantes. Softwares de código aberto facilitam a aquisição de dados.	3, 24, 27
	F7	<b>Capacidade de armazenamento de dados escalável e flexível:</b> O projeto deve permitir o armazenamento escalável e flexível, permitindo armazenar qualquer tipo de dado sem restrições.	24
	F8	<b>Boas ferramentas de visualização dos dados:</b> Ferramentas de visualização de um grande volume de dados colaboram na divulgação e interpretação do desempenho.	7, 21, 24
Fatores Sociais	F9	<b>Funcionários qualificados:</b> Funcionários com competências interdisciplinares e necessárias para análise e gestão de dados e para trabalhar com as tecnologias da I4.0 e SMDs.	7, 10, 14, 16, 33
	F10	<b>Conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0:</b> Conhecimento sobre a I4.0 e suas tecnologias. Habilidade para identificar oportunidades/benefícios da I4.0.	3
	F11	<b>Treinamento contínuo dos funcionários:</b> Para utilizar novas ferramentas e tecnologias. Programas de qualificação e requalificação ajudam a desenvolver competências dos funcionários e facilitam a adaptação dos mesmos a I4.0.	16, 25, 30
	F12	<b>Apoio de consultoria especializada e/ou de instituições acadêmicas:</b> No treinamento e implantação podem ajudar as empresas na adoção de tecnologias da I4.0 nos SMDs.	30
	F13	<b>Flexibilidade dos funcionários para mudanças:</b> Flexibilidade e capacidade de adaptação a novos processos (aprender a usar novas tecnologias e práticas a elas associadas).	16
	F14	<b>Cultura organizacional aberta:</b> Deve estar aberta a inovação e a experimentação.	32
Fatores Econômicos	F15	<b>Capacidade de fazer investimentos financeiros:</b> O compromisso das empresas com investimentos financeiros é um dos facilitadores cruciais na implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs.	28, 29, 30, 31, 32
	F16	<b>Clareza quanto aos benefícios econômicos da implantação das tecnologias da I4.0 SMDs:</b> Clareza quanto ao custo-benefício e ganhos monetários nos investimentos em tecnologias da I4.0 nos SMDs. Erros durante a fase de projeto, queima de etapas e falta de estudos empíricos podem causar incertezas em uma avaliação dos benefícios da implantação das tecnologias da I4.0 SMDs.	28, 32
	F17	<b>Disposição em assumir riscos financeiros:</b> Disposição para assumir alguns riscos com o investimento em novas tecnologias que ainda não estão plenamente desenvolvidas.	29
Fatores Gerenciais	F18	<b>Plano de implantação da tecnologia da I4.0 estruturado e bem definido:</b> Planejamento adequado para implantação da I4.0 é um facilitador. É preciso definir objetivos, as etapas e recursos necessários para alcançá-los. Na implantação, as empresas devem seguir etapas incrementais.	28, 31
	F19	<b>Suporte da alta administração:</b> O suporte ativo e contínuo da alta administração é crucial para a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.	28, 30, 31
	F20	<b>Comprometimento da gestão com projetos de longo prazo:</b> Compromisso da gestão com projetos de longo prazo são fundamentais para o sucesso da implantação das tecnologias da I4.0 SMDs.	28, 30
Fatores normativos/ Governamentais	F21	<b>Criação de normas e regulamentos:</b> Inovações tecnológicas desafiam continuamente os reguladores/legisladores. Emissão de normas, regulamentos proporcionam segurança jurídica aos investidores e estrutura regulatória incentiva disponibilidade e adoção de tecnologias I4.0 SMDs.	30, 33
	F22	<b>Criação de políticas e incentivos governamentais:</b> Como acesso a linhas de crédito influenciam positivamente a implantação de tecnologias da I4.0 SMDs.	30, 32, 33
	F23	<b>Desenvolvimento de infraestrutura técnica de suporte para a I4.0:</b> Fornecimento de infraestrutura digital pelo governo (5G e sistemas de comunicação) facilita locação da I4.0 SMDs.	30, 33
	F24	<b>Criação de programas de aprendizagem e adaptação de currículo acadêmico:</b> Criação de programas de aprendizagem pelo governo voltados para a I4.0 e adaptação de currículo acadêmico para satisfazer demandas da I4.0 facilitam a implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs.	30

Fonte: Autor.

A Figura 5 apresenta o número de referências por categoria de facilitadores, de acordo com as especificações apresentadas no Quadro 5.

Os fatores sociais (Figura 5) que estão relacionados ao comportamento humano são extremamente relevantes no processo de implantação. A mudança de atividades pouco qualificadas para aquelas que possuem um envolvimento cognitivo mais intenso e exigem mais habilidades e competências interdisciplinares, como a capacidade de analisar criticamente os dados disponíveis em tempo real para uma tomada de decisão e a própria gestão desses dados, requer funcionários qualificados para lidar com essas novas demandas, assim é crucial a necessidade de treinamento contínuo para capacitar esses funcionários (Kloviene & Uosyte, 2019; R. Mello & Martins, 2019; Mörth et al., 2020; Rezqianita & Ardi, 2020). Essas novas formas de trabalho podem ter impactos positivos e negativos para os funcionários. Alterações nas práticas de trabalho podem ser acompanhadas de conflitos nas organizações. Assim como em qualquer mudança organizacional, há a possibilidade de resistência à integração de novas tecnologias. Essa pode ser uma barreira poderosa e, se não for abordada adequadamente, pode prejudicar seriamente a adoção bem-sucedida de novas tecnologias (Horváth & Szabó, 2019; Rezqianita & Ardi, 2020). A resistência organizacional pode ser causada por funcionários que temem perder seus empregos ao longo do tempo ou que não possuem as competências exigidas pelas novas tecnologias. Dessa forma, a organização deve promover programas de qualificação e requalificação para auxiliar os funcionários a desenvolverem as competências necessárias e facilitar a adaptação deles a I4.0. Além disso, deve promover uma discussão aberta e transparente com todos os funcionários, para que possam contribuir com esse processo (Horváth & Szabó, 2019; Kloviene & Uosyte, 2019; Rezqianita & Ardi, 2020).

Figura 5. Número de referências por categoria de facilitadores.

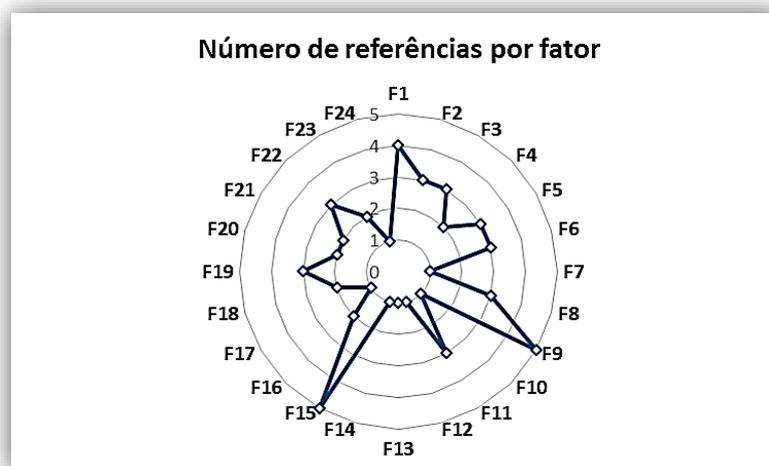


Fonte: Autor.

A existência de uma infraestrutura de suporte adequada às tecnologias da I4.0, que engloba tecnologias sensoriais, de comunicação, de rede e de processamento de informações, bem

como a disponibilidade de sistemas flexíveis com interfaces que facilitam a conectividade e interoperabilidade de máquinas e equipamentos são fatores que contribuem para a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs (Leitao et al., 2019; R. Mello & Martins, 2019). A maior conectividade e uso de protocolos de comunicação padrão aumentam o risco de invasões cibernéticas nos sistemas das organizações, o que pode causar interrupções nas operações, perda de dados e conseqüentemente enormes prejuízos as organizações, portanto essa é uma preocupação que cresce significativamente e a implantação de estratégias de segurança são essenciais para o sucesso do processo de implantação e uso das tecnologias da I4.0 nos SMDs (R. Mello & Martins, 2019; Neto et al., 2020) (Figura 6, de acordo com as descrições do Quadro 6).

**Figura 6.** Número de referências por fator (facilitador).



Fonte: Autor.

Na Figura 6, é possível notar que entre os facilitadores mais citados está a necessidade de funcionários qualificados (F9). A necessidade de novos conhecimentos, habilidades e competências interdisciplinares para lidar com as tecnologias da I4.0 e SMDs, requer funcionários qualificados, dispostos a trabalhar com dados, e flexíveis as mudanças no ambiente organizacional (Kloviene & Uosyte, 2019; R. Mello & Martins, 2019; Mörth et al., 2020; Rezqianita & Ardi, 2020). Funcionários qualificados podem realizar o “trabalho cooperativo”, interagindo com robôs, máquinas e sistemas ciberfísicos (Fast-Berglund & Romero, 2019). Dessa forma, a necessidade de aprimoramento das capacidades da força de trabalho humana é crescente e as organizações devem buscar esses requisitos na admissão de novos funcionários, bem como promover programas de qualificação e treinamento contínuo para adaptação dos funcionários existentes às novas ferramentas e tecnologias (Horváth & Szabó, 2019; Kloviene & Uosyte, 2019; Rezqianita & Ardi, 2020).

Pode-se observar também na Figura 6 que a capacidade da organização em fazer investimentos financeiros (F15) também é um dos facilitadores mais citados. Devido aos elevados custos de implantação das tecnologias da I4.0, sobretudo na capacitação de funcionários e na construção de uma infraestrutura digital abrangente, incluindo sistemas complexos de segurança cibernética, exige que as organizações sejam capazes de realizar

investimentos significativos, de acordo com o nível atual de digitalização em que elas se encontram. Os investimentos não se limitam ao curto prazo, mas devem ser planejados e monitorados através de um planejamento de longo prazo. A implantação de tecnologias da I4.0 em pequenas e médias empresas de manufatura pode ser mais demorada do que em grandes corporações, sobretudo devido à relativa falta de recursos financeiros, à falta de experiência e às limitações de capacidade (Ghadge et al., 2020; Horváth & Szabó, 2019; Neto et al., 2020; Rezqianita & Ardi, 2020).

#### 4. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma revisão sistemática da literatura para analisar o estado da arte referente aos *drivers* e facilitadores para implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs. Foram realizadas análises quantitativas e qualitativas em 33 documentos selecionados que apontaram resultados relevantes que contribuem para a literatura do tema pesquisado.

O monitoramento contínuo em tempo real dos SMDs e a transformação de dados em informações significativas/relevantes para os tomadores de decisão, bem como a necessidade de previsibilidade e respostas rápidas dos SMDs as mudanças do ambiente interno e externo das organizações e a melhoria da produtividade e eficiência da produção são os fatores mais relevantes na adoção das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

Os investimentos em uma infraestrutura digital integrada aos SMDs com disponibilidade de interfaces padronizadas que facilitem a conectividade e a interoperabilidade, bem como o uso de ferramentas de visualização de dados, são facilitadores relevantes para a implantação das tecnologias da I4.0 nos SMDs.

A análise de dados pode ser um elemento fundamental nos esforços das organizações para aprimorar o desempenho e obter vantagem competitiva. Dessa forma, esse recurso exerce uma influência significativa nos SMDs (R. Mello et al., 2014). No entanto, para que a análise de dados seja adequada, é necessário que toda a gestão dos dados a serem analisados seja eficiente, neste aspecto as tecnologias da I4.0 podem contribuir consideravelmente. A transformação dos dados em informações relevantes para os tomadores de decisão é um dos principais objetivos dos SMDs. Dessa forma, a qualidade e assertividade das decisões estão diretamente ligadas à gestão dos dados que abastecem os SMDs (Kamble et al., 2020).

A complexidade dos sistemas operacionais e de gestão está aumentando significativamente com a expansão global das redes e mercados de negócios. Os recursos humanos constituem um elemento crucial nesse processo. A integração entre as tecnologias da I4.0 e os SMDs requer uma equipe multifuncional e com alto nível de qualificação, tanto gestores quanto trabalhadores, especialmente no processamento e análise inteligente de dados. Dessa forma, governo, instituições de ensino e empresas devem unir forças para preparar novos profissionais para as “fábricas inteligentes”. As ações governamentais devem se concentrar na criação de programas de aprendizagem e centros de pesquisa e desenvolvimento em torno da I4.0. Além de desenvolver pesquisas nesse campo, as instituições de ensino podem adequar o currículo acadêmico, sobretudo nos cursos de engenharia e computação, para atender às demandas específicas da I4.0, como oferecer uma formação interdisciplinar necessária para lidar com tecnologias híbridas da Indústria 4.0, com ênfase em tecnologia da informação e *data analytics*, por exemplo. As empresas devem fornecer programas de qualificação e requalificação para os seus atuais funcionários, além de reconhecer aqueles com habilidades digitais nas futuras contratações, o que é um grande desafio, principalmente para pequenas

e médias empresas, uma vez que demanda tempo e investimentos de longo prazo que devem ser levados em consideração no processo de implantação.

Nos últimos anos, o número de produtos inteligentes e conectados aumentou significativamente, o que afetou diretamente o ambiente industrial e, particularmente, os SMDs, que necessitam de dados confiáveis e de qualidade para fornecer informações relevantes para os tomadores de decisão, isso impõe um grande desafio para as organizações.

Um plano estratégico bem elaborado para investir em recursos adequados é indispensável para a implantação. A ajuda de empresas de consultoria ou de instituições acadêmicas pode auxiliar as organizações a priorizarem a aplicação de seus recursos nesse processo.

Quando o governo desenvolve políticas para alocar mais recursos para a inovação, as organizações têm maior probabilidade de responder e adotar novas tecnologias. Incentivos financeiros e tributários e outras ações governamentais podem incentivar e apoiar a adoção de tecnologias I4.0 pelas organizações. Essas ações também podem ser estendidas também para a implantação dessas tecnologias nos SMDs.

Ao analisar os resultados do deste estudo, duas limitações devem ser apontadas. Primeiro, a revisão poderia ser mais abrangente caso fossem consideradas mais fontes de dados e mais idiomas, embora essas restrições devam ser especificadas para que a RSL seja viável. Segundo, além dos critérios de inclusão/exclusão, é essencial avaliar a “Qualidade” dos estudos primários (Keele, 2007), porém existem várias limitações nas análises da qualidade realizada pelos pesquisadores e não há um consenso quanto à aplicação de ferramentas e procedimentos existentes para essa avaliação (Siddaway et al., 2019). Nesse sentido foram selecionados apenas documentos revisados por pares, pois essa seleção reduz as chances de incluir documentos de baixa qualidade e análises pouco confiáveis na análise, contudo isso é considerado uma limitação da pesquisa, pois aumenta o risco de viés de publicação, no entanto ela é justificada pelo compromisso de selecionar apenas documentos de qualidade (Thomé et al., 2016).

Os dados deste estudo foram coletados na literatura existente, que ainda é escassa devido ao tema emergente. Dessa forma, pesquisas futuras poderão confirmar junto a especialistas, que realizaram na prática o processo de implantação de tecnologias da I4.0 em SMDs e possuem conhecimento no assunto, os resultados obtidos referentes aos *drivers* e facilitadores, além de ampliar e aprofundar essa questão para fornecer uma visão mais ampla desse assunto.

Por fim, esta RSL identificou as pesquisas que envolvem a implantação de tecnologias da I4.0 nos SMDs e algumas oportunidades para os pesquisadores nesse campo de pesquisa. Além disso, os resultados demonstraram que as tecnologias da I4.0 têm um impacto positivo nos SMDs e ainda forneceram informações valiosas que podem servir de guia para os gestores no processo de implantação dessas tecnologias nos SMDs. Isso pode ajudar as organizações na concepção de estratégias que utilizam os *drivers* e um processo de implantação mais direcionado e menos trabalhoso e oneroso, tendo em vista o conhecimento dos principais facilitadores que corroboram com o sucesso desse processo, permitindo que as tecnologias da I4.0 sejam mais exploradas e utilizadas nos SMDs.

---

## REFERÊNCIAS

Ante, G., Facchini, F., Mossa, G., & Digiesi, S. (2018). Developing a key performance indicators tree for lean and smart production systems. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 13–18.

<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.227>  
Assandre, J., & Martins, R. (2023). Analysis of Scientific Production on the use of Big Data Analytics in Performance Measurement Systems. *IEEE Latin*

- America Transactions*, 21(3), 367–380.
- Bauters, K., Cottyn, J., Claeys, D., Slembrouck, M., Veelaert, P., & van Landeghem, H. (2018). Automated work cycle classification and performance measurement for manual work stations. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 51(December 2017), 139–157. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.12.001>
- Bhadani, K., Asbjörnsson, G., Hulthén, E., & Evertsson, M. (2020). Development and implementation of key performance indicators for aggregate production using dynamic simulation. *Minerals Engineering*, 145(August 2019), 139–157. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106065>
- Biolchini, J. A., Calmon, J., Mian, P. G., Natali, A. C. C., Conte, T. U., & Travassos, G. H. (2007). Scientific research ontology to support systematic review in software engineering. *Advanced Engineering Informatics*, 21(2), 133–151. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.11.006>
- Bititci, U., Garengo, P., Dörfler, V., & Nudurupati, S. (2012). Performance measurement: challenges for tomorrow. *International Journal of Management Reviews*, 14(3), 305–327. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2011.00318.x>
- Bourne, M., Neely, A., Mills, J., & Platts, K. (2003). Implementing performance measurement systems: a literature review. *International Journal of Business Performance Management*, 5(1), 1–24. <https://doi.org/10.1504/IJBPM.2003.002097>
- Chauhan, C., & Singh, A. (2019). A review of Industry 4.0 in supply chain management studies. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(5), 863–886. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2018-0105>
- Choi, T., & Seo, Y. (2020). A real-time physical progress measurement method for schedule performance control using vision, an ar marker and machine learning in a ship block assembly process. *Sensors (Switzerland)*, 20(18), 1–25. <https://doi.org/10.3390/s20185386>
- Conforto, E. C., Amaral, D. C., & Silva, S. L. Da. (2011). Roteiro para revisão bibliográfica sistemática : aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *8° Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolviemnto de Produto - CNGDP 2011, 1998*, 1–12.
- De Mello, R. G. S., Xavier, J. E. M., & Martins, R. A. (2015). Use of big data analytics in performance measurement systems. *IIE Annual Conference and Expo 2015, July*, 2352–2360. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4071.4083>
- Denyer, D., & Tranfield, D. (2009). Producing a Systematic Review. In *The SAGE Handbook of Organizational Research Methods* (pp. 671–689). Sage Publications Ltd. <https://doi.org/10.1080/03634528709378635>
- Dev, N. K., Shankar, R., Gupta, R., & Dong, J. (2019). Multi-criteria evaluation of real-time key performance indicators of supply chain with consideration of big data architecture. *Computers and Industrial Engineering*, 128(April 2018), 1076–1087. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.04.012>
- Duarte, R., De Araújo Kluska, R., Deschamps, F., De Lima, E. P., & Van Aken, E. M. (2018). A framework to integrate performance measurement systems with data analytics. *39th International Annual Conference of the American Society for Engineering Management, ASEM 2018*, 1–10.
- Dweekat, A., & Al-Aomar, R. (2018). An IoT-Enabled Framework for Dynamic Supply Chain Performance Management. *2018 IEEE Technology and Engineering Management Conference (TEMSCON)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/TEMSCON.2018.8488417>
- El Abdellaoui, M. E. A., Grimaud, F., Gianessi, P., & Delorme, X. (2019). Integrated Decision Process to Design Manufacturing Systems towards Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 1373–1378.
- Fabbri, S., Silva, C., Hernandez, E., Octaviano, F., Di Thommazo, A., & Belgamo, A. (2016). Improvements in the StArt tool to better support the systematic review process. *Proceedings of the 20th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*, 1–5. <https://doi.org/10.1145/2915970.2916013>
- Eltayeb, A., Mohamed, A., & Masrom, M. B. (2021). Drivers and Barriers to Implement Industry 4.0 in Manufacturing Sectors, Systematic Literature Review. *The International Journal of Innovative Research in Engineering & Multidisciplinary Physical Sciences*, 9, 1–9.
- Fast-Berglund, Å., & Romero, D. (2019). Strategies for Implementing Collaborative Robot Applications for the Operator 4.0. *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, 566(November), 682–689. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-30000-5\\_83](https://doi.org/10.1007/978-3-030-30000-5_83)
- Frederico, G. F., Garza-Reyes, J. A., Anosike, A., & Kumar, V. (2019). Supply Chain 4.0: concepts, maturity and research agenda. *Supply Chain Management*, 25(2), 262–282. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2018-0339>
- Garcia, C. A., Caiza, G., Guizado, D., Naranjo, J. E., Ortiz, A., Ayala, P., & Garcia, M. V. (2023). Visualization of Key Performance Indicators in the Production System in the Context of Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 56(2), 6582–6587. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.310>
- Ghadge, A., Er Kara, M., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4), 669–686. <https://doi.org/10.1108/JMTM-10-2019-0368>
- Giusti, F., Bevilacqua, M., Tedeschi, S., & Emmanouilidis, C. (2018). Data analytics and production efficiency evaluation on a flexible

- manufacturing cell. *2018 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/I2MTC.2018.8409677>
- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146(March), 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- Hwang, G., Lee, J., Park, J., & Chang, T. W. (2017). Developing performance measurement system for Internet of Things and smart factory environment. *International Journal of Production Research*, 55(9), 2590–2602. <https://doi.org/10.1080/00207543.2016.1245883>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., Ghadge, A., & Raut, R. (2020). A performance measurement system for industry 4.0 enabled smart manufacturing system in SMMEs- A review and empirical investigation. *International Journal of Production Economics*, 229(July), 107853. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107853>
- Keele, S. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. *Ver. 2.3 EBSE Technical Report*, 57.
- Kennerley, M., & Neely, A. (2003). Measuring performance in a changing business environment. *International Journal of Operations and Production Management*, 23(2), 213–229. <https://doi.org/10.1108/01443570310458465>
- Khan, S. A., Chaabane, A., & Dweiri, F. (2020). Supply chain performance measurement systems: A qualitative review and proposed conceptual framework. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 34(1), 43–64. <https://doi.org/10.1504/IJISE.2020.104315>
- Kibira, D., Morris, K. C., & Kumaraguru, S. (2016). Methods and tools for performance assurance of smart manufacturing systems. *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, 121, 282–313. <https://doi.org/10.6028/jres.121.013>
- Kloviene, L., & Uosyte, I. (2019). Development of performance measurement system in the context of industry 4.0: A case study. *Engineering Economics*, 30(4), 472–482. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.30.4.21728>
- Konstas, K., Chountalas, P. T., Didaskalou, E. A., & Georgakellos, D. A. (2023). A Pragmatic Framework for Data-Driven Decision-Making Process in the Energy Sector: Insights from a Wind Farm Case Study. *Energies*, 16(17), 1–26. <https://doi.org/10.3390/en16176272>
- Korsen, E. B. H., & Ingvaldsen, J. A. (2021). Digitalisation and the performance measurement and management system: reinforcing empowerment. *International Journal of Productivity and Performance Management*. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-09-2020-0488>
- Leitao, P., Rodrigues, N., Ferreira, A., Pagani, A., Petrali, P., & Barbosa, J. (2019). A lightweight dynamic monitoring of operational indicators for a rapid strategical awareness. *2019 IEEE International Conference on Industrial Cyber Physical Systems (ICPS)*, 121–126. <https://doi.org/10.1109/ICPHYS.2019.8780228>
- Leite, L. R. (2012). Systematic literature review on performance measurement and sustainability. *American Society for Engineering Management (ASEM)*, 869–878.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Lindegren, M. L., Lunau, M. R., Mafia, M. M. P., & Ribeiro da Silva, E. (2022). Combining Simulation and Data Analytics for OEE Improvement. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, 21(1), 29–40.
- Lopes, M., & Martins, R. (2021). Mapping the Impacts of Industry 4.0 on Performance Measurement Systems. *IEEE Latin America Transactions*, 19(11), 1912–1923. <https://latamt.ieee9.org/index.php/transactions/article/view/4807>
- Lu, Y. (2017). Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*, 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>
- Mahmoodpour, M., Lobov, A., Lanz, M., Mäkelä, P., & Rundas, N. (2018). Role-based visualization of industrial IoT-based systems. *2018 14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA)*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/MESA.2018.8449183>
- Mello, R., Leite, L. R., & Martins, R. A. (2014). Is big data the next big thing in performance measurement systems? *IIE Annual Conference and Expo 2014*, 1837–1846.
- Mello, R., & Martins, R. A. (2019). Can big data analytics enhance performance measurement systems? *IEEE Engineering Management Review*, 47(1), 52–57. <https://doi.org/10.1109/EMR.2019.2900645>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., Altman, D., Antes, G., Atkins, D., Barbour, V., Barrowman, N., Berlin, J. A., Clark, J., Clarke, M., Cook, D., D'Amico, R., Deeks, J. J., Devereaux, P. J., Dickersin, K., Egger, M., Ernst, E., ... Tugwell, P. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7).

<https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>

Morella, P., Lambán, M. P., Royo, J., Sánchez, J. C., & Latapia, J. (2020). Development of a new kpi for the economic quantification of six big losses and its implementation in a cyber physical system. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(24), 1–17.

<https://doi.org/10.3390/app10249154>

Mörth, O., Emmanouilidis, C., Hafner, N., & Schadler, M. (2020). Cyber-physical systems for performance monitoring in production intralogistics. *Computers and Industrial Engineering*, 142(February), 1–10.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106333>

Nabil, D. H., Rahman, M. H., Chowdhury, A. H., & Menezes, B. C. (2023). Managing supply chain performance using a real time Microsoft Power BI dashboard by action design research (ADR) method. *Cogent Engineering*, 10(2), 1–19.

<https://doi.org/10.1080/23311916.2023.2257924>

Nader, J., Mezher, M. A., & El-Khalil, R. (2021). Towards understanding the impact of industry 4.0 technologies on operational performance: an empirical investigation in the US and EU automotive industry. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, 2807–2822.

Neely, A., Gregory, M., & Platts, K. (2005). Performance measurement system design: a literature review and research agenda. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(12), 1228–1263.

<https://doi.org/10.1108/01443570510633639>

Neto, A. A., Deschamps, F., Da Silva, E. R., & De Lima, E. P. (2020). Digital twins in manufacturing: An assessment of drivers, enablers and barriers to implementation. *Procedia CIRP*, 93, 210–215.

<https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.04.131>

Nudurupati, S. S., Bititci, U. S., Kumar, V., & Chan, F. T. S. (2011). State of the art literature review on performance measurement. *Computers and Industrial Engineering*, 60(2), 279–290.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2010.11.010>

Nudurupati, Sai S., & Bititci, U. S. (2005). Implementation and impact of IT-supported performance measurement systems. In *Production Planning and Control* (Vol. 16, Issue 2, pp. 152–162).

<https://doi.org/10.1080/09537280512331333057>

Nudurupati, Sai S., Tebboune, S., & Hardman, J. (2016). Contemporary performance measurement and management (PMM) in digital economies. *Production Planning and Control*, 27(3), 226–235.

<https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1092611>

Pekarčíková, M., Trebuna, P., Kliment, M., Kopec, J., Dic, M., & Kronová, J. (2023). Case Study : Testing the Overall Efficiency of Equipment in the Production Process in TX Plant Simulation Software. *Management and Production Engineering Review*, 14(1), 34–42.

<https://doi.org/10.24425/mper.2023.145364>

Pettigrew, A., & Whipp, R. (1993). Managing Change for Competitive Success. In *Wiley-Blackwell*. Wiley-Blackwell.

Pilar Lambán, M., Morella, P., Royo, J., & Carlos Sánchez, J. (2022). Using industry 4.0 to face the challenges of predictive maintenance: A key performance indicators development in a cyber physical system. *Computers and Industrial Engineering*, 171(July).

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108400>

Raffoni, A., Visani, F., Bartolini, M., & Silvi, R. (2018). Business Performance Analytics: exploring the potential for Performance Management Systems. In *Production Planning and Control* (Vol. 29, Issue 1, pp. 51–67).

<https://doi.org/10.1080/09537287.2017.1381887>

Raji, I. O., Shevtshenko, E., Rossi, T., & Strozzi, F. (2021). Industry 4.0 technologies as enablers of lean and agile supply chain strategies: an exploratory investigation. *International Journal of Logistics Management*. <https://doi.org/10.1108/IJLM-04-2020-0157>

Rasool, F., Greco, M., & Grimaldi, M. (2021). Digital supply chain performance metrics: a literature review. *Measuring Business Excellence*, January.

<https://doi.org/10.1108/MBE-11-2020-0147>

Reinsel, D., Gantz, J., & Rydning, J. (2018). Data Age 2025: The Digitization of the World From Edge to Core. In *Seagate, IDC* (Issue November). <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>

Rezqianita, B. L., & Ardi, R. (2020). Drivers and Barriers of Industry 4.0 Adoption in Indonesian Manufacturing Industry. *ACM International Conference Proceeding Series*, 123–128.

<https://doi.org/10.1145/3400934.3400958>

Saez, M., Maturana, F. P., Barton, K., & Tilbury, D. M. (2018). Real-Time Manufacturing Machine and System Performance Monitoring Using Internet of Things. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 15(4), 1735–1748.

<https://doi.org/10.1109/TASE.2017.2784826>

Samir, K., Khabbazi, M., Maffei, A., & Onori, M. (2018). Key Performance Indicators in Cyber-Physical Production Systems. *Procedia CIRP*, 72, 498–502.

Sandengen, O. C., Estensen, L. A., Rodseth, H., & Schjolberg, P. (2016). High Performance Manufacturing - An Innovative Contribution towards Industry 4.0. *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation (IWAMA 2016)*, 14–20. <https://doi.org/10.2991/iwama-16.2016.3>

Sardi, A., Sorano, E., Cantino, V., & Garengo, P. (2020). Big data and performance measurement research: trends, evolution and future opportunities. *Measuring Business Excellence*, June 2019.

<https://doi.org/10.1108/MBE-06-2019-0053>

Schröder, C. (2016). The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises. *The Friedrich-Ebert-Stiftung*, 28. [www.fes-2017plus.de](http://www.fes-2017plus.de)

Schwab, K. (2016). A quarta revolução industrial. In *Edipro*. Edipro.

Siddaway, A. P., Wood, A. M., & Hedges, L. V. (2019). How to Do a Systematic Review: A Best Practice Guide for Conducting and Reporting Narrative Reviews, Meta-Analyses, and Meta-Syntheses. *Annual Review of Psychology*, 70(1), 747–770.

<https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803>

Stentoft, J., Aadsbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K., & Haug, A. (2020). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning and Control*, 1–18.

<https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768318>

Supekar, S. D., Graziano, D. J., Riddle, M. E., Nimbalkar, S. U., Das, S., Shehabi, A., & Cresko, J. (2019). A framework for quantifying energy and productivity benefits of smart manufacturing technologies. *Procedia CIRP*, 80, 699–704.

Thomé, A. M. T., Scavarda, L. F., & Scavarda, A. J. (2016). Conducting systematic literature review in operations management. *Production Planning and*

*Control*, 27(5), 408–420.

<https://doi.org/10.1080/09537287.2015.1129464>

Türkeş, M. C., Oncioiu, I., Aslam, H. D., Marin-Pantelescu, A., Topor, D. I., & Căpuşneanu, S. (2019). Drivers and barriers in using industry 4.0: A perspective of SMEs in Romania. *Processes*, 7(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/pr7030153>

Venuta, M., Zambetti, M., Pirola, F., Pezzotta, G., Grasseni, P., Ferrari, M., & Salvi, S. (2021). Implementation of IoT Platform's Dashboards for the Visualisation of Dynamic KPIs: Insights from a Case Study. *Working Conference on Virtual Enterprises*, 517–525. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85969-5\\_48](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85969-5_48)

Wang, W., Zhang, Y., Gu, J., & Wang, J. (2021). A Proactive Manufacturing Resources Assignment Method Based on Production Performance Prediction for the Smart Factory. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 18(1), 46–55.

<https://doi.org/10.1109/TII.2021.3073404>

Zhou, J., Wang, Y., & Chua, Y. Q. (2020). Machine OEE Monitoring and Analysis for a Complex Manufacturing Environment. *2020 15th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA)*, 1413–1418.

<https://doi.org/10.1109/ICIEA48937.2020.9248351>