



REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: EM BUSCA DE UM MODELO DE MATURIDADE NA INDÚSTRIA 4.0

SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW: TOWARDS AN INDUSTRY 4.0 MATURITY MODEL

REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA: BUSCANDO UN MODELO DE MADUREZ EN LA INDUSTRIA 4.0

Ricardo Accorsi Casonatto ^{1*}, Maria Isabel Araújo Silva dos Santos ², & Edgard Costa Oliveira ³

^{1 2 3} Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia de Produção

^{1*} ric.accorsi@gmail.com ² santos.mias@gmail.com ³ ecosta@unb.br

ARTIGO INFO.

PALAVRAS-CHAVE: Modelo de maturidade; Indústria 4.0; Revisão Bibliográfica; TEMAC.

KEYWORDS: Maturity Model; Industry 4.0; Review of the Literature; TEMAC.

PALABRAS CLAVE: Modelo de Madurez; Industria 4.0; Revisión Bibliográfica; TEMAC.

*Autor Correspondente: Casonatto, A. R.

RESUMO

Na atualidade, comparada com a 4ª Revolução Industrial, a indústria precisa ser competitiva, inovadora e incorporar as tecnologias digitais. Esse desafio e busca por competitividade necessita de amparo diante da escalada de níveis de maturidade potenciais que uma empresa pode alcançar, o que torna essencial mensurar a maturidade empresarial. Este trabalho tem o objetivo apresentar um estudo exploratório da literatura sobre o uso do modelo de maturidade na Indústria 4.0. utilizando para tanto a Teoria de Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC) na identificação da literatura de impacto e análises bibliométricas. A partir da análise de diversos artigos encontrados, foram identificados critérios para um modelo de maturidade para a indústria 4.0, a saber: auxílio de parceiros, fornecedores e clientes, bem como mão-de-obra qualificada, uso de dados do consumidor e visão estratégica aberta à inovação. Ficou evidenciada a preocupação com as PME's nessa literatura, as quais são mais numerosas e propensas a se lançarem na indústria 4.0. Essa pesquisa também revelou a oportunidade de se desenvolver um modelo de maturidade específico capaz de atender a recente demanda por um arcabouço teórico e prático que auxilie na mensuração da maturidade de empresas na indústria 4.0.

ABSTRACT

Nowadays, compared to the 4th Industrial Revolution, the industry needs to be competitive, innovative and incorporate digital technologies. This challenge and quest for competitiveness needs support in view of the escalation of potential maturity levels that a company can reach, which makes it essential to measure business maturity. maturity in Industry 4.0. using the Consolidated Meta-Analytic Approach Theory (TEMAC) to identify impact

literature and bibliometric analyses. Based on the analysis of several articles found, criteria were identified for a maturity model for industry 4.0, namely: assistance from partners, suppliers and customers, as well as qualified labor, use of consumer data and strategic vision open to innovation. The concern with SMEs in this literature was evident, which are more numerous and prone to launch themselves in industry 4.0. This research also revealed the opportunity to develop a specific maturity model capable of meeting the recent demand for a theoretical and practical framework that helps measure the maturity of companies in Industry 4.0.

RESUMEN

Hoy en día, frente a la 4ª Revolución Industrial, la industria necesita ser competitiva, innovadora e incorporar tecnologías digitales. Este desafío y búsqueda de competitividad necesita apoyo ante la escalada de niveles de madurez potencial que puede alcanzar una empresa, lo que hace imprescindible medir la madurez empresarial en la Industria 4.0. utilizando la Teoría del Enfoque Metaanalítico Consolidado (TEMAC) para identificar la literatura de impacto y los análisis bibliométricos. Con base en el análisis de varios artículos encontrados, se identificaron criterios para un modelo de madurez para la industria 4.0, a saber: asistencia de socios, proveedores y clientes, así como mano de obra calificada, uso de datos de consumidores y visión estratégica abierta a la innovación. Era evidente la preocupación por las PYMES en esta literatura, que son más numerosas y propensas a lanzarse en la Industria 4.0. Esta investigación también reveló la oportunidad de desarrollar un modelo de madurez específico capaz de satisfacer la demanda reciente de un marco teórico y práctico que ayude a medir la madurez de las empresas en la Industria 4.0.



INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais que ocupa a posição de quinto maior do mundo em área territorial e o sexto em população, e já se posicionou entre as 10 maiores economias emergentes mundiais. Em 2015, o Brasil ocupou a sexta posição no ranking de Produto Interno Bruto (PIB) mundial, mas perdeu significativas posições ao longo dos anos, e atualmente está abaixo da décima posição. Para que ocorra a mudança deste cenário é necessário que o governo, a indústria e a academia se unam em prol do desenvolvimento econômico e social, construindo “ações que eliminem os principais obstáculos ao crescimento no país e contribuam para construir uma indústria competitiva, inovadora, global e sustentável” (CNI, 2018, 11p.). A Confederação Nacional das Indústrias (CNI) realizou, em 2016, um estudo cujo resultado mostrou que apenas 48% da amostra de empresas do setor industrial brasileiro usava alguma das tecnologias digitais (CNI, 2016). Neste cenário, para a indústria brasileira se tornar competitiva diante da Quarta Revolução Industrial, é necessário que o desenvolvimento da Indústria 4.0 esteja no centro das estratégias de políticas industriais, como já fazem as nações industrializadas. E, para isso, o Brasil é desafiado a buscar a incorporação e o desenvolvimento de tecnologias digitais para evitar o aumento do *gap* de competitividade (CNI, 2018).

O termo Indústria 4.0 foi divulgado em 2011, durante a feira de Hannover, quando o Governo Federal Alemão divulgou o Plano de Ação para a Estratégia de Alta Tecnologia 2020 (Fontanela, Santos, & Silva, 2020). A intenção foi apresentar como a Indústria 4.0 causaria uma revolução na organização das cadeias globais de valor. Assim, a Quarta Revolução Industrial foi baseada no conceito de fábricas inteligentes, onde sistemas físicos e virtuais se conectam de forma colaborativa, global e flexível, desenhando novos modelos operacionais. Também é caracterizada pela rápida e ampla difusão das tecnologias emergentes e das inovações (Schwab, 2019). Deste modo, a ideia de uma nova perspectiva de manufatura a partir do avanço tecnológico cresceu em vários outros locais e em períodos similares. Outras agências governamentais, europeias e americanas, desenvolveram iniciativas semelhantes, enquanto consultorias e especialistas de tecnologia publicaram sobre o assunto (Culot, Nassimbeni, Orzes, & Sartor, 2020).

O papel do modelo de maturidade consiste em demonstrar como ocorre o processo de evolução, as mudanças do estado inicial para o estágio maduro, seguindo determinados estágios alinhados de forma lógica, e em conformidade com o objetivo de avaliação. Deste modo, eles indicam os estágios de maturação, onde cada estágio é caracterizado e relacionado aos demais de forma específica (Kosacka-Olejnik & Werner-Lewandowska, 2018). Neste contexto, Silva e Barbalho (2019) definem os modelos de maturidade como estruturas conceituais e particionadas que indicam o estado de desenvolvimento atual de uma organização e descreve os processos que ela precisa desenvolver para atingir o nível superior, ou seja, o cenário futuro desejado. Os autores afirmam que os modelos de maturidade objetivam quantificar as atividades realizadas, para que elas se tornem mensuráveis e alcancem o estágio de maturidade.



Para contribuir na discussão sobre a Indústria 4.0, este trabalho tem como objetivo apresentar um estudo exploratório e integrador da literatura sobre o uso do modelo de maturidade na Indústria 4.0 e, para tal, utilizou a Teoria do Enfoque Meta Analítico Consolidado (TEMAC), de Mariano e Rocha (2017). Como se trata de uma pesquisa bibliográfica, a organização segue a seguinte ordem: seção 2 - Metodologia, seção 3 - Resultados e Discussões, seção 4 - Considerações Finais, e as Referências.

METODOLOGIA

De acordo com a sua finalidade, este trabalho é classificado como pesquisa aplicada, o qual capta conhecimentos sobre a utilização dos modelos de maturidade na Indústria 4.0. Deste modo, representa os conhecimentos que serão aplicados em uma situação específica (GIL, 2023). Quanto aos objetivos gerais, é uma pesquisa exploratória, responsável por selecionar e coletar informações de diversos artigos científicos já publicados sobre o tema. Utilizou-se a base de dados multidisciplinar *Web of Science (WoS)*. A abordagem quantitativa é observada na execução das 3 etapas do modelo de revisão integradora proposto por Mariano e Rocha (2017), chamado de Teoria do Enfoque Meta Analítico (TEMAC).

A pesquisa foi estruturada a partir do referencial teórico dos termos da pesquisa, e dos resultados e discussões obtidos com a execução das etapas do TEMAC: etapa 1 - preparação da pesquisa; etapa 2 - apresentação e inter-relação dos dados; e etapa 3 - detalhamento, modelo integrador e validação por evidências. Assim, foi possível identificar as publicações de impacto, conforme as leis e princípios bibliométricos, e integrar as principais contribuições da literatura através do *coupling* (acoplamento bibliográfico), que representa as principais contribuições (*fronts* de pesquisa), e do *co-citation* (co-citações), que representam as principais linhas de pesquisa dentro do tema. Dentre os vários modelos de maturidade, esta pesquisa analisou aqueles evidenciados pelo algoritmo de clusterização. As representações gráficas que ilustraram as análises foram criadas pelos *softwares online TagCrowd e VosViewer*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta seção apresenta as análises integrativas e os resultados obtidos na aplicação das três etapas do método TEMAC proposto por Mariano e Rocha (2017), explorando a construção sequencial dos dados adquiridos como base para o exercício das discussões propostas.

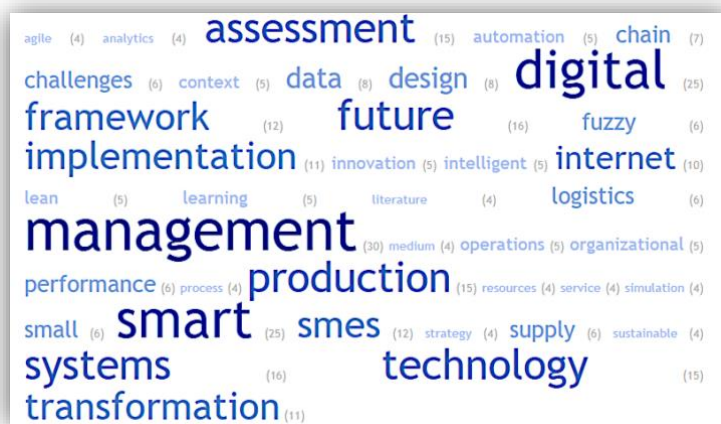
Na primeira etapa, preparação da pesquisa, foram estabelecidos os critérios de preparação da pesquisa para a obtenção de resultados pertinentes ao tema do estudo. Como ponto de partida, fez-se o uso do descritor “(‘*Readiness Model**’ OR ‘*Readiness Degree*’ OR ‘*Maturity Model**’ OR ‘*Maturity Degree*’) AND (‘*Industr* 4.0*’ OR ‘*Manufactur* 4.0*’ OR ‘*Advanced Manufac**’ OR ‘*Societ* 5.0*’ OR ‘*Smart Societ**’)” para a realização das buscas. A base de dados consultada foi a *WoS*, restringindo as pesquisas para os últimos 5 anos, além de 2023, e nas áreas de conhecimento da Engenharia Industrial e da Engenharia de Manufatura. O resultado foi de 95 artigos, os quais compõem majoritariamente a amostra desta pesquisa.



Na execução da segunda etapa do TEMAC, que compreende a apresentação e interrelação dos dados, foram aplicados os filtros bibliométricos correspondentes às leis e princípios da bibliometria, sendo elaboradas as análises das inter-relações entre os dados dos 95 artigos da amostra. Neste contexto, dentre os países que mais publicaram, destaca-se a Alemanha (23%), o Brasil (12%) e a Itália (9%) como os países com o maior número de contribuições para o tema. A Inglaterra (8%) e os Estados Unidos (7%) completam os cinco primeiros no ranking dos que mais publicam. Após analisar a evolução do tema ano a ano, percebeu-se um crescimento médio anual de cerca de 6% no número de publicações em relação ao período 2018-2022, sendo os 5 últimos anos responsáveis por cerca de 93% de todas as publicações já realizadas sobre o tema na WoS.

Restringindo para períodos ainda mais recentes, notou-se que os últimos 3 anos representaram cerca de 54% do total, reiterando o caráter atual da produção científica na área. Em relação ao contexto brasileiro, as regiões Sul e Sudeste figuram entre os locais que publicaram no território nacional nos últimos anos, mais especificamente o Paraná, com 5 publicações pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR), e Santa Catarina, com 3 publicações pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). A Pontifícia Universidade do Rio de Janeiro (PUCRJ) e o Instituto Federal de São Paulo (IFSP) formam as instituições representantes de Rio de Janeiro e São Paulo, respectivamente, cada uma com 1 publicação. Como as palavras-chave revelam características próprias de cada trabalho, permitindo agrupar os estudos e classificá-los (Mariano e Rocha, 2017), foi elaborado um diagrama de palavras, utilizando o *software online TagCrowd*, que representou os termos com maior número de frequência possibilitando a identificação das principais linhas de pesquisa, apresentado na Figura 1.

Figura 1. Mapa de frequência de palavras que identifica as principais linhas de pesquisa.



Fonte: Autores, extraído do *software online TagCrowd* (2023).

Assim, na Figura 1 foi possível perceber as principais tendências dos estudos sobre os modelos de maturidade na Indústria 4.0. Em especial, para aqueles que focaram na observação do perfil da gestão de mudanças empresarial, ou seja, como se encontram os seus processos, a sua cultura organizacional, os seus recursos e estratégias; e, também, em como a tecnologia vem sendo utilizada para aprimorar serviços e produtos frente ao



contexto em que se encontram. Conforme o esperado, houve grande repercussão da esfera digital nos estudos da amostra, podendo esta ser explicada tanto pelo processo material de conversão de fluxos analógicos de informações em bits digitais (Brennen & Kreiss, 2016), quanto de integração entre sistemas físicos e virtuais, a partir de tecnologias como *big data*, robótica avançada, computação em nuvem, impressão 3D, inteligência artificial, sistemas de conexão máquina-máquina, sensores, atuadores e softwares de gestão avançada da produção (CNI, 2018).

Nos artigos da amostra, foi possível observar o interesse científico nos modelos destinados às Pequenas e Médias Empresas (PME's), de forma a viabilizar a adesão desse grupo de entidades às mudanças promovidas pela Indústria 4.0. Vale lembrar que as PME's compõem cerca de 90% das empresas em todo o mundo, contribuindo com até 40% do Produto Interno Bruto (PIB) nas economias emergentes (*The World Bank*, n.d.). Porém, apesar do foco das linhas de pesquisas priorizarem as PME's, os autores Mittal, Khan, Romero e Wuest (2018) afirmam a inexistência de modelos que supram por completo as necessidades das PME's.

O estudo de Mittal et al. (2018), artigo com o maior número de citações dentro da amostra desta pesquisa, identificou as necessidades específicas de PME's manufatureiras, contrastando-as com os modelos de maturidade existentes na literatura e as suas limitações. Foram estabelecidas 5 fases para o processo de adequação destas empresas, de acordo com a existência de roteiros a serem seguidos, a inclusão do processo na estratégia geral da empresa e a definição do plano de ação. Quanto às especificidades a serem consideradas na construção de modelos adequados, elas devem seguir os requisitos de: a) finanças: reconhecimento das restrições financeiras individuais; b) disponibilidade de recursos técnicos: adesão a tecnologias que se encaixem nas visões/necessidades personalizadas de cada entidade; c) padrões: importância de especialistas e consultores atuantes para a garantia de manutenção dos padrões industriais; d) cultura organizacional: mentalidade e crenças adequadas para a Indústria 4.0; e) participação dos empregados: Treinamento dos funcionários e exposição a sistemas de manufatura inteligente; f) alianças: aliança com instituições acadêmicas e de pesquisa; e g) colaboração: formação de redes de colaboração ativas entre vendedores e fornecedores.

Outro artigo relevante foi o elaborado por Sjodin, Parida, Leksell e Petrovic (2018), que destacou os principais desafios e etapas para a implementação do conceito de fábricas inteligentes, tendo como base 5 fábricas de 2 fabricantes automotivos líderes no mercado. Nessa pesquisa, os autores não se restringiram ao porte da empresa, e identificaram os desafios comuns enfrentados na adesão à Indústria 4.0. São eles: a) falta de entendimento e visão comuns entre os funcionários; b) complexidade tecnológica, criando incerteza no caso de negócios; c) dificuldades em adaptar rotinas e processos de trabalho tradicionais à transformação digital; d) luta para se manter em face do rápido desenvolvimento; e) dificuldades no planejamento de longo prazo, devido à alta variabilidade; f) falta de compreensão dos potenciais benefícios da fábrica inteligente; g) estouro de dados,

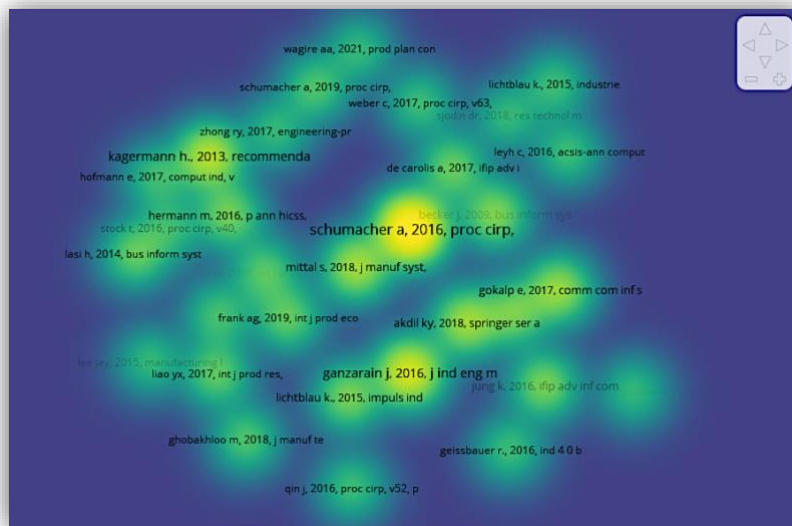


dificultando a tomada de decisões críticas; e h) falta de colaboração entre as fábricas e entre as equipes de implementação. Segundo os mesmos autores, os modelos de maturidade, bem como a transformação industrial em si deveriam focar a sua atenção em torno de três pilares abrangentes, porém críticos, que são: a) cultivar pessoas digitais; b) introduzir processos ágeis; e c) configurar tecnologias modulares, as quais devem ser implementadas gradualmente.

Como destaque entre os autores brasileiros, Tortorella e Fettermann (2018) identificaram que as práticas de produção enxuta estão positivamente associadas à adesão de tecnologias na Indústria 4.0, sendo a sua implementação simultânea um catalisador para maiores melhorias de desempenho. Neste estudo, foram analisadas 110 empresas brasileiras de diferentes portes, setores e fases de implementação da produção enxuta, e os dados foram analisados seguindo um critério de análise multivariada.

A execução da terceira etapa do TEMAC foi responsável por apresentar o detalhamento, modelo integrador e validação por evidências. Para isso, foi empregado o *software on-line VosViewer* para visualizar os indicadores implícitos nos artigos da amostra e analisar com mais profundidade a relação dos modelos de maturidade na Indústria 4.0. A análise de *co-citation* verificou aqueles artigos que foram citados juntos e apresentaram abordagens semelhantes quanto às contribuições e enfoques teóricos. Para isso, fez-se o uso de algoritmos de clusterização, separando os autores em grupos, de acordo com suas vertentes de estudo. Os resultados podem ser visualizados na Figura 2.

Figura 2. Mapa de Calor de *co-citation* por clusterização para identificar grupos de autores da mesma linha de estudo.



Fonte: Autores, extraído do *software VosViewer* (2023).

A partir da análise da Figura 2, verificou-se a existência de 3 *clusters* predominantes. O primeiro deles, liderado por Kagermann et al. (2013), Hofmann e Rusch (2017) e Zhong, Xu, Klotz e Newman (2017), se concentram na definição teórica da Indústria 4.0, assim como de



suas perspectivas e impactos. O segundo *cluster* da Figura 2, liderado por Ganzarain e Nekane (2016) e Lichtblau, Guericke e Stich (2015), investigou *frameworks* e etapas sequenciais de maturidade rumo à Indústria 4.0, possibilitando um senso de identificação do posicionamento das empresas frente aos estágios apresentados. Ganzarain e Nekane (2016) propõem um modelo processual de 3 estágios como forma de guiar e orientar organizações na identificação de novas oportunidades, porém respeitando as visões específicas e individuais de cada uma. Novamente, percebeu-se o foco na realidade das PME's.

O estágio 1, denominado Visão 4.0, fica dedicado à formação de uma visão sob medida da Indústria 4.0, levando em consideração necessidades individuais de cada organização. Especialistas externos e parceiros tecnológicos ficam responsáveis por transparecer resultados relevantes, além das melhores práticas do setor. No segundo estágio, Habilitação 4.0, define-se um portfólio de tecnologias e requerimentos necessários para auxiliar as soluções levantadas na etapa anterior, sempre levando em consideração a visão traçada. As estratégias devem ser pensadas seguindo um formato de roteiro setorial, pensando nas perspectivas referentes a: mercado, produto, processo e rede de valor. Por fim, no estágio 3, ou Promulgação 4.0, tem-se a busca pela concretização dos pontos levantados por meio de uma estratégia cronologicamente bem definida e de ações práticas.

Lichtblau et al. (2015) realizou em estudo encomendado pela Fundação IMPULS da Federação Alemã de Engenharia (VDMA) e conduzido pela *IW Consult* (filial do Instituto de Investigação Econômica de Colônia) e pelo Instituto de Gestão Industrial (FIR) da Universidade RWTH de Aachen. Este modelo utiliza a técnica de questionário online para responder um total de 21 questões sobre 6 dimensões distintas da Indústria 4.0, as quais abordam: a) estratégia e organização; b) fábrica inteligente; c) operações inteligentes; d) produtos inteligentes; e) serviços baseados em dados; e f) funcionários. Respondidas as perguntas, o modelo permite classificar a empresa em até 6 níveis distintos, indo desde o nível 0, ou Forasteiro, até o nível 5, ou Líder da Área. As barreiras para o avanço aos próximos níveis são identificadas, e medidas específicas para superá-las são informadas. Quanto maior o nível atingido, mais bem adaptada está a situação da empresa frente à Indústria 4.0.

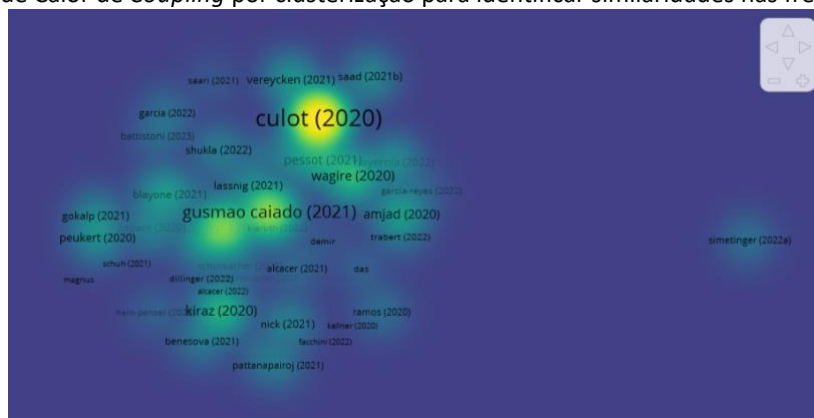
Já no terceiro cluster encontrado na Figura 2, liderado por Schumacher, Erol e Sihm (2016), percebeu-se uma complementação das discussões trazidas até então, acrescentando à pauta



novos elementos para se considerar em relação aos modelos que vêm se formando até o momento. Neste estudo foi realizado um levantamento de 5 modelos de maturidade existentes, entre eles o de Lichtblau et al. (2015), apontado como o mais bem teoricamente fundamentado e transparente, segundo os autores. Afirma-se que os demais métodos levantados não forneceram os detalhes quanto à sua construção lógica, o que impossibilitou a realização de comparações pertinentes. Então, é proposto um novo modelo, o qual acrescenta categorias complementares aos modelos prévios, retomando a atenção para a definição de critérios de fato mensuráveis em ambientes de produção reais.

As dimensões de maturidade consideradas neste modelo foram: a) estratégia; b) liderança; c) clientes; d) produtos; e) operações; f) cultura; g) pessoas; h) governança; e i) tecnologia. Sendo que cada dimensão proposta possui um item para ser avaliado a partir de perguntas objetivas, com respostas na escala de 1 (não implementado) a 5 (completamente implementado). As dimensões variam de peso entre si para o cálculo final do índice de maturidade, sendo este peso atribuído por meio da média das respostas de especialistas previamente entrevistados acerca do grau de importância de cada dimensão. Passando então para a análise de *coupling*, baseada na premissa de que artigos que citam trabalhos iguais e que, portanto, têm similaridade, foram identificados 3 *clusters* de frentes de pesquisa, ou seja, mapeou-se a produção científica no espaço-tempo estabelecido, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3. Mapa de Calor de *Coupling* por clusterização para identificar similaridades nas frentes de pesquisa.



Fonte: Autores, obtida através do software *VosViewer* (2023).

No primeiro *cluster* da Figura 3, Culot et al. (2020) identificou-se, assim como Hofmann e Rusch (2017), a falta de uma definição consolidada e universal acerca da Indústria 4.0, algo que dificulta o processo de construção teórica e comparabilidade entre trabalhos da área. O estudo retomou as origens do termo na tentativa de identificar padrões entre diferentes



conceitos da Indústria 4.0, bem como as diferentes nomenclaturas utilizadas para descrever este fenômeno. No segundo *cluster* da Figura 3, os autores Caiado, Scavarda, Gavião, Ivson, Nascimento e Reyes (2021) reafirmaram que os caminhos rumo à Indústria 4.0 não se encontram tão claros para a comunidade acadêmica. Segundo os autores, não existem ferramentas de avaliação de maturidade que evitem erros de imprecisão, incerteza e ambiguidade decorrentes do julgamento humano. Neste contexto, visando solucionar esta questão, foi proposto um modelo de maturidade construído a partir de uma abordagem multimétodo, que engloba revisão da literatura, entrevistas, grupos focais e estudos de caso, desde a sua concepção até a implementação em avaliações reais. Com o intuito de fornecer uma visão mais realista da situação da empresa avaliada, o modelo prevê o uso de lógica difusa (*fuzzy*) e de simulações Monte Carlo como forma de previsão da evolução das cadeias de suprimentos e de operações a partir dos critérios estabelecidos. As perspectivas definidas para a mensuração foram: a) cliente; b) logística; c) fornecedor; d) integração; e) planejamento e controle de produção; f) qualidade; e g) manutenção.

Por fim, no terceiro *cluster* na Figura 3, a proposta de Kiraz, Canpolat, Ozkurt e Taskin (2020) também incluiu modelos matemáticos na mensuração da Indústria 4.0. O estudo examinou 59 empresas distintas utilizando um modelo de equações estruturais. O modelo de Lichtblau et al. (2015), assim como as complementações de Schumacher et al. (2016) foram levados em consideração. Deste modo, foram utilizados 9 critérios para a elaboração de um questionário em formato objetivo, cuja escala varia de 1 a 5: a) modelo de negócios; b) produtos e serviços; c) acesso a mercados e clientes; d) cadeias de valor e processos; e) arquitetura de TI; f) conformidade, riscos e segurança; g) organização e cultura corporativa; h) liderança, estratégia, cultura e gestão; i) proteção de dados *IoT*, processamento e experiência da equipe; e j) integração de dados para análise. Na fase de análise dos resultados, o modelo considerou as correlações entre os fatores e os critérios da Indústria 4.0, sendo que 6 dos 9 critérios que afetam a Indústria 4.0 apresentam efeitos significativos positivos. Os critérios: a) liderança, estratégia, cultura e gestão; b) proteção de dados *IoT*, processamento e experiência da equipe; e c) integração de dados para análise, apesar de não serem considerados tão significativos, também apresentam influência positiva. Ressalta-se ainda que o critério acesso ao mercado e ao cliente se firmou como sendo aquele com o maior grau de impacto para um desempenho ótimo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi apresentar um estudo exploratório e integrador da literatura sobre o uso de modelos de maturidade na Indústria 4.0, o que foi alcançado por meio da execução das 3 etapas do método TEMAC. Observando os resultados obtidos, entende-se que apesar de o tema apresentar um caráter de crescimento no período analisado, este não se encontra completamente consolidado. Trata-se de um tema de pesquisa muito recente, cujos modelos estão em plena formação. Ainda assim, foi possível identificar as abordagens atuais mais promissoras para a Indústria 4.0, culminando no atingimento dos objetivos desta pesquisa. Os modelos de maturidade se provaram importantes aliados da gerência



empresarial, permitindo um entendimento do estágio vigente da empresa e das ações mais indicadas para a sua evolução. Critérios como auxílio de parceiros, fornecedores e clientes, bem como mão-de-obra qualificada, uso de dados do consumidor e visão estratégica aberta à inovação figuram entre os parâmetros recorrentes de mensuração de maturidade utilizados em diferentes abordagens. Dentre os modelos analisados, destacam-se os elaborados por Lichtblau, et al. (2015), por Ganzarain e Nekani (2016), e por Schumacher, et al. (2016) como sendo os mais impactantes. É perceptível que diversos trabalhos se comunicam entre si, complementando as discussões em prol de um modelo cada vez mais adequado às necessidades reais. Apesar disso, mesmo com a recente preocupação em relação à inclusão das PME's nos modelos de maturidade e *frameworks* rumo à Indústria 4.0, aponta-se que ainda não existem formatos capazes de se adaptar por completo às demandas específicas desse tipo de organização, sendo essa temática uma grande oportunidade de estudo para futuras linhas de pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Brennen, J. S. & Kreiss, D. (2016). Digitalization. The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy. <https://doi.org/10.1002/9781118766804.wbiect111>
- Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., Gavião, L. O., Ivson, P., Nascimento, D. L., & Reyes, J. A. G. (2021). A fuzzy rule-based industry 4.0 maturity model for operations and supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 231. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107883>
- Confederação Nacional da Indústria - CNI (2016). Desafios para a indústria 4.0 no Brasil. Distrito Federal: Brasília. Recuperado de https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/d6/cb/d6cbfbba-4d7e-43a0-9784-86365061a366/desafios_para_industria_40_no_brasil.pdf
- Confederação Nacional da Indústria - CNI (2018). Indústria e digitalização da economia. Distrito Federal: Brasília. Recuperado de <http://www.portaldaindustria.com.br/cni/canais/pr-opostas-da-industria-para-eleicoes-2018/downloads/>
- Culot, G., Nassimbeni, G., Orzes, G., & Sartor, M. (2020). Behind the definition of Industry 4.0: Analysis and open questions. *International Journal of Production Economics*, 226. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107617>
- Fontanela, C., dos Santos Araújo Silva dos Santos, M. I., & da Silva Albino, J. (2020). A sociedade 5.0 como instrumento de promoção dos direitos sociais no Brasil. *Revista Justiça Do Direito*, 34(1), 29-56. <https://doi.org/10.5335/rjd.v34i1.10904>
- Ganzarain, J. & Nekane, E. (2016). Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. *Journal of Industrial Engineering and Management - JIEM*, 9(5), 1119-1128. <https://doi.org/10.3926/jiem.2073>
- Gil, A. C. (2023). Como elaborar projetos de pesquisa. Atlas, 7. São Paulo.
- Hofmann, E., & Rusch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23-34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0. Recuperado de <https://www.din.de/resource/blob/76902/e8cac883f42bf28536e7e81659931fd/recommendations-for-implementing-industry-4-0-data.pdf>
- Kiraz, A., Canpolat, O., Ozkurt, C., & Taskin, H. (2020). Analysis of the factors affecting the Industry 4.0 tendency with the structural equation model and an application. *Computers & Industrial Engineering*, 150. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.>
- Kohlegger, M., Maier, R., & Thalmann, S. (2009). Understanding maturity models results of a structured content analysis. *Proceedings of I-KNOW '09 and I-SEMANTICS '09*, 51-61. Recuperado de <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=d4bbb80e3abd240a3a617a6f27fcd68d87e65f99>
- Kosacka-Olejnik, M. & Werner-Lewandowska, K. (2018). How mature is reverse logistics? Concept of the process and resource oriented maturity model. *ACTA Technica Napocensis*, 61(4). Recuperado de <https://atna-mam.utcluj.ro/index.php/Acta/article/view/1099/1025>
- Lavoie, D. & Culbert, A. (1978). Stages in organization development. *Journal of Interior Design*, 31(5). <https://doi.org/10.1177/001872677803100503>



- Lichtblau, K., Guericke, D., & Stich, V. (2015). IMPULS - Industrie 4.0 - Readiness. Recuperado de <https://www.industrie40-readiness.de/>
- Mariano, A. M. & Rocha, M. S. (2017). Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora. AEDEM International Conference. Recuperado de <https://www.pesquisatemac.com/files/ugd/344d4e63c8f403712b44beacb0e45f3a5a07ec.pdf>
- Mittal, S., Khan, M. A., Romero, D., & Wuest, T. (2018). A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs). *Journal of Manufacturing Systems*, 49, 194-214. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.10.005>
- Oztemel, E. & Gursev, S. (2020). Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31, 127-182. <https://doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>
- Pereira, A. C. & Romero, F. (2017). A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept. *Procedia Manufacturing*, 13, 1206-1214. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.032>
- Schumacher, A., Erol, S., & Sihn, W. (2016). A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP*, 52, 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>
- Schwab, K. (2019). A quarta revolução industrial. Edipro. São Paulo.
- Silva, I. A., & Barbalho, S. C. M. (2019). Modelos de maturidade do CMM aos modelos da indústria 4.0. Congresso Brasileiro de Inovação e Gestão de Desenvolvimento do Produto. Recuperado de https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/37046/3/EVENTO_ModelosMaturidadeCMM.pdf
- Sjodin, D. R., Parida V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation. *Research-Technology Management*, 61(5), 22-31. <https://doi.org/10.1080/08956308.2018.1471277>
- The World Bank. (n.d.). Financiamento para Pequenas e Médias Empresas (PME's). Recuperado de <https://www.worldbank.org/en/topic/sme/finance>
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2975-2987. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1391420>
- Zhong R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616-630. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.015>
-

