

## Avaliação de Maturidade da Indústria 4.0: uma escala essencial para Pequenas e Médias Empresas

Gustavo de Melo Silva

**Resumo:** Nos últimos anos, o debate em torno do fenômeno da indústria 4.0 experimentou um aumento considerável. As publicações sobre esse tema crescem a cada dia mais e todos os aspectos relacionados estão sendo discutidos. Pesquisas anteriores destacam a relevância das tecnologias no suporte a transformação na indústria 4.0. Além disso, muitas das escalas de maturidade projetadas para abordar esse tópico negligenciaram a área relacionada a gestão de pessoas e concentraram sua atenção na parte das tecnologias. Soma-se o fato das ferramentas em sua maioria serem direcionadas as grandes empresas, as PME's encontraram dificuldades no uso das ferramentas. Este trabalho de pesquisa visa fornecer uma nova escala de maturidade para PME's. Para elaborar a nova escala de maturidade, primeiramente este trabalho faz uma revisão dos principais modelos de maturidade da indústria 4.0 disponíveis na literatura. Em seguida, partindo dessa análise, uma nova escala de maturidade é proposta e discutida.

**Palavras chave:** Indústria 4.0, Digitalização, *Smart Manufacturing*, Modelo da Maturidade.

## Assessing Industry 4.0: An essential scale for Small and Medium Enterprises

**Abstract:** In the last few years, the debate surrounding the industry 4.0 phenomenon has experienced a considerable increase. Publications on this topic are booming and all related aspects are being discussed. Previous research highlights the relevance of technologies in supporting the transformation to Industry 4.0. Moreover, many of the maturity scales designed to address this topic, neglected the area related to the personnel, focusing their attention mostly on the technological part. In addition to the fact that most tools are aimed at large companies, SMEs have found it difficult to use the tools. This research paper aims to provide a new maturity scale for SMEs. In order to realise the new maturity scale, firstly this paper carries out a review of the main Industry 4.0 maturity models available in the literature. Then, moving from this analysis, a new essential maturity scale is proposed and discussed.

**Key-words:** Industry 4.0, Digitalisation, Smart Manufacturing, Maturity Model

### 1. Introdução

O termo indústria 4.0 apareceu pela primeira vez em 2011 em Hannover, na Alemanha, para favorecer o desenvolvimento de empresas de manufatura de alta tecnologia (HERMANN & PENTEK, 2015)(SCHRAUF & BERTTRAM, 2016). Dentre alguns dos benefícios oferecidos pela implementação da indústria 4.0 podemos citar o aumento de eficiência, aumento da satisfação das demandas dos clientes. Portanto, a indústria 4.0 é uma oportunidade e um desafio para as grandes empresas, bem como para as pequenas e médias empresas (PME's) (SOMMER, 2015) e muda todos os aspectos gerenciais (KALTENBACH et al., 2018). Além disso, mesmo que seja uma das poucas possibilidades que as empresas têm para obter uma vantagem competitiva a longo prazo (BIEGLER et al., 2018), nem todas as empresas realmente entendem o que a indústria 4.0 significa para elas (BIBBY & DEHE, 2018). Portanto, é óbvio como esse tópico atraiu a atenção de pesquisadores e formuladores de políticas. Desde sua introdução inicial, uma série de conceitos da indústria 4.0 continuam se espalhando. Essa

heterogeneidade é evidente ao observar os diversos planos governamentais implementados para impulsionar o crescimento econômico desses países (TROTТА & GARENGO, 2018). No entanto, apesar de tais expectativas, atualmente, ainda não existe uma definição da indústria 4.0 que seja unânime.

Juntamente com as oportunidades, a indústria 4.0 apresenta sérios desafios (SEIFERT, 2018). A introdução de sistemas interconectados influencia fortemente a maneira como os negócios são conduzidos e a maneira como os funcionários trabalham. Alguns estudos preveem que a automação resultante da implementação da indústria 4.0 retire entre 400 e 800 milhões de empregos (MANYIKA et al., 2017). Portanto, questões importantes surgem a respeito do futuro do trabalho. A literatura em torno da gestão de recursos humanos destacou as práticas gerenciais que desempenham um papel crucial na definição de empresas de sucesso. O trabalho dos funcionários nas empresas do setor 4.0 ainda é mais crítico, especialmente para os trabalhadores envolvidos na produção. As máquinas se tornam o novo foco, bem como a manutenção das mesmas para evitar qualquer interrupção na produção.

O gerenciamento de recursos humanos parece desempenhar um papel crucial nas empresas do setor 4.0. No entanto, faltam pesquisas atuais sobre o tema e muitas escalas de maturidade desenvolvidas por pesquisadores negligenciaram essa área, colocando mais ênfase na estratégia e, principalmente, na tecnologia. Os modelos de maturidade são essenciais porque permitem vincular “o conhecimento organizacional e operacional a novos conceitos e torná-lo acessível” (ROBEL et al., 2018). Além disso, alguns dados empíricos na pesquisa sobre a indústria 4.0 nas PME's destacaram as dificuldades encontradas na transição para a indústria 4.0 e alguma preocupação em usar ferramentas projetadas para empresas maiores (TROTТА, 2018). Quatro insights principais foram destacados:

- 1) Os profissionais que atuam em PME's estão insatisfeitos com as atuais escalas de maturidade;
- 2) As ferramentas atuais desenvolvidas para grandes empresas são difíceis para as PME's interpretarem;
- 3) As PME's que implementam a indústria 4.0 geralmente são empresas da “indústria 2.0” ou se deslocam entre 2.0 e 3.0;
- 4) A escassez de mão-de-obra e as habilidades são um dos maiores desafios para as PME's.

Para preencher as lacunas acima, este documento fornece uma escala de maturidade que pode apoiar as PME's na avaliação e implementação da indústria 4.0. Após esta parte introdutória, o artigo fornece uma revisão bibliográfica das escalas de maturidade disponíveis. As escalas são analisadas para destacar as dimensões utilizadas, bem como identificar lacunas. A terceira seção divulga informações sobre a metodologia seguida para construir a escala de maturidade. A quarta seção resume todas as dimensões e os principais itens contidos nas escalas. A quinta e última seção fornece as conclusões deste estudo, bem como algumas oportunidades para pesquisas futuras.

#### a) Definição da indústria 4.0 adotada neste estudo

A comunidade de pesquisa não alcançou um consenso unânime em relação à definição da indústria 4.0 e vários autores levantaram preocupações com essa falta de acordo (HOFMANN et al., 2018). Para esclarecer, este estudo adota a definição abaixo:

“A indústria 4.0 é um novo modelo organizacional baseado na implementação de várias tecnologias quais sejam, nuvem, manufatura aditiva, cibersegurança, big data analytics, simulação, realidade aumentada, integração horizontal e vertical e que trabalham juntas para melhorar o desempenho organizacional. Reconhece-se, portanto, que o setor 4.0 possui potencial perturbador, especialmente por suas consequências para os funcionários. Nesse contexto, o gerenciamento de funcionários é um fator essencial para se beneficiar totalmente da indústria 4.0 ”.

## 2. Revisão da Literatura

Esta revisão de literatura visa identificar os principais modelos de maturidade que avaliam a indústria 4.0. As escalas de maturidade atualmente presentes na literatura são, em sua maioria, ferramentas criadas por empresas de consultoria; essas escalas de maturidade são mais numerosas do que as fornecidas pelos acadêmicos. A proliferação das escalas de maturidade dos consultores tem diferentes motivos: por um lado, as empresas de consultoria pressionaram pela adoção indústria 4.0 logo após seu nascimento. Por outro lado, alguns dos trabalhos que inspiraram pesquisadores a investigar melhor o tópico Indústria 4.0, vêm de consultores. Nessa perspectiva, as empresas de consultoria são as “pioneiras”, o tempo foi um dos fatores cruciais para a expansão das escalas de maturidade, devido aos tempos mais longos exigidos pelas publicações acadêmicas. No entanto, essas escalas não são robustas o suficiente para atender às especificações científicas. Portanto, para fornecer uma base científica confiável para este estudo, apenas os artigos incluídos em periódicos ou conferências revisados por pares poderiam ser inseridos nesta pesquisa. Para aumentar o conhecimento geral sobre o tema, foram adotadas algumas das escalas de maturidade mais utilizadas nas atualidades (Tabela 1):

| Modelo de Maturidade                    | Ano  |
|-----------------------------------------|------|
| PriceWaterhouseCoopers                  | 2017 |
| Accenture                               | 2016 |
| Digital Transformation Group            | 2015 |
| McKinsey                                | 2015 |
| IMPULS                                  | 2016 |
| The Connected Enterprise Maturity Model | 2016 |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 1 – Escalas de Maturidade mais Utilizadas

Em 2011, após a introdução do conceito Indústria 4.0 na Conferência de Hannover, estudiosos pertencentes a diferentes disciplinas (por exemplo, Ciência da Computação e Engenharia) começaram a investigar o tópico e a criar um Sistema Físico Cibernético. As contribuições dos estudiosos da administração ainda estão atrasadas. No entanto, embora nos últimos anos a pesquisa com cientistas da administração tenha dobrado, a quantidade de contribuições permanece sensivelmente menor do que as outras duas disciplinas. Por esse motivo, para coletar informações em foco, a consulta realizada no banco de dados Scopus limitou-se às categorias Gestão de negócios e Contabilidade. Ao fazer isso, foi possível incluir estudos sobre a indústria 4.0 que não estavam adotando uma perspectiva meramente tecnológica.

Para encontrar os documentos de escalas de maturidade, os autores realizaram uma consulta

no banco de dados Scopus, sem colocar limitações na data de publicação. A Tabela 2 resume os parâmetros usados para a consulta. Como resultado, a consulta resultou em 59 documentos.

| Base de Dados       | Scopus                                                            |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Termos de pesquisa  | "Industry 4.0" and (maturity or scale or assessment or readiness) |
| Idioma              | Inglês                                                            |
| Categoria           | Negócios, Gestão e Contabilidade                                  |
| Ano                 | Ilimitado                                                         |
| Tipo de Documento   | Todos                                                             |
| Total de Documentos | 59                                                                |

Fonte: Elaborado pelo autor  
Tabela 2. Parâmetros de Pesquisa

A etapa subsequente foi a classificação dos documentos recuperados. Os artigos coletados foram avaliados quanto à consistência com o tema da pesquisa, a fim de selecionar apenas os artigos que possam contribuir efetivamente para esta pesquisa. A classificação foi necessária devido ao desenvolvimento heterogêneo do campo, com pesquisadores analisando a indústria 4.0 sob diferentes perspectivas. Apesar da seleção cuidadosa das palavras-chave da consulta, dos 59 documentos recuperados, apenas 14 artigos continham uma escala de maturidade da indústria 4.0 ou uma escala de avaliação.

O prelúdio desta segunda seção destacou a relevância das escalas de maturidade criadas pelos consultores. Algumas contribuições científicas analisaram as escalas de maturidade dos consultores até a definição mais reconhecida do que é a Indústria 4.0, vem de um artigo escrito por um consultor (HERMANN & PENTEK, 2015). Apesar deste fato, a indústria 4.0 "ainda está em sua infância" (STRANGE & ZUCHELLA, 2017), as PME's que implementam a indústria 4.0 estão enfrentando muitos desafios, como lidar com tecnologias e níveis de maturidade inferiores em comparação a uma corporação maior (SOMMER, 2015). Desafios adicionais emergem do lado da Gestão de Recursos Humanos (GRH), com as habilidades dos trabalhadores e os custos trabalhistas associados aos funcionários trabalhando em uma configuração da indústria 4.0 (STRANGE & ZUCHELLA, 2017).

O primeiro modelo de maturidade recuperado em ordem de tempo do banco de dados científico relacionado à consulta realizada, é o trabalho realizado por (GANZARAIN & ERRASTI, 2016). Os autores forneceram um modelo para orientar a implementação da Indústria 4.0, organizada em três etapas e cinco etapas. Os três estágios são prever, ativar e ativar, enquanto cada um desses estágios tem cinco etapas. Esse modelo de maturidade não coloca nenhuma ênfase no lado gerencial, mas presta atenção aos aspectos culturais, habilidades e empresas de tecnologias possuem.

Um dos exemplos de trabalho enfocando pouco a perspectiva gerencial, é o modelo de maturidade SIMMI 4.0 (LEYH et al., 2016) (LEYH et al., 2017). Embora esse modelo pretenda avaliar o sistema de TI, é interessante observar uma tendência que está ocorrendo dentro desse fluxo de pesquisa: comparando a digitalização com a Indústria 4.0.

Samaranayake et al. (2018) também destacam a relevância tecnológica e a prevalência presente nas escalas de maturidade, identificando os fatores facilitadores que influenciam a

prontidão tecnológica. Apesar de focar nas tecnologias, o artigo identifica a importância de manter uma equipe motivada para se destacar na formação de habilidades. No que diz respeito à importância de uma equipe motivada, o trabalho de Röbel (2018) identifica nove "blocos de construção" para constituir um novo modelo de negócios que se estende da adoção da Indústria 4.0. Além disso, Samaranayake et al. (2018) sugerem levar em consideração esses fatores ao discutir a estratégia para implementação da indústria 4.0. A cooperação com máquinas também é indicada como um dos facilitadores da indústria 4.0 (SCHAGERL et al., 2016).

O centrismo tecnológico ainda emerge em Basl (2018); os resultados de uma pesquisa realizada por Frolov et al. (2017) com 147 entrevistados também reforçam a centralidade das tecnologias. A importância dos funcionários e a gestão de recursos humanos é negligenciada em favor da otimização da produção, automação, rede e digitalização. Habilidade é o único tópico relacionado à GRH que aparece em uma análise SWOT desenvolvido na pesquisa realizada por Frolov et al. (2017). No entanto, a repercussão que a indústria 4.0 exerce sobre o emprego (por exemplo, mudanças na natureza do trabalho) parece ser delegada ao público político.

Coletar insights de cinco fábricas inteligentes (SJODIN et al., 2018) é uma das primeiras tentativas focadas também nos funcionários. Além disso, o papel crucial dos funcionários aparece na forma de garantir o crescimento de uma cultura digital durante toda a implementação da fabricação inteligente. Além disso, a "falta de entendimento e visão comuns entre os funcionários" (SJODIN et al., 2018) parece ser o desafio mais relevante para as empresas que estão migrando para a fabricação inteligente. Junto com isso, o estudo também apoia o papel crucial da obsolescência de habilidades e a necessidade de mantê-las atualizadas. As habilidades, assim como o gerenciamento de mudanças, são um dos fatores críticos de sucesso identificados por Biegler et al. (2018). O compromisso também parece ser crucial para promover a inovação da empresa (BIEGLER et al., 2018).

A cultura é um tema recorrente também para Kaltenbach et al., (2018), cujo estudo identifica seis dimensões relevantes (ou seja, processo de desenvolvimento de produtos, direção e controle, operação e fabricação, integração de big data, estrutura organizacional e serviços inteligentes). No entanto, não é possível encontrar mais informações sobre itens ou dimensões relacionadas à "Estrutura da organização", pois o documento não os contém. Canetta et al., (2018) identifica cinco dimensões para avaliar a maturidade da indústria 4.0 (ou seja, estratégia, processos, tecnologias, serviços de produtos e pessoas), utilizando 36 perguntas. No entanto, os itens não são fornecidos. Portanto, conclusões sobre a maneira como "pessoas" se referem ao tópico de GRH não são possíveis neste estágio. Quanto à importância das pessoas e da cultura, é também o trabalho de Bibby & Dehe (2018), que desenha uma estrutura conceitual sobre a indústria 4.0 que inclui as dimensões mencionadas acima.

Oposto à premissa deste artigo Basl (2018), encontra Liderança, Estratégia, Cultura Corporativa e Recursos Humanos como os tópicos mais discutidos pelos trabalhos sobre escalas de maturidade. No entanto, embora deva ficar claro neste momento, vale a pena notar que, muitas vezes, quando "pessoas" ou "cultura" aparecem nas escalas de maturidade, são brevemente e apenas superficialmente analisadas, longe de resultar em uma boa compreensão do fenômeno da Indústria 4.0 e seu efeito sobre os funcionários.

A Tabela 3 resume as principais informações sobre as escalas de maturidade, bem como as

dimensões que caracterizam cada escala.

| <b>Autores</b>            | <b>Dimensões</b>                                                                                                                                             |
|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ganzarain et al., 2016    | Envision, Enable, Enact                                                                                                                                      |
| Leyh et al., 2017         | Fase 1 - Nível básico de digitalização                                                                                                                       |
|                           | Etapa 2 - Digitalização interdepartamental                                                                                                                   |
|                           | Etapa 3 - Digitalização horizontal e vertical                                                                                                                |
|                           | Etapa 4 - Digitalização completa                                                                                                                             |
|                           | Etapa 5 - Digitalização completa otimizada                                                                                                                   |
| Samaranayake et al., 2018 | Dimensão 1 (D1)                                                                                                                                              |
|                           | Estabilidade da Internet Promova negócios on-line                                                                                                            |
|                           | Desenvolver e melhorar a comunicação online                                                                                                                  |
|                           | Dimensão 2 (D2)                                                                                                                                              |
|                           | Desenvolver habilidade e capacidade em sistemas de simulação                                                                                                 |
|                           | Desenvolver a habilidade e a capacidade do pessoal usar novas tecnologias e conhecimentos                                                                    |
|                           | Melhorar o conhecimento, habilidades e capacidades dos cientistas de dados                                                                                   |
|                           | Ajudar os pesquisadores de desenvolvimento de tecnologia a aplicar outros conhecimentos para serem usados juntos, ciência, tecnologia, inovação, etc         |
|                           | Motivar os funcionários das organizações a obter novos conhecimentos                                                                                         |
|                           | Dimensão 3 (D3)                                                                                                                                              |
|                           | Desenvolva a capacidade da máquina para usar alta tecnologia                                                                                                 |
|                           | Desenvolver sensores sem fio de baixa energia                                                                                                                |
|                           | Desenvolver sistema de recebimento e envio de dados no dispositivo                                                                                           |
| Schagerl, 2016            | Dados, Inteligência, Transformação digital                                                                                                                   |
| Kaltenbach, 2018          | Processo de desenvolvimento de produtos, direção e controle, operação e fabricação, integração de big data, estrutura organizacional e serviços inteligentes |
| Biegler, 2018             | QCA 1 - Estratégia                                                                                                                                           |
|                           | QCA 2 - Tecnologia                                                                                                                                           |
|                           | QCA 4 - Apoio dos ecossistemas à inovação                                                                                                                    |
|                           | QCA 3 - Capacidade de inovação                                                                                                                               |
|                           | QCA 5 - Habilidades e gerenciamento de mudanças                                                                                                              |
| Bittinghofer, 2018        | Organização de processos, Big data, Serviços inteligentes, Manufatura e operações, Direção e controle, Processo de desenvolvimento de produtos               |
| Canetta, 2018             | Estratégia, Pessoas, Processos, Tecnologias, Produtos e Serviços                                                                                             |
| Bibby, 2018               | Fábrica do futuro, Pessoas e cultura, Estratégia                                                                                                             |
| Basl, 2018                | - Aplicativos - ERP, PME, APS, WMS, aplicativos móveis, big data, AI                                                                                         |
|                           | - Conectividade - banda larga, redes sociais, nuvem,                                                                                                         |
|                           | - Digitalização - IoT, wearables, robótica, VR e AR, gêmeos digitais                                                                                         |
|                           | - Transversal - segurança                                                                                                                                    |
| Röbel, 2018               | Parceiro, Atividades, Recursos, Proposta de valor, Relacionamento com o cliente, Segmento do cliente, Canais, Estrutura de custos, Fonte de receita          |

Tabela 3 - Modelos de Maturidade Revisados

### 3. Metodologia para desenvolvimento de um modelo de maturidade

A metodologia relativa à forma como as escalas de maturidade são projetadas é de suma importância. Em um ambiente científico metodologia e clareza envolvem ações científicas, no entanto, muitas das escalas de maturidade disponíveis sofrem de uma metodologia que geralmente é oculta ou apenas parcialmente divulgada. Especialmente, as escalas de maturidade fornecidas pelas empresas de consultoria não fornecem muitos detalhes sobre a forma como as escalas foram criadas, resultando em alguma sombra que cobre o processo de identificação das dimensões da escala de maturidade. Consequentemente, essas deficiências reforçam a escolha de excluir escalas de maturidade projetadas pelos profissionais e considerá-las apenas para aumentar o conhecimento geral dos autores. O uso de tais escalas para definir e projetar as escalas poderia ter prejudicado a confiabilidade do estudo.

Para superar essas deficiências, a escala de maturidade proposta nesta pesquisa baseia-se no modelo de Becker et al., (2009) sobre como construir escalas de maturidade. De acordo com Becker et al., (2009), existem seis etapas para garantir que uma escala de maturidade seja suficientemente robusta (isto é, definição de problema, comparação de modelos de maturidade existentes, determinação da estratégia de desenvolvimento de modelo, avaliação de conceito, implementação e avaliação). A Figura 1 mostra as diferentes fases necessárias para o desenvolvimento de um modelo de maturidade.

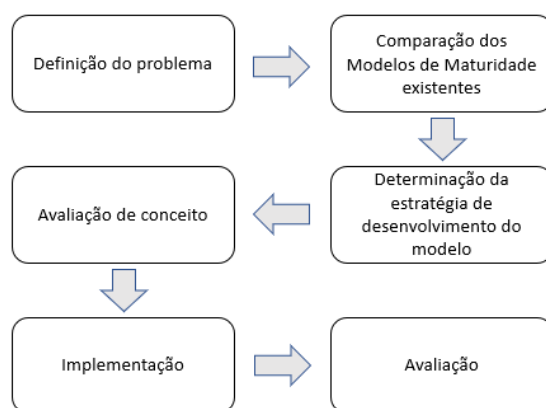


Figura 1 – Modelo para desenvolvimento de escalas de maturidade adaptado de Becker (2009)

- Fase 1. "Definição do problema" começa com o esclarecimento dos objetivos dos pesquisadores e serve para enquadrar melhor as análises subsequentes. Para definir melhor a definição do problema e verificar se os interesses do pesquisador atendia aos interesses dos praticantes em campo, foram entrevistadas quatro profissionais de empresa que atua no setor de manufatura. Cada entrevista durou entre 40 minutos e uma hora. As entrevistas foram semiestruturadas e a conversa se concentrou em alguns pontos. Os resultados das entrevistas confirmaram o papel crucial desempenhado pelos funcionários e a necessidade da empresa avaliar mais do que apenas a maturidade tecnológica da empresa.
- Fase 2. "Comparação de modelos de maturidade existentes" trata do estudo dos modelos de maturidade anteriores. A Tabela 3 já fornece evidências sobre a análise dos modelos.
- Fase 3. "Estratégia de desenvolvimento do modelo" se espalha a partir da análise dos

modelos para apoiar o desenvolvimento do novo.

- Fase 4. “Avaliação de conceito” é necessária para verificar a qualidade do modelo criado e corrigir eventuais deficiências. No caso deste artigo, o modelo não foi testado em função do tempo disponível para o mesmo.
- Fase 5. “Implementação” é a transferência real do modelo da teoria para a avaliação da maturidade da empresa. A escala de maturidade proposta pode ser facilmente acessada e realizada via internet ou correio. Apesar do processo de responder às perguntas ser facilitado, recomenda-se a discrição do espectador.
- Fase 6 “Avaliação” é o momento em que o resultado final do modelo é avaliado e aceito ou eventualmente rejeitado.

#### 4. Modelo de Maturidade

Esta seção fornece informações sobre o Modelo de Maturidade criado para apoiar a implementação da Indústria 4.0 nas PME's. O segundo passo para o desenvolvimento de escalas de maturidade (Figura 1) dizia respeito à análise do campo, a fim de recuperar modelos de maturidade sobre a indústria 4.0. A revisão dos modelos de maturidade descritos na seção 2 apoiou a identificação das principais dimensões utilizadas nesses modelos de maturidade. Além disso, foi possível definir as cinco dimensões principais do modelo de maturidade (ou seja, estratégia, tecnologia, produção, produtos, pessoas), para cada uma das dimensões identificadas é fornecida uma breve explicação (Tabela 4).

| Dimensão   | Objetivo                                                                                                         |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estratégia | Identificar a estratégia atualmente adotada pelas empresas relacionadas à implementação da Indústria 4.0         |
| Tecnologia | Identificar o nível de implementação de tecnologias da Indústria 4.0 nas empresas                                |
| Produção   | Identificar de que maneira as tecnologias permitem que a produção fique mais orientada para a Indústria 4.0      |
| Produtos   | Identificar as funcionalidades dos produtos e sua capacidade de processar e trocar informações de forma autônoma |
| Pessoas    | Identificar as práticas de gestão de recursos humanos realizadas para apoiar a implementação da Indústria 4.0    |

Tabela 4 – dimensões e Objetivos do Modelo de maturidade

Apesar de modelos complexos de maturidade estarem presentes na literatura, as PME's estão enfrentando dificuldades no uso dessas ferramentas, pois são projetadas para empresas maiores. A necessidade de uma ferramenta abrangente, porém legível, para avaliar a Indústria 4.0, resultou no desenvolvimento de uma escala essencial para apoiar a implementação da Indústria 4.0, seguindo o lema “menos é mais”.

Os itens de cada dimensão são apresentados como uma escala Likert variando de 1 a 5, onde 1 não está implementado / não está presente e 5 está completamente implementado / presente (Tabela 5).

| Dimensão   | Itens                                                                  |
|------------|------------------------------------------------------------------------|
| Estratégia | S1: Você tem uma estratégia para implementar a Indústria 4.0?          |
|            | S2: Você tem um oficial técnico digital?                               |
| Tecnologia | T1: você implementou big data?                                         |
|            | T2: Você implementou a fabricação em nuvem?                            |
| Produção   | Pr1: Suas máquinas trocam dados automaticamente?                       |
|            | Pr2: Você é capaz de produzir em pequenos lotes?                       |
| Produtos   | Pd1: Seu produto possui sensores integrados?                           |
|            | Pd2: Seus produtos são capazes de coletar dados sobre o uso deles?     |
| Pessoas    | Pe1: Você treina seus funcionários regularmente?                       |
|            | Pe2: Seus funcionários aceitam novas tecnologias?                      |
|            | Pe3: Você tem um recrutador dedicado às necessidades da Indústria 4.0? |

Fonte: Elaborado pelo Autor

Tabela 5 – Alguns itens presentes na Escala de Maturidade Proposta

O método de pesquisa é a abordagem mais adequada para coletar dados e avaliar a maturidade do setor 4.0. No entanto, devido às dificuldades que as PME's geralmente enfrentam no gerenciamento de tais ferramentas, a supervisão de um especialista pode melhorar a compilação da pesquisa. Assim, resultando em uma pontuação mais confiável que é o ponto de partida da análise.

Os dados da pesquisa foram então analisados e um gráfico de radar projetado para ajudar os profissionais a entender visualmente sua maturidade. A Figura 2 fornece um exemplo de um gráfico de radar resultante dos dados obtidos pela escala de maturidade. O gráfico de radar é facilmente calculado como a média dos itens para cada dimensão. Além disso, o gráfico de radar permite que as empresas visualizem sua maturidade e, com base nesse saída, planeje as atividades necessárias para aumentar o nível de maturidade.

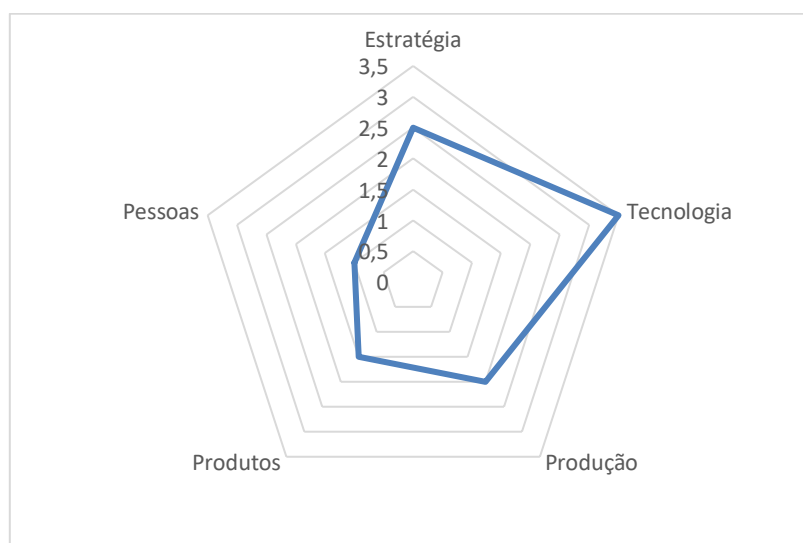


Figura 2. Exemplo de Gráfico de Radar de uma empresa utilizando o Modelo de maturidade desenvolvido

## 5 – Resultados e discussões

Este artigo forneceu informações sobre o estado da arte atual em torno da pesquisa da indústria 4.0, principalmente relacionada à proliferação de escalas de maturidade. Este trabalho de pesquisa também destacou as dificuldades encontradas pelas PME's na avaliação do nível de maturidade da indústria 4.0 usando ferramentas projetadas para grandes empresas. De fato, as publicações que investigam a indústria 4.0 com uma perspectiva gerencial estão aumentando.

No entanto, as contribuições de engenharia e ciência da computação superaram os documentos com uma perspectiva gerencial. Como resultado, as consequências são duplas. Por um lado, muitas das escalas de maturidade disponíveis foram criadas com uma perspectiva de engenharia, colocando muita ênfase nas questões tecnológicas. Por outro lado, as ferramentas frequentemente usadas pelas empresas são feitas por empresas de consultoria. Portanto, apesar da constante liberação de novas escalas de maturidade, apenas algumas dessas escalas possuem validade científica. A falta de validade ou confiabilidade científica também é indicada pela falta de detalhes sobre o processo que provocou a criação da escala; essas informações geralmente não são divulgadas ou são muito difíceis de rastrear. Além disso, as escalas enfatizam frequentemente a prontidão tecnológica das empresas. O papel crucial desempenhado pelos funcionários e pela GRH na garantia da implementação bem-sucedida da indústria 4.0 é muitas vezes negligenciado. Este artigo partiu dessas declarações investigando a literatura sobre a Indústria 4.0 em geral e, em seguida, concentrando-se nas escalas de maturidade para melhor enquadrar a pesquisa. A partir da análise dessas escalas de maturidade, foi confirmada a falta de atenção aos aspectos gerenciais e, portanto, a necessidade de preencher essa lacuna de conhecimento.

Uma escala de maturidade foi criada respeitando as etapas fornecidas por Becker et al., (2009), para estabelecer uma abordagem robusta. A evidência dessas etapas foi fornecida na seção 3, Metodologia. O modelo de maturidade criado suporta a implementação da Indústria 4.0, especialmente nas PME's, que frequentemente lidam com contingências diferentes das grandes empresas.

O modelo proposto permite às empresas verificar sua maturidade e planejar ações para melhorar sua maturidade. Pesquisas adicionais podem melhorar a qualidade do modelo proposto, expandindo a lista de itens emergentes da coleta de feedback no local. A investigação empírica da posição filosófica do artigo, focada na criação de escalas de maturidade da Indústria 4.0, fornecerá uma base sólida para o desenvolvimento desse campo de pesquisa.

## Referências

BASL, J. **Analysis of industry 4.0 readiness indexes and maturity models and proposal of the dimension for enterprise information systems**, vol. 327. 2018.

BECKER, J.; KNACKSTEDT, R. Developing Maturity Models for IT Management, **Business & Information Systems Engineering**, vol. 1, no. 3, pp. 213–222, 2009.

BIBBY, L.; DEHE, B. Defining and assessing industry 4.0 maturity levels—case of the defence sector, **Production Planning and Control**, 2018.

BIEGLER, C.; STEINWENDER, A.; SALA, A.; SIHN, W.; ROCCHI, V. Adoption of Factory of the Future Technologies, in **2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings**, 2018.

CANETTA, L.; BARNI, A.; MONTINI, E. Development of a Digitalization Maturity Model for the Manufacturing Sector, in **2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings**, 2018.

FROLOV, V.; KAMINCHENKO, D.; KOVYLKIN, D.; POPOVA, J.; PAVLOVA, A. The main economic factors of sustainable manufacturing within the industrial policy concept of industry 4.0, **Academy of Strategic Management Journal**, vol. 16, no. Special issue, 2017.

GANZARAIN, J.; ERRASTI, N. Three stage maturity model in SME's towards industry 4.0, **Journal Industrial Engineering Management**, vol. 9, no. 5, pp. 1119– 1128, 2016.

HERMANN, T.; PENTEK, M. Design principles for industrie 4.0 scenarios: a literature review, **no. 01**, p. 15, 2015.

HOFMANN, C.; LAUBER, S.; HAEFNER, B.; LANZA, G. Development of an agile development method based on Kanban for distributed part- time teams and an introduction framework, in **Procedia Manufacturing**, 2018, vol. 23, pp. 45–50.

KALTENBACH, F.; MARBER, P.; GOSEMAN, C.; BOLTS, T.; KUHN, A. Smart Services Maturity Level in Germany, in **2018 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Innovation, ICE/ITMC 2018 - Proceedings**, 2018.

LEYH, C.; BLEY, K.; SCHAFFER, T.; BAY, L. The application of the maturity model simmi 4.0 in selected enterprises, in **AMCIS 2017 - America's Conference on Information Systems: A Tradition of Innovation**, 2017, vol. 2017–August.

LEYH, C.; T. SCHAFFER, T.; FORSTENHAUSLER, S. SIMMI 4.0 - Proposal of a maturity level model for the classification of the enterprise-wide application system landscape with focus on Industry 4.0 | SIMMI 4.0- Vorschlag eines Reifegradmodells zur Klassifikation der unternehmensweiten Anwendungssystemlan," in **Multikonferenz Wirtschaftsinformatik, MKWI 2016**, 2016, vol. 2, pp. 981–992.

MANYIKA, J.; LUND, S.; CHUI, M.; BUGHIN, J.; WOETZEL, J. Jobs lost, jobs gained: What the future of work will mean for jobs, skills, and wages, <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages>, 2017.

ROEL, S.; EMRICH, A.; Klein, S.; LOSS, P. A maturity model for business model management in industry 4.0, in **MKWI 2018 - Multikonferenz Wirtschaftsinformatik**, 2018, vol. 2018–March, pp. 2031–2042.

SAMARANAYAKE, P.; RAMANATHAN, K.; LAOSIRIHONGTHONG, T. Implementing industry 4.0 - A technological readiness perspective, **IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management**, vol. 2017–December, pp. 529– 533, 2018.

SCHAGERL, M.; JODLBAUER, H.; BRUNNER, M. "Readiness model for industry 4.0 - The path to digital transformation | Reifegradmodell industrie 4.0 – Der weg zur digitalen transformation," **Productivity Management**, vol. 21, no. 4, pp. 40–42, 2016.

SCHRAUF, S.; BERTTRAM, P. Industry 4.0: How digitization makes the supply chain more efficient, agile, and customer-focused. **Strategy & Technology**, p. pg. 1-32, 2016.

SEIFERT, R. Three Key Questions You Will Not Escape for Innovations, **Imd**, p. 4, 2018.

SJODIN, D.; PARIDA, V.; LEKSELL, M.; PETROVIC, A. Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies **Research Technology Management**, vol. 61, no. 5, pp. 22–31, 2018.

SOMMER, L. Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?, **Journal Industrial Engineering Management**, vol. 8, no. 5, pp. 1512–1532, 2015.

STRANGE, R.; ZUCCHLELLA, A. Industry 4.0, global value chains and international business," **Multinational Business Review**, vol. 25, no. 3, pp. 174– 184, 2017.

TROTTA, D. **Managing Employees in Industry 4.0 Manufacturing Small and Medium Enterprises**, University of Padua (Italy), 2018.

TROTTA, D.; GARENGO, P. Industry 4.0 key research topics: A bibliometric review, 2018 **7th International Conference Industrial Technology Management ICITM 2018**, vol. 2018–January, pp. 113–117, 2018.