

Por onde começar? Estudo de caso de medição de índice de maturidade "i4.0" em uma indústria de tecnologia eletrônica

**Autores: Marcos Alfred Brehm; Fernando do Rego Barros Filho;
Carlos Henrique Coimbra Araújo**

Resumo

Afirmar que atualmente esteja ocorrendo uma “quarta revolução industrial” (associada à ideia de indústria 4.0 ou ainda i4.0) é bastante discutível. No entanto, é possível perceber várias mudanças ocorrendo nas indústrias à adoção de novas tecnologias, formas de produção e relações de trabalho. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar um método para que indústrias possam iniciar um processo de transformação digital a partir de etapas de sensibilização, diagnóstico quantitativo e definição de um *Roadmap* de transformação digital. O método proposto foi desenvolvido pela Academia Alemã de Ciência e Engenharia (*Acatech*) e define seis “níveis de maturidade i4.0” para 27 diferentes capacidades de uma empresa. A partir dos resultados levantados, foi possível perceber certos padrões nas respostas, indicando que o método aplicado foi efetivo e que pode ser útil em processos de transformação digital para definir metas e ações de melhoria.

Palavras Chave:

Indústria 4.0, maturidade, quarta revolução industrial, metodologia, estudo de caso

Abstract

Saying that a “fourth industrial revolution” is currently taking place (associated with the idea of industry 4.0 or i4.0) is quite debatable. However, it is possible to notice several changes taking place in industries regarding the adoption of new technologies, forms of production and working relationships. Thus, the aim of this paper is to present a method for industries to initiate digital transformation through stages of awareness, quantitative diagnosis and definition of a digital transformation roadmap. The proposed method was developed by the German Academy of Science and Engineering (Acatech) and defines six “i4.0 maturity levels” for 27 different capabilities of a company. The results showed certain patterns in the answers, which indicates that the applied method was effective and it can be useful in digital transformation processes to define goals and improvement actions.

Key Words:

Industry 4.0, maturity, fourth industrial revolution, methodology, case study

1. Introdução

Neste estudo, serão apresentados alguns conceitos básicos associados à indústria 4.0 (i4.0), assim como os objetivos e a justificativa para o desenvolvimento do presente trabalho.

Os termos “Indústria 4.0”; “*smart factory*”; “*intelligent factory*”; “*factory of the future*”, entre outros, são denominações que especificam uma perspectiva do que será uma fábrica no futuro (BAYGIN et al, 2016 p.02). Atualmente, nas áreas de engenharia e tecnologia industrial, quaisquer estudantes ou profissionais que tenham o mínimo contato com as novidades do mercado são bombardeados diariamente com a expressão “indústria 4.0”. O conceito vem sendo sistematicamente associado tanto a grandes promessas tecnológicas, como, por exemplo, sistemas ciber-físicos, análise de *Big Data*, ou máquinas autônomas; quanto à singelas (e já consagradas pelo tempo) soluções da indústria, como sensores, sistemas de controle e

atuadores. Em ambos os casos, essas soluções receberam o carimbo de “produto para a indústria 4.0”, iniciando um novo formato retórico para a área de vendas, em que apenas o carimbo é algo (de fato) novo.

O ponto de partida do atual discurso da “Indústria 4.0” (i4.0) foi uma projeção para o futuro do desenvolvimento econômico alemão a partir de potenciais tecnológicos já estabelecidos e com expectativa de amplas transformações na sociedade. Essa projeção foi apresentada pela primeira vez durante a feira de Hannover na primavera de 2011. O conceito anunciava uma “mudança de paradigma” industrial para a Alemanha com base em novas tecnologias digitais, que, portanto, deveriam ser implementadas sem demora. (HIRSCH-KREINSEN et al., 2016 p. 5). Desde então, o número de publicações científicas sobre temas relacionados à i4.0 também cresceu substancialmente (SAUCEDO-MARTÍNEZ et al., 2018 p.3) (KAMBLE et al., 2018 p.410).

A i4.0 representa uma mudança de paradigma da produção “centralizada” para “descentralizada”. Isso é possível a partir de avanços tecnológicos que constituem uma reversão da lógica do processo de produção convencional: as máquinas de produção industrial não mais simplesmente “processam” o produto, agora o produto se comunica com o maquinário para informá-lo exatamente o que fazer (GTAI, 2014 p.6).

A i4.0 está associada um conjunto de tecnologias de base digital que pode variar na percepção de diferentes analistas, todavia poderiam ser citadas as seguintes: sensores e atuadores; internet das coisas (IoT); big data; computação em nuvem; inteligência artificial; tecnologias de comunicação sem fio; sistemas integrados de gestão; robótica; manufatura aditiva e novos materiais (VERMULM, 2018 p 4-6). Este “pacote” de novas tecnologias permite que os projetos realizados no âmbito da i4.0 possam ser orientados sob novos princípios de desenvolvimento, a saber: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade de interação em tempo real, orientação à serviço e modularidade (LOM et al., 2016 p.1).

A partir destes elementos e conceitos, o termo i4.0 tem a pretensão de significar uma “Quarta Revolução Industrial” no mundo: a primeira revolução industrial é geralmente associada às máquinas a vapor e o início da era da indústria; a segunda revolução industrial é geralmente vista como a aplicação da eletricidade para criar produção em massa, particularmente na nova indústria automobilística; a terceira revolução industrial está geralmente ligada ao uso extensivo de eletrônicos e tecnologia da informação para automatizar a produção (BASSI, 2017).

Percebe-se que as primeiras três revoluções industriais estavam ligadas a invenções baseadas em descobertas científicas inovadoras específicas (máquina a vapor, eletricidade e sistemas de informação) e às suas respectivas primeiras aplicações em um (novo) ambiente industrial. No entanto, o conceito de quarta revolução industrial (associado à i4.0) não se mostra como uma revolução técnica ligada a uma descoberta científica inovadora específica e, provavelmente, o conceito ainda não tem fundamentos científicos suficientes para ser definido como uma “revolução”, haja vista que se trata da primeira vez em que uma revolução industrial é definida a priori e não após a sua observação concreta (BASSI, 2017 p. 1).

O Quadro 1 traz uma comparação entre as quatro (possíveis) revoluções industriais, relacionando os seguintes aspectos:

- Provável início: Posto que não haja evidências concretas de uma quarta revolução industrial (BASSI, 2017 p. 1), mas apenas indícios da possibilidade de ocorrência no futuro, a título de provocação foi considerado um intervalo de 100 anos entre cada revolução, a começar pelo ano de 1770. Esta estimativa se mostra razoável para as três revoluções anteriores, mas colocaria a quarta revolução industrial como 2070, o que contraria as expectativas de vários autores, conforme será abordado na sequência do trabalho;

- Principal área tecnológica: Enquanto nas três primeiras revoluções industriais se baseavam em sistemas mecânicos, elétricos e de informática (respectivamente) a principal área

tecnológica associada à quarta revolução industrial é a automação avançada, sob a ótica da autonomia das máquinas;

- Exemplos de tecnologias: As tecnologias associadas à quarta revolução industrial são bastante diversas e, ao contrário das revoluções anteriores, não possui uma área tecnológica estritamente definida. Destacam-se aqui a Internet das Coisas (*Internet of the things*, ou IoT) e aplicações de inteligência artificial (como *machine learning*, por exemplo);

- Novas formas de produção: Enquanto a primeira revolução industrial criou o próprio conceito de indústria, as duas revoluções posteriores aprimoraram o conceito, primeiramente criando a divisão do trabalho e a produção em linha e larga escala, através do Taylorismo e do Fordismo. A terceira revolução industrial, por sua vez, está associada a formas mais recentes de produção, como o Toyotismo, onde trabalhadores realizam múltiplas tarefas e organizam seus próprios trabalhos com foco em redução de desperdício e melhoria contínua, ou ainda o Volvismo, associado à década de 1990 e conhecido por permitir inovações e experimentações com intensa participação dos trabalhadores para aumentar o comprometimento e engajamento destes com a empresa e novos projetos;

- Novos conceitos de gestão e de produção: Neste aspecto, a primeira revolução industrial trouxe os primeiros conceitos de controle de recursos na indústria e a necessidade da manutenção corretiva, enquanto a segunda revolução trouxe conceitos e ferramentas mais elaboradas de controle industrial, como o uso de ferramentas de cálculo e esforços de manutenção preventiva. A partir da terceira revolução industrial, observou-se um cenário bastante comum nas indústrias atuais, como a globalização dos negócios, o uso de softwares ERP (*Enterprise Resource Planning*) e manutenção preditiva a partir de dados históricos dos equipamentos. Espera-se da quarta revolução industrial um cenário corporativo menos hierárquico e mais descentralizado, direcionado à sustentabilidade e processos colaborativos;

- Relações de trabalho: Enquanto a precarização do trabalho e carga horária extenuante foram o grande marco da primeira revolução industrial, a segunda revolução é associada à época da legalização e consolidação de sindicatos e à luta por direitos trabalhistas, que inicialmente eram demandas como redução de cargas extenuantes e situações críticas de trabalho, mas que na terceira revolução industrial tomaram corpo e resultaram em planos de cargos e salários e muito mais direitos trabalhistas consolidados. Para a quarta revolução industrial esperam-se mudanças no perfil dos trabalhadores e grande substituição de atividades humanas (principalmente rotineiras) por atividades de máquinas;

- Novas fontes de energia: É possível constatar algumas relações entre as revoluções industriais e a introdução de novas fontes de energia primária na matriz energética para uso humano. Avaliando-se o volume total de energia (em TWh) utilizada pela espécie humana desde o ano de 1800 até a época atual (ROSER, 2019), percebe-se que o volume de energia se relaciona à população humana, estimada em 1 bilhão de pessoas no ano de 1800 e em 7 bilhões em 2017. Percebe-se ainda que a humanidade adotou novas fontes de energia primária após cada nova revolução industrial: Após a primeira revolução industrial há aumento no uso do carvão mineral, a segunda marca o início do uso intenso do petróleo, gás natural e hidroeleticidade, enquanto a terceira revolução inaugura o uso da energia nuclear. No entanto não há como se falar em substituição de fontes primárias: pelo contrário, percebe-se a adição de novas fontes enquanto as fontes “antigas” também seguem em expansão. Espera-se que a quarta revolução industrial marque o início do uso intenso de fontes renováveis “modernas”, no entanto percebe-se que, ao menos por enquanto, estas novas fontes de energia representam uma parcela muito reduzida frente às demais fontes primárias (ROSER, 2019).

Ressalta-se que as informações contidas na última coluna do Quadro 1 possuem, de certa forma, caráter especulatório, afinal não há evidências concretas de que de fato tenha ocorrido uma quarta revolução industrial, conforme afirmado anteriormente (BASSI, 2017 p. 1).

Quadro 1 – Comparativo das quatro “revoluções industriais” Fonte: Autores

	Primeira Revolução	Segunda Revolução	Terceira Revolução	Quarta Revolução
Provável início	-A partir de 1770	-A partir de 1870	-A partir de 1970	-A partir de 2070?
Principal área tecnológica	-Mecânica	-Elétrica	-Informática	-Automação avançada
Exemplos de tecnologias	-Máquinas a vapor -Uso de aço fundido -Tear mecânico	-Motor/gerador elétrico -Motor de combustão interna -Lâmpada elétrica -Telefone / rádio	-Controlador lógico programável (CLP) -Sistemas de telecomunicações móveis -Microprocessadores -CAD/CAM	-Sistemas ciber-físicos -Internet das coisas (IoT) -Realidade Aumentada -Smart Grids e geração distribuída -I.A. e Machine learning -Computação em nuvem -Big Data e sensores -Impressão 3D
Formas de produção	-Início da maquinofatura	-Fordismo -Taylorismo	-Toyotismo -Volvismo	-Sistemas autônomos
Conceitos de produção	-Padronização dos produtos e dos processos de fabricação -Criação e desenvolvimento de quadros hierárquicos rígidos gerenciais e de supervisão	-Sistematização do conceito de produtividade -Redução de custos de produção e produção em massa -Linha de montagem, posto de trabalho, estoques intermediários	-Produção puxada, kanban, Just-in-time, uso de células de produção -Manufatura integrada por computador -Evolução dos processos de controle de qualidade	-Customização de produtos -Orientação a serviços -Controle e supervisão de produção em tempo real -Virtualização de fábrica
Tendências de gestão	-Desenvolvimento de técnicas de planejamento e controle financeiro, da produção, e de vendas -Manutenção corretiva	-Uso de ferramentas de cálculo para otimização da produção -Manutenção preventiva	-Globalização e empresas multinacionais -Início do uso de ERPs -Manutenção preditiva	-Gestão sem hierarquia (Ex. halocracia) -Sustentabilidade (triple bottom line, etc.) -Descentralização de processos -Inovação aberta e metodologias colaborativas (Ex. Living Labs)
Relações de trabalho	-Precarização do trabalho e carga horária extenuante	-Criação de sindicatos e conquista de direitos trabalhistas	-Planos de cargos e salários e direitos trabalhistas consolidados	-Mudança no perfil do trabalhador -Substituição do trabalho humano por máquinas
Novas fontes de energia	-Uso intenso de carvão mineral em máquinas a vapor	-Uso de geradores elétricos a petróleo, gás e hidroeletricidade e combustíveis para transporte	-Uso intenso de combustíveis nucleares para geração de energia elétrica	-Uso substancial de energias renováveis a partir do sol/ventos e do Uso de biocombustíveis. -Início do Uso de energia por fusão nuclear?

Como já afirmou o grande poeta Vinícius de Moraes, “por mais longa que seja a caminhada, o mais importante é dar o primeiro passo”. E esta é justamente a motivação que conduz o objetivo deste trabalho: apresentar, através de um estudo de caso em uma indústria de tecnologia, uma sugestão de “primeiro passo para transformação digital”, que consiste na aplicação da metodologia “*Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (Acatech STUDY)*” para medição da maturidade da empresa em relação à capacidades associadas à i4.0 (SCHUH et al., 2017).

A metodologia contempla etapas de diagnóstico, análise e planejamento de ações, no intuito de implementar “capacidades associadas à i4.0” nas diversas áreas organizacionais de uma indústria e, assim, colaborar com o processo de transformação digital da empresa. Mais detalhes sobre as etapas desenvolvidas estão no capítulo de desenvolvimento.

Mesmo que a i4.0 se encontre ainda em seus estágios iniciais, independentemente de ser cientificamente reconhecida como uma “revolução industrial” no futuro, alguns dos seus efeitos já se mostram profundos e com potencial de transformar a atividade econômica e financeira nos níveis global, nacional, empresarial e doméstico (DAS, 2018 p. 1). Logo, o tema merece destaque.

Em 2016, no relatório intitulado “*The Future of the Jobs*”, o Fórum Econômico Mundial previu que o advento de tecnologias associadas à i4.0 causaria uma perda líquida de mais de cinco milhões de empregos até 2020, sendo uma perda total de 7,1 milhões de empregos (dois terços dos quais na área de escritório/administrativa) e um ganho total de 2 milhões de novos empregos, com forte crescimento nas áreas de computação, matemática, arquitetura e engenharia (WEF, 2016 p. 13-14). O estudo foi realizado a partir de uma pesquisa que contemplou quinze economias desenvolvidas e emergentes, entre estas o Brasil (WEF, 2016).

Poucos duvidam do potencial transformador da i4.0 e as expectativas são altas. Alguns analistas sugerem que o mercado de i4.0 será massivo: em GATES e BREMICKER (2017, p.5), aponta-se que a consultoria *Gartner* acredita que o mercado da Internet das Coisas (IoT) valerá quase US\$ 3,7 trilhões até 2020. Verifica também que a consultoria Morgan Stanley sugere que o mercado de cibersegurança (uma área essencial à i4.0, conforme será demonstrado na sequência deste trabalho) valerá cerca de US\$ 183 bilhões até 2020. Por fim, descreve que a consultoria IDC acredita que o mercado de realidade virtual e aumentada valerá US\$ 162 bilhões. No total, as estimativas atuais dos analistas para os mercados de componentes de i4.0 chegariam a mais de US\$ 4,4 trilhões até 2020.

Sob a ótica brasileira, um estudo de 2016 da Confederação Nacional da Indústria concluiu que a indústria nacional está ainda se acostumando com os impactos da digitalização e da manufatura avançada sobre os setores e sobre os modelos de negócio: afinal, entre as empresas consultadas, 43% não puderam, a partir de uma lista com dez opções, identificar quais tecnologias digitais têm o maior potencial para estimular a competitividade da indústria. O desconhecimento é ainda maior nas pequenas empresas (57%) e o percentual cai para 32% entre as grandes empresas (CNI, 2016 p.3).

A mesma pesquisa indicou que para 66% das empresas o custo de implantação é a principal barreira interna para a adoção das tecnologias digitais. A “falta de clareza na definição do retorno sobre o investimento” e a “estrutura e cultura da empresa” ficaram logo depois com 26% e 24%, respectivamente (CNI, 2016 p.10).

Conforme já abordado, a i4.0 é (basicamente) uma visão de futuro que prevê a incorporação de tecnologias baseadas em internet na indústria. As forças motrizes por trás da i4.0 são tecnologias e somente aqueles que entendem isso poderão seguir tais visões (DRATH, 2014 p.3). Assim, o desconhecimento sobre estas novas tecnologias (e, conseqüentemente, sobre as novas capacidades destas tecnologias para aumento de performance) é, de certa maneira, um desconhecimento sobre o próprio fenômeno da i4.0.

Tem-se como pontapé inicial da i4.0, portanto, o avanço das tecnologias digitais, visto como a força propulsora de uma grande transformação econômica e social. A opinião compartilhada por muitos é de que a influência desse fator, com a acelerada mudança tecnológica dos últimos anos, é simplesmente inevitável (HIRSCH-KREINSEN et al., 2016 p. 12).

Sendo inevitável a implementação de tecnologias associadas à i4.0 para se manter a competitividade perante o mercado industrial, em um futuro próximo provavelmente não caberá mais às indústrias decidirem se devem adotar ou não estas novas tecnologias, mas simplesmente decidirem quais delas deverão ser adotadas antes, de acordo com a capacidade de investimento

e grau de maturidade de cada empresa. Como reflexão, convém lembrar que Nicolau Maquiavel, ao comentar sobre o império romano na obra “O Príncipe”, sentenciou que: “se a guerra é inevitável, sendo protelada redundante sempre em proveito de outros”.

2. Metodologia adotada

Neste capítulo inicialmente serão levantadas diferentes metodologias de medição de maturidade em relação aos elementos da i4.0. Na sequência do trabalho, o método escolhido (SCHUH, 2017) será esmiuçado e, no capítulo de desenvolvimento, serão apresentados os métodos de aplicação da pesquisa e de condução geral projeto (dinâmica de reuniões, etapas, etc.).

Peter Drucker, um dos pais da administração moderna, é dono do aforismo “o que pode ser medido pode ser melhorado”. Esta máxima suscita a grande importância das atividades de diagnóstico antes das tomadas de ações de melhoria, a fim de se otimizar investimentos e de se manter um controle quantitativo das eventuais evoluções nas capacidades da empresa. Assim, a estratégia inicial foi procurar por aqueles que já tinham, de alguma forma, proposto algum tipo de metodologia de mensuração de “indicadores i4.0”.

Conforme será demonstrado a seguir, a literatura conta com várias propostas de índices de medição de maturidade em relação aos elementos da i4.0. O Quadro 2, a título de exemplo, compara sete diferentes metodologias (representadas nas linhas) em 6 diferentes aspectos (representados nas colunas): título do trabalho, meio e ano de publicação, dimensões avaliadas na metodologia, níveis de maturidade definidos, referência bibliográfica e observações. (SCHUH et al., 2017) (WESTERMANN et al., 2018) (LEYH et al., 2016) (SCHUMACHER et al., 2016) (LICHTBLAU et al., 2015) (DELOITTE, 2018) (DE CAROLIS et al., 2017).

Ainda no contexto da comparação de modelos de maturidade i4.0, caso o leitor queira levantar uma gama ainda maior de opções, destaca-se o trabalho “*Maturity Models in the Age of Industry 4.0 – Do the Available Models Correspond to the Needs of Business Practice?*” (FELCH et al., 2019), que levanta vinte modelos diferentes para medição do “índice de maturidade i4.0”, contemplando dez modelos científicos e dez modelos desenvolvidos por consultorias de gestão. O estudo avalia a prevalência destes modelos junto ao mercado e é recomendado para se entender melhor as características comuns e as diferenças entre as diversas opções disponíveis de modelos de maturidade i4.0.

Em relação aos modelos científicos, no referido estudo (FELCH et al., 2019), foram avaliados dez modelos cientificamente relevantes, publicados de dezembro de 2017 a janeiro de 2018 em cinco bibliotecas digitais: *EBSCOhost*, *Emerald Insight*, *ScienceDirect*, *Wiley*, e *Google Scholar*. Foram levantados apenas modelos que contemplavam estágios de maturidade e diferentes dimensões de análise (FELCH et al., 2019 p.5167). Quanto aos modelos de consultorias de gestão, o estudo avaliou modelos das dez principais empresas de consultoria do mundo, que juntas representam 56% do mercado global: *PricewaterhouseCoopers (PwC)*, *Deloitte*, *Ernst & Young (EY)*, *KPMG*, *McKinsey & Company*, *Boston Consulting Group (BCG)*, *Accenture*, *IBM*, *Microsoft*, e *Booz Allen Hamilton* (FELCH et al., 2019 p.5168).

Cabe ressaltar que a maioria das empresas de consultoria trata seus modelos de maturidade como propriedade intelectual e não disponibiliza a versão completa (FELCH et al., 2019 p.5169). Já os modelos científicos demonstraram tratar os conceitos com maior rigor acadêmico, no entanto deixaram a desejar nas explicações relativas às etapas operacionais de execução das atividades.

Título	Meio de publicação, ano	Dimensões avaliadas	Níveis de maturidade	Referência	Observações
Acatech Industrie 4.0 Maturity Index	Acatech, 2017	<input type="radio"/> Recursos <input type="radio"/> Sistemas de informação <input type="radio"/> Estrutura organizacional <input type="radio"/> Cultura	1) Informatização 2) Conectividade 3) Visibilidade 4) Transparência 5) Capacidade Preditiva 6) Adaptabilidade	(SCHUH et al., 2017)	As 4 dimensões são subdivididas em 27 capacidades mensuráveis. A metodologia é detalhada e contempla dimensões bem diversas.
Maturity model-based planning of cyber-physical systems in the machinery and plant engineering industry	International Design Conference, 2018	<input type="radio"/> Integração vertical <input type="radio"/> Integração horizontal <input type="radio"/> Conectividade <input type="radio"/> Comunicação em rede <input type="radio"/> Segurança	1) Monitoramento 2) Comunicação e análise 3) Interpretação e serviços 4) Adaptação e otimização 5) Cooperação	(WESTERMAN N et al., 2018)	A metodologia é focada em tecnologia da informação, mas contempla explicações claras sobre 3 etapas de aplicação.
SIMMI 4.0 – System Integration Maturity Model Industry 4.0)	IEEE, 2016	<input type="radio"/> Integração Vertical <input type="radio"/> Integração Horizontal <input type="radio"/> Desenvolvimento de produtos digitais <input type="radio"/> Uso de tecnologias transversais	1) Digitalização básica 2) Digitalização cruzada (entre departamentos) 3) Digitalização horizontal e vertical 4) Digitalização total 5) Digitalização total e otimizada	(LEYH et al., 2016)	A metodologia foca em tecnologia da informação e deixa de lado algumas dimensões de análise
A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises	ScienceDirect, 2016	<input type="radio"/> Estratégia <input type="radio"/> Liderança <input type="radio"/> Clientes <input type="radio"/> Produtos <input type="radio"/> Operações <input type="radio"/> Cultura <input type="radio"/> Pessoas <input type="radio"/> Governança <input type="radio"/> Tecnologia	A metodologia define 5 níveis genéricos, onde o nível 1 é a total falta dos atributos necessários e o nível 5 é o estado da arte em relação aos atributos requeridos.	(SCHUMACHER et al., 2016)	A metodolgia é pouco rígida e traz diversas sugestões de itens a serem avaliados em cada uma das dimensões de análise
Impuls industrie 4.0 Readiness	Mechanical Engineering Industry Association (VDMA), 2015	<input type="radio"/> Empregados <input type="radio"/> Estratégia e organização <input type="radio"/> Fábrica inteligente <input type="radio"/> Operações inteligentes <input type="radio"/> Serviços baseados em dados	0) Outsider 1) Iniciante 2) Intermediário 3) Experiente 4) Expert 5) Top performer	(LICHTBLAU et al., 2015)	A metodologia é bem detalhada, traz resultados de estudos de caso e divide as 6 dimensões em 18 sub-dimensões de análise
Deloitte Digital Maturity Model	Deloitte, 2018	<input type="radio"/> Cliente <input type="radio"/> Estratégia <input type="radio"/> Tecnologia <input type="radio"/> Operações <input type="radio"/> Organização e cultura	Não há maiores detalhes sobre a escala de medição utilizada	(DELOITTE, 2018)	A metodologia parece extremamente detalhada, no entanto só é apresentada genericamente, pois é associada a serviços da empresa
DREAMY (Digital REadiness Assessment MaturitY model)	International Conference on Advances in Production Management Systems, 2017	<input type="radio"/> Processos <input type="radio"/> Controle e monitoramento <input type="radio"/> Tecnologia <input type="radio"/> Organização	1) Inicial 2) Gerenciado 3) Definido 4) Integrado e interoperável 5) Orientado digitalmente	(DE CAROLIS et al., 2017)	A metodologia não detalha as etapas de aplicação, no entanto detalha bem como são avaliadas as 4 dimensões: cada uma delas é avaliada em relação a 4 diferentes processos, por sua vez subdivididos em 18 sub-processos

Quadro 2 – Comparativo de sete diferentes metodologias para medição do índice de maturidade em relação aos elementos da i4.0 Fonte: Autores

Assim, se por meio de uma pesquisa rápida em motores de busca da internet pode-se chegar facilmente em vários exemplos de índices de “maturidade i4.0”, resta a pergunta: Qual seria a opção mais razoável?

Para definir a resposta, foram utilizados os seguintes critérios, avaliados pelo autor de maneira subjetiva: o devido rigor científico do trabalho, principalmente em relação ao método proposto e às referências utilizadas; e o nível de detalhamento dos passos sugeridos pela metodologia, principalmente no aspecto operacional, de forma a ser possível conduzir o projeto com recursos humanos reduzidos e da forma mais rápida possível.

O modelo da Acatech (SCHUH et al., 2017) demonstrou ter tanto o rigor acadêmico esperado para este tipo de atividade quanto o detalhamento necessário das atividades operacionais, de forma a facilitar a condução dos trabalhos com uma equipe operacional reduzida e, conseqüentemente, reduzir os prazos e custos envolvidos. Assim, o modelo foi escolhido como base metodológica para este trabalho e será detalhado em seguida.

A academia alemã de ciência e engenharia (Acatech) é uma instituição fundada pelo governo alemão, independente e sem fins lucrativos que representa os interesses das comunidades científicas e tecnológicas alemãs no país e no exterior (ACATECH, 2019). Em abril de 2017, a instituição publicou o estudo "*Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (Acatech STUDY)*" (SCHUH et al., 2017), que consta na lista de documentos publicados no website da iniciativa "*Plattform Industrie 4.0*", a plataforma oficial do governo alemão, cujo objetivo é desenvolver recomendações conjuntas de padrões construtivos, padrões de comunicações, etc. de forma a servir como base para uma estrutura de i4.0 sólida e confiável e também disponível para todos os interessados (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2019).

Segundo o modelo de índice de maturidade desenvolvido pela Acatech (SCHUH et al., 2017 p.10), o principal potencial econômico da i4.0 reside na capacidade de acelerar os processos de tomada de decisão e adaptação das empresas. Estas necessidades de adaptação ou de tomada de decisão surgem sob certos eventos, que podem ter natureza de curto prazo, como por exemplo uma quebra da linha de produção, ou de médio a longo prazo, como por exemplo uma alteração nos requisitos do produto e suas modificações associadas a área de design, ao processo de fabricação e a processos relacionados, como compras, qualidade e serviços (SCHUH et al., 2017 p.11). A metodologia, portanto, está alicerçada nas seguintes proposições:

- 1) Toda vez que uma empresa se vê obrigada a tomar alguma medida (como adequações de processos ou tomadas de decisão) em relação a algum evento ocorrido, naturalmente haverá tempos de latência entre as diversas etapas necessárias até que a ação tenha efeito;
- 2) Esses tempos de latência são inversamente proporcionais aos benefícios gerados pelas adaptações provenientes das ações tomadas;
- 3) Elementos tecnológicos associados à i4.0 são capazes de gerar certas capacidades à empresa e estas capacidades podem reduzir os tempos de latência (e, portanto, aumentar os benefícios gerados);
- 4) Estas capacidades são mensuráveis e podem ser estrategicamente desenvolvidas através de um roteiro de desenvolvimento de projetos de melhoria (*Roadmap*) com grande precisão às necessidades da empresa.

Na figura 1 (tradução livre de SCHUH et al., 2017 p.12) se apresenta um gráfico que ilustra o nível dos benefícios gerados pela adaptação (eixo vertical) em função dos tempos de latência (eixo horizontal). Na mesma figura são elencados, ao lado direito, elementos tecnológicos cujos grupos são representados pelas letras A, B, C e D, respectivamente associadas a latência de insight, latência de análise, latência de decisão e latência de ação. Ainda na Figura 1, a flecha verde horizontal representa a redução dos tempos de latência, que conseqüentemente gera o aumento dos benefícios da adaptação, representado pela flecha verde vertical.

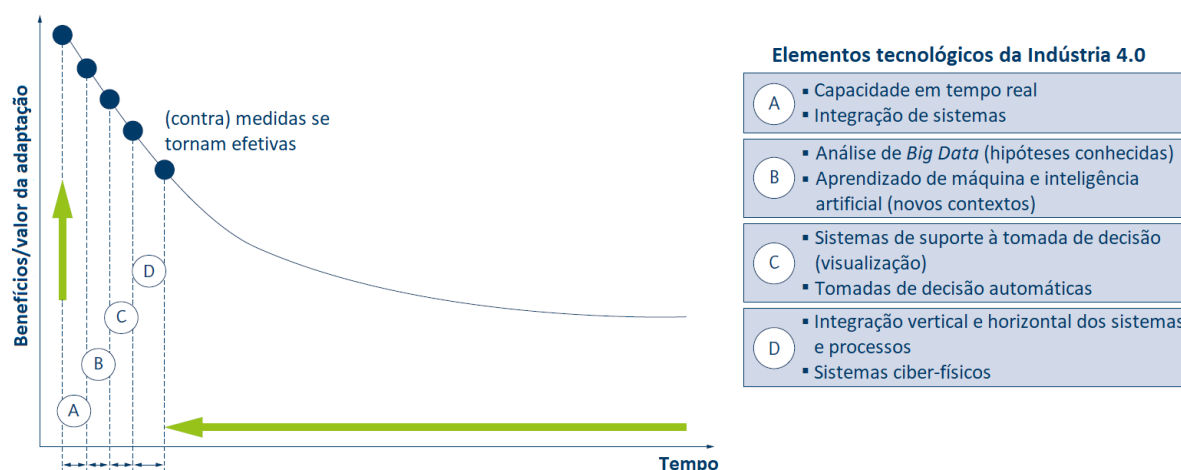


Figura 1 – Redução dos tempos de latência através de elementos tecnológicos associados a cada etapa do processo decisório. Fonte: (tradução livre de SCHUH et al., 2017 p.11)

A metodologia propõe, portanto, que se obtenha maior agilidade nos diversos processos decisórios e adaptativos da empresa a partir de elementos tecnológicos específicos, que serão associados a 27 diferentes “capacidades” e que podem reduzir os diferentes tipos de latência levantados, com o objetivo final de se gerar o maior benefício/valor possível em cada processo adaptativo ou tomada de decisão realizada pela empresa.

O estudo da Acatech define 4 áreas principais, subdivididas em 2 eixos por área, nos quais estão distribuídas as 27 capacidades mensuráveis definidas pela metodologia, conforme apresentado no Quadro 3. A seguir serão apresentadas considerações gerais sobre cada uma das 4 grandes áreas definidas pela metodologia adotada e será apresentada a escala com a estas 27 capacidades serão mensuradas.

a) Recursos

Referem-se a recursos físicos tangíveis, que incluem a força de trabalho de uma empresa (recursos humanos), máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e o produto final. Os "recursos" devem possuir as capacidades necessárias para trabalhar baseados em informação e os funcionários devem, portanto, ser capazes de identificar fontes de dados e possíveis técnicas de processamento (SCHUH et al., 2017 p.20). Pessoal, máquinas e equipamentos, ferramentas, materiais e produtos devem ser atualizados com componentes tecnológicos relevantes à transformação digital da empresa (SCHUH et al., 2017 p.21).

A crescente complexidade implica que os sistemas centralizados estão se tornando mais difíceis de gerenciar e, conseqüentemente, as malhas de controle descentralizadas, que já foram usadas para otimizar muitos processos técnicos, também devem ser estabelecidas no nível dos processos de negócio. Uma visão global clara da empresa só surge quando diferentes partes da informação são combinadas e, para se garantir que a informação é de qualidade suficiente, os dados devem ser trocados e gerados da forma mais estruturada possível. Isso requer interfaces apropriadas, bem como um consenso sobre o próprio propósito da comunicação. (SCHUH et al., 2017 p.22)

b) Sistemas de informação

O progresso alcançado em relação à digitalização das empresas significa que está ficando cada vez mais fácil para as indústrias tomarem decisões baseadas em dados em tempo real com o auxílio de modelos digitais. No entanto, muitas empresas ainda não estão conseguindo usar seus dados e informações para apoiar tomadas de decisão, principalmente por dois motivos: (SCHUH et al., 2017 p. 24-25)

1. Os dados capturados não são processados em informações e, como não são entregues de forma adequada, os funcionários não podem usá-los para dar suporte ao seu trabalho. Para serem utilizáveis para a tomada de decisões, além de serem analisados e processados em informações, os dados também devem ser entregues de uma maneira amigável ao usuário.

2. Os mesmos dados, centralizados, não são usados nas diferentes partes da empresa. Os sistemas devem, portanto, ser integrados para permitir o uso de dados comuns em toda a cadeia de valor. Deve-se, portanto, procurar a integração dos sistemas para melhorar o uso de dados e aumentar a agilidade. A criação de uma plataforma que conecte os diferentes sistemas de informação requer interfaces padrão, flexibilidade, abertura, segurança de TI abrangente e qualidade de dados apropriada.

Dentro do contexto de um ecossistema baseado na Internet das Coisas (IoT) com sistemas de alta integração vertical (relacionada com a conexão entre os sistemas internos da empresa, como ERP, MES, PLM, SCADA, CLP, etc.) e horizontal (relacionada com a conexão entre a fábrica e toda cadeia de valor externa, como clientes, parceiros, fornecedores, etc.), é salutar uma reflexão sobre a privacidade e proteção de dados, assunto frequentemente levantado por diversos autores (JABBOUR et al., 2018 p.9) (GATES e BREMICKER, 2017 p.5) (BRASIL, 2017a p.40) (HERMANN et al., 2016 p.3932).

Afinal, a crescente integração de sistemas de informação é acompanhada pelo risco de ataques criminosos, assim como o dano potencial que esses ataques podem causar aumenta proporcionalmente ao grau de integração. A segurança de TI deve, portanto, englobar diferentes estratégias para identificar e implementar medidas de segurança (SCHUH et al., 2017 p. 27). Entre as tecnologias associadas à cibersegurança, se podem destacar o uso de *framework* padrão, *firewall* distribuído, *blockchain* e criptografia quântica (BRASIL, 2017b, p.33).

c) Estrutura organizacional

Refere-se à organização interna de uma empresa (estrutura e processos operacionais) e sua posição dentro da rede de valor. Em contraste com a área de “cultura”, a “estrutura organizacional” estabelece regras obrigatórias que organizam a colaboração dentro e fora da empresa, enquanto “Cultura” abrange o sistema de valores dentro da empresa e, portanto, descreve os fatores flexíveis da colaboração (SCHUH et al., 2017 p. 28).

Recomenda-se a organização orgânica, que é a antítese da organização mecanicista. Na organização orgânica, os funcionários têm menos restrições e um alto grau de responsabilidade individual. Essa forma de organização é, portanto, particularmente adequada para organizações com forças de trabalho altamente qualificadas que trabalham em um ambiente dinâmico (SCHUH et al., 2017 p. 28).

A troca automatizada e contínua de informações entre diferentes empresas permite que elas cooperem de forma mais dinâmica e proporcionem maior transparência em relação ao mercado e também ajuda a reduzir barreiras para uma maior flexibilidade, como processos manuais para consultas, pedidos e processamento de pedidos. A visibilidade operacional pode ser ampliada para incluir o status de produção e o desempenho de qualidade de um fornecedor usando tecnologias de IoT para uma troca mais eficiente de informações, bens e serviços (SCHUH et al., 2017 p.30-31).

1. Recursos	
1.1 Capacidade digital	1.1.1. Prover competências digitais
	1.1.2. Aquisição automatizada de dados através de sensores e atuadores
	1.1.3. (pre)processamento descentralizado de dados de sensores
1.2 Comunicação estruturada	1.2.1. Comunicação eficiente
	1.2.2. Projeto de interface baseado em tarefas
2. Sistemas de informação	
2.1 Processamento de informação	2.1.1. Análise de dados
	2.1.2. Entrega de dados contextualizados
	2.1.3. Interfaces de usuário específicas por tarefa
	2.1.4. Resiliência da estrutura de TI
2.2 Integração	2.2.1. Integração vertical e horizontal
	2.2.2. Gestão de dados
	2.2.3. Interface de dados padrão
	2.2.4. Segurança em TI
3. Estrutura Organizacional	
3.1 Organização orgânica interna	3.1.1. Comunidades flexíveis
	3.1.2. Gerenciamento de direitos de decisão
	3.1.3. Sistemas de metas motivacionais
	3.1.4. Gerenciamento ágil
3.2 Colaboração dinâmica em redes de valor	3.2.1. Foco nos benefícios do cliente
	3.2.2. Cooperação dentro da rede
4. Cultura	
4.1 Disposição para mudar	4.1.1. Reconhecer o valor dos erros
	4.1.2. Abertura à inovação
	4.1.3. Aprendizagem e tomada de decisão baseada em dados
	4.1.4. Desenvolvimento profissional contínuo
	4.1.5. Moldando a mudança
4.2 Colaboração social	4.2.1. Estilo de liderança democrática
	4.2.2. Comunicação aberta
	4.2.3. Confiança nos processos e sistemas de informação

Quadro 3 – Capacidades associadas à i4.0 divididas em 4 áreas, cada qual dividida em 2 eixos. Fonte: (Adaptado de SCHUH et al., 2017)

d) Cultura

As empresas não conseguirão atingir a agilidade desejada se simplesmente introduzirem tecnologias digitais sem abordar também a cultura corporativa associada. Devem começar decidindo como querem fazer as coisas no futuro e quais habilidades seus funcionários precisarão para tanto para somente depois identificarem e introduzirem as tecnologias necessárias para apoiar a maneira como se deseja trabalhar (SCHUH et al., 2017 p.32).

Antes que os sistemas de assistência digital possam começar a agregar valor, a empresa deve ter uma cultura na qual os funcionários confiem nesses sistemas e estejam preparados para aceitar suas sugestões. A cultura engloba a vontade de mudança, ou seja, a disposição para revisar e adaptar continuamente seu próprio comportamento em resposta ao ambiente; e a colaboração social, para acelerar o compartilhamento de conhecimento dentro da empresa (SCHUH et al., 2017 p.32).

A metodologia escolhida define 6 diferentes estágios de maturidade para as capacidades i40, sendo que os primeiros níveis (níveis 1 e 2) formam uma base de digitalização para que então se possa implantar os níveis 3, 4, 5 e 6, estes últimos diretamente associados à i.40. A Figura 2 (tradução livre de SCHUH et al., 2017 p.32) ilustra esta escala de medição, traz os elementos principais dos 4 últimos níveis e enfatiza o aumento do valor gerado a cada “subida de degrau”.

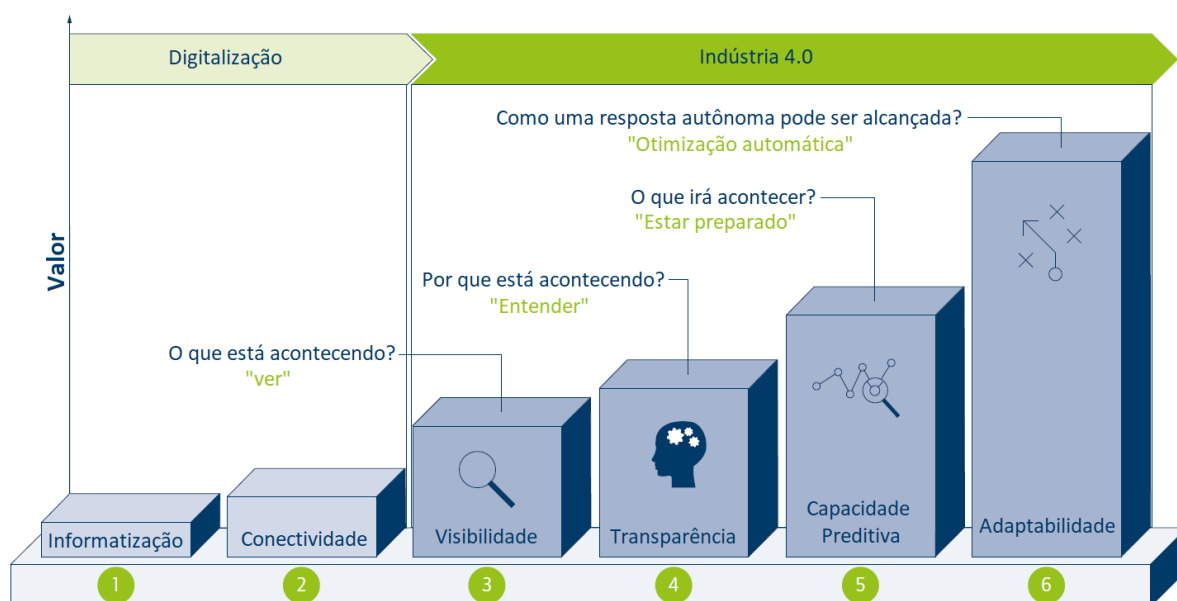


Figura 2 – Diferentes níveis de maturidade i4.0 e suas características. Fonte: (tradução livre de SCHUH et al., 2017 p.16)

A seguir é apresentada uma breve explicação sobre cada um dos níveis propostos pelo método. No presente estudo de caso, ainda foi acrescentado um nível “zero” (pré-informatização), definido caso ainda não tenha sido realizada a informatização no processo avaliado.

1) Informatização: O primeiro estágio no caminho do desenvolvimento é a informatização, pois fornece a base para a digitalização. Neste estágio, diferentes tecnologias de informação são usadas isoladamente umas das outras dentro da empresa (SCHUH et al., 2017 p.15).

2) Conectividade: No estágio de conectividade, a implantação isolada de informações é substituída por componentes conectados. Os aplicativos de negócios amplamente usados estão todos conectados entre si e refletem os principais processos empresariais da empresa (SCHUH et al., 2017 p.16).

3) Visibilidade: Neste estágio sensores permitem que os processos sejam capturados do começo ao fim com um grande número de pontos de dados, gerando uma "sombra digital". A sombra digital pode ajudar a mostrar o que está acontecendo na empresa a qualquer momento, para que as decisões de gerenciamento possam ser baseadas em dados reais. É, portanto, um bloco de construção essencial para os estágios posteriores (SCHUH et al., 2017 p.16-17).

4) Transparência: A próxima etapa consiste em entender por que algo está acontecendo e usar esse entendimento para produzir conhecimento por meio de análises de causa a partir da "sombra digital" gerada na etapa anterior (SCHUH et al., 2017 p.17).

5) Capacidade Preditiva: Nesta etapa a empresa é capaz de simular diferentes cenários futuros e identificar os mais prováveis. Isso envolve projetar a “sombra digital” no futuro para representar uma variedade de cenários que podem então ser avaliados em termos da probabilidade de ocorrerem (SCHUH et al., 2017 p.18).

6) Adaptabilidade: A adaptação contínua permite que uma empresa delegue determinadas decisões aos sistemas de tecnologia da informação de forma automática. O objetivo da adaptabilidade é alcançado quando uma empresa é capaz de usar os dados da sombra digital para tomar decisões que tenham os melhores resultados possíveis no menor tempo possível e para implementar as medidas correspondentes automaticamente, ou seja, sem assistência humana (SCHUH et al., 2017 p.18).

3. Desenvolvimento

A indústria participante do presente estudo de caso é paranaense, opera na área de tecnologia eletrônica e é líder de mercado (nacionalmente) em seu segmento. Possui cerca 80 funcionários, dos quais mais de um terço trabalha com desenvolvimento de tecnologias, além de ter faturado R\$ 60 milhões em 2018. Por questões de sigilo, não serão reveladas maiores informações acerca da indústria ou sobre os resultados das medições realizadas. Ressalta-se que o foco do presente trabalho é demonstrar uma proposta de trabalho razoável para início de atividades de transformação digital em indústrias e não apresentar os resultados de uma medição em uma indústria específica.

O critério adotado para amostragem de respondentes foi o de escolha racional, que consiste em definir uma amostra de participantes que comunguem de algum traço característico pertinente à pesquisa. No caso deste trabalho, a característica foi a escolha de funcionários com poder de decisão frente à operação da empresa, ou seja, diretores, gerentes e coordenadores. A amostragem foi de apenas 6 colaboradores chave de diferentes áreas da empresa, suficiente, mesmo assim, para revelar alguns padrões, conforme será abordado no capítulo de resultados.

O trabalho se desenvolveu em 3 etapas: planejamento; medição; e organização dos resultados. A primeira etapa do trabalho envolveu o estudo do tema, o planejamento das ações e reunir com o responsável da empresa (reunião 0), ocasião na qual ficou acertada a agenda de encontros com os funcionários participantes. Assim, na etapa de planejamento as atividades foram:

1. Conceituar i4.0 em um contexto atual e levantar metodologias para medição de índices de maturidade i4.0;
2. Gerar e validar as perguntas do questionário de pesquisa e preparar apresentações;
3. Apresentar e validar a metodologia ao responsável da indústria e definir agenda de reuniões (reunião 0);

A segunda etapa contemplou a apresentação da metodologia aos respondentes e a aplicação dos questionários de medição. Esta etapa contemplou duas reuniões presenciais com os participantes e seguiu a seguinte ordem:

1. Apresentar conceitos de i4.0 e a metodologia a ser adotada aos respondentes (reunião 1);
2. Apresentar os dois primeiros eixos de avaliação e lançar questionários 1 e 2 (reunião 1);
3. Apresentar os resultados dos questionários 1 e 2 (reunião 2);
4. Apresentar os dois últimos eixos de avaliação e lançar questionários 3 e 4 (reunião 2);

A etapa final, de organização de resultados, contemplou uma reunião para apresentação dos resultados das medições, um período de coleta de sugestões de ações a partir destas medições e a preparação de um documento de entrega final agregando todas as informações levantadas. As atividades da última etapa foram, portanto, as seguintes:

1. Avaliar os dados gerados na pesquisa e apresentar resultados gerais aos respondentes (reunião 3);
2. Iniciar a coleta de propostas de ação a partir destes resultados (reunião 3);
3. Organizar os resultados, propostas e uma avaliação destas informações em um documento de entrega final;
4. Coletar impressões gerais dos envolvidos.

Para a etapa de medição, foi definido que a pesquisa seria dividida em duas partes: em um primeiro momento abordaram-se as áreas 1 (Recursos) e 2 (Sistemas de informação) e em um segundo momento as áreas 3 (Estrutura organizacional) e 4 (Cultura). Ainda, foi definido que por ocasião do lançamento da pesquisa das áreas 3 e 4 fossem divulgados os resultados das etapas anteriores, para que o formulário de pesquisa não se tornasse demasiadamente cansativo e também para que os respondentes tivessem resultados parciais antes do término do trabalho, de forma a incentivar uma maior participação da equipe nas etapas seguintes.

O formulário de pesquisa, portanto, foi dividido em duas partes e aplicado utilizando-se o sistema *Google Forms*, uma ferramenta que permite a criação rápida de formulários de pesquisa online. Antes de ser lançado oficialmente a todos os respondentes, o formulário foi devidamente testado para estimar o tempo de resposta e corrigir eventuais erros de redação das perguntas. O tempo de resposta foi de cerca de 10 minutos por etapa, num total de 4 etapas. Todas as perguntas foram formuladas pelo autor do trabalho incluindo opções numeradas de 0 a 6, que representam os diferentes níveis de evolução da “maturidade i4.0” adotados pela metodologia e mais um nível “zero”, conforme já descrito.

Por meio do *QR code* mostrado na Figura 3 é possível acessar um documento com todas as perguntas apresentadas no formulário de pesquisa e com alguns comentários sobre cada tema, baseados no conteúdo da metodologia Acatech. (SCHUH et al., 2017)



Figura 3 – QR-code com o link para o questionário utilizado na pesquisa. Fonte: Autores

4. Resultados

A Figura 4 exemplifica o gráfico estilo “radar” descrito na metodologia Acatech, que utiliza círculos concêntricos para representar os diferentes níveis de maturidade, que variam de 1 a 6. Conforme os gráficos se aproximam da borda (do azul claro para o azul escuro), maior será o grau de maturidade em relação à Indústria 4.0. Pode-se representar no mesmo gráfico tanto os resultados das medições realizadas (situação atual, representada pelo círculo vermelho interno) quanto às metas (situação futura, representada pelo círculo verde, externo ao vermelho).

Ainda na Figura 4, o espaço entre o círculo vermelho e o círculo verde representa o deslocamento dos pontos da situação atual para a situação futura, onde cada um dos pontos é determinado através de coordenadas definidas a partir das médias das capacidades associadas a cada um dos 2 eixos de cada grande área. Por exemplo, na área “1. Recursos” as coordenadas são definidas a partir da média das capacidades do eixo “1.1 Capacidade digital” (coordenada vertical) e da média das capacidades do eixo “1.2 Comunicação estruturada” (coordenada horizontal). Para facilitar o entendimento, a Figura 4 utiliza as mesmas cores do Quadro 3 para ilustrar as grandes áreas e seus respectivos eixos.

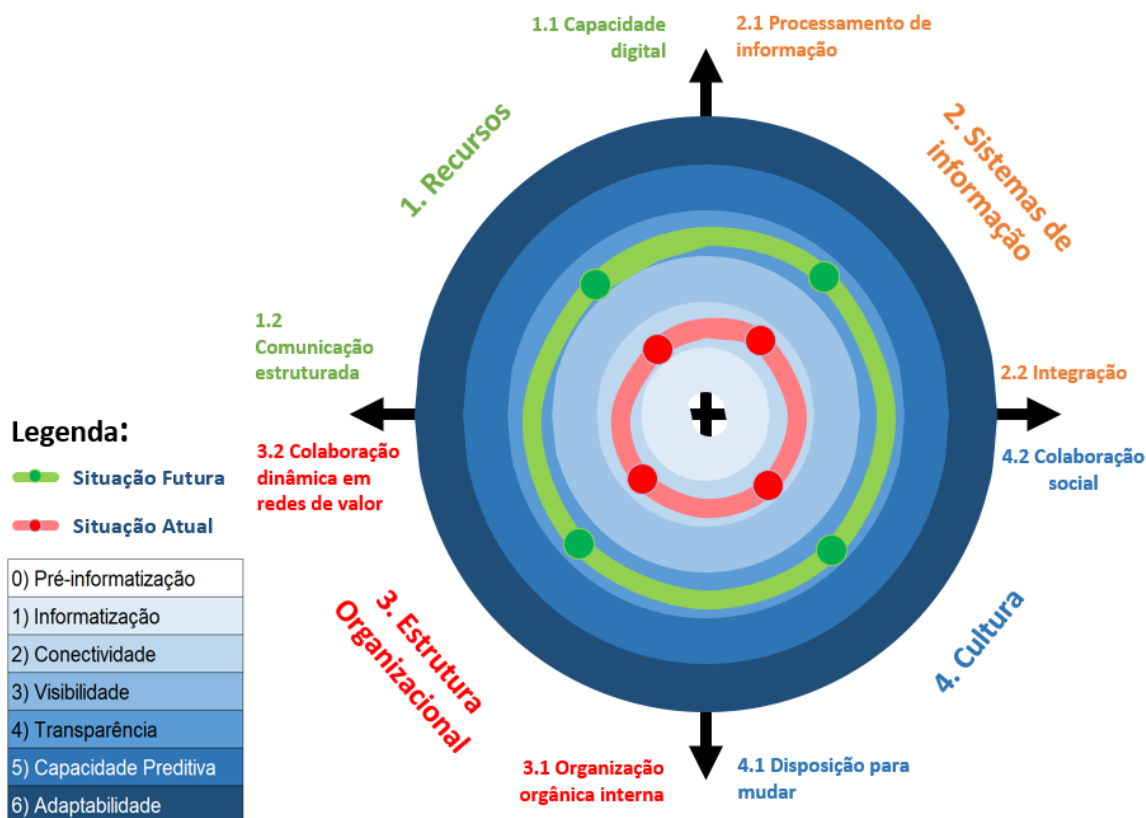


Figura 4 – Exemplo de gráfico de resultados de medição e de metas estratégicas (“situação atual” e “situação futura”). Fonte: Autores (traduzido e adaptado de SCHUH et al., 2017 p.16)

Ressalta-se que, por questões de sigilo de informações, os resultados quantitativos do estudo do caso não serão informados e, portanto, a Figura 4 apresenta apenas um modelo sugerido.

A etapa de coleta de sugestões foi focada nos itens que tiveram um resultado pior nos seguintes critérios (muito embora também tenha sido aberta à possibilidade de se enviar sugestões sobre outros itens):

- 1) Média de conceito muito baixa;
- 2) Desvio padrão muito alto.

As sugestões coletadas compuseram o relatório final entregue à empresa, que também incluiu uma breve explanação sobre a metodologia adotada e os resultados de todas as etapas contendo gráficos (vide Figura 4) e considerações finais.

A partir dos resultados foi possível perceber que certas capacidades da empresa de fato foram consideradas baixas por todos os respondentes, o que equivale a um padrão de “achatamentos” do modelo apresentado no gráfico da Figura 4. Os respondentes da pesquisa também se mostraram satisfeitos em relação ao método adotado e em relação à qualidade das perguntas, de acordo com suas considerações incluídas nos formulários de pesquisa.

5. Considerações finais

A metodologia adotada no presente trabalho se revelou adequada ao objetivo proposto, tendo sido inclusive observado um resultado já previsto no início do projeto em relação à uma das áreas mensuradas (para a qual já haviam sido iniciados planos de ação), o que indica, de certa maneira, a efetividade e assertividade do método.

As considerações positivas dos respondentes acerca da dinâmica realizada e da qualidade das perguntas utilizadas também suscitam que a metodologia adotada possui bom potencial como ferramenta de desenvolvimento estratégico, que poderia ser adotada de forma cíclica pelas empresas para definição e atualização de um *RoadMap* de transformação digital.

Observa-se, no entanto, a falta de quesitos de medição relacionados a práticas mais sustentáveis nas empresas, pois não são associadas à evolução das capacidades de resposta da empresa (mote da metodologia adotada). Sugere-se, assim, que sejam investigadas possíveis correlações entre as capacidades relacionadas à i4.0 e capacidades associadas à sustentabilidade ambiental em estudos futuros.

Por fim, ressalta-se a necessidade de que a metodologia seja aplicada em mais indústrias para que seja possível comparar resultados e impressões, validando o método de maneira mais contundente. Portanto, como estudos futuros, também se sugere a aplicação da metodologia apresentada em outras indústrias, preferencialmente de áreas diversas, de forma a se gerar dados em maior quantidade e diversidade a fim de se validar o método de forma ainda mais incisiva.

6. Agradecimentos

Os autores agradecem o Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento da Universidade Federal do Paraná (PPGMADE/UFPR), as Faculdades da indústria (campus CIC), a UNIFACEAR (Campus Araucária) e o Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR (campus CIC) pelo incentivo e apoio à produção acadêmica, sem os quais não teria sido possível o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- ACATECH. **Academy**. 2019. Disponível em: <<http://en.acatech.de/academy/>>. Acesso em: 4 abr. 2019.
- BAYGIN, M. et al. **An Effect Analysis of Industry 4.0 to Higher Education**. 2016 15th International Conference on Information Technology Based Higher Education and Training (ITHET), 2016.
- BASSI, Lorenzo. Industry 4.0: Hope, hype or revolution?. In: **2017 IEEE 3rd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry (RTSI)**. IEEE, 2017. p. 1-6.
- BRASIL. BNDES; MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES - MCTIC. **Produto 8 – Relatório do Plano de Ação**. Iniciativas e Projetos Mobilizadores. Brasília, 2017a.
- BRASIL. INSTITUTO EUVALDO LODI. **Mapa de Clusters Tecnológicos e Tecnologias Relevantes para Competitividade de Sistemas Produtivos: Indústria 2027: Riscos e Oportunidade para o Brasil diante Inovações Disruptivas**. Brasília, 2017b.
- DAS, Arnab. **Industrial revolution 4.0: ghosts of disruption past, present and future**. Invesco Investment, 2018.
- DE CAROLIS, Anna et al. **A maturity model for assessing the digital readiness of manufacturing companies**. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Springer, Cham, 2017. p. 13-20.
- DELOITTE. **Digital Maturity Model: Achieving digital maturity to drive growth** Nova Iorque: Deloitte, 2018. 24 slides, color.
- DRATH, Rainer. **Industrie 4.0–eine Einführung**. Open automation, v. 3, p. 17-21, 2014.
- CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Sondagem Especial: Indústria 4.0**. Indicadores CNI. ISSN 2317-7330. Ano 17. Número 2. CNI, 2016
- FELCH, Vanessa; ASDECKER, Björn; SUCKY, Eric. **Maturity models in the age of Industry 4.0: Do the available models correspond to the needs of business practice?**. In: Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences. 2019.

GATES, Doug; BREMICKER, Michael. **Beyond the hype—Separating ambition from reality in i4.0**. KPMG, 2017.

GOOGLE. **Google Trends**. 2019. Disponível em: <<https://trends.google.com/trends/>>. Acesso em: 15 abr. 2019.

GTAI - German Trade & Invest, **INDUSTRIE 4.0: Smart manufacturing for the future**. Berlim, 2014.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. **Design principles for industrie 4.0 scenarios**. In: 2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS). IEEE, 2016. p. 3928-3937.

HIRSCH-KREINSEN, Hartmut; WEYER, J.; WILKESMANN, Prof Dr M. **"Industry 4.0" as Promising Technology: Emergence, Semantics and Ambivalent Character**. Universitätsbibliothek Dortmund, 2016.

JABBOUR, Ana Beatriz Lopes de Souza et al. **Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations**. Annals of Operations Research, v. 270, n. 1-2, p. 273-286, 2018

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A. **Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives**. Process Safety and Environmental Protection, v. 117, p. 408-425, 2018.

LEYH, Christian et al. **SIMMI 4.0-a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0**. In: 2016 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS). IEEE, 2016. p. 1297-1302..

LICHTBLAU, K. et al. **IMPULS-industrie 4.0-readiness**. Impuls-Stiftung des VDMA, Aachen-Köln, 2015.

LOM, Michal; PRIBYL, Ondrej; SVITEK, Miroslav. **Industry 4.0 as a part of smart cities**. In: 2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP). IEEE, 2016. p. 1-6.

PLATFORM INDUSTRIE 4.0. **The background to Plattform Industrie 4.0**. 2019. Disponível em: <<https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/EN/ThePlatform/Background/background.html>>. Acesso em: 4 abr. 19.

ROSER, Hannah Ritchie And Max. **Energy Production & Changing Energy Sources**. 2019. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources>>. Acesso em: 12 set. 2019.

SAUCEDO-MARTÍNEZ, Jania Astrid et al. **Industry 4.0 framework for management and operations: a review**. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, p. 1-13, 2017.

SCHUH, Günther et al. **Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY)** Herbert Utz Verlag, Munich, 2017

SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. **A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises**. Procedia Cirp, v. 52, p. 161-166, 2016.

VERMULM, Roberto et al. **Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil**. IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial, 2018.

WESTERMANN, Thorsten et al. **Maturity model-based planning of cyber-physical systems in the machinery and plant engineering industry**. In: DS92: Proceedings of the DESIGN 2018 15th International Design Conference. 2018. p. 3041-3052.

WEF - WORLD ECONOMIC FORUM. **The future of jobs: Employment, skills and workforce strategy for the fourth industrial revolution**. WWF, 2016.