

Indústria 4.0 e Modelos de Maturidade Estudo de empresas portuguesas e brasileiras

João Carlos Matos Druczkoski

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia e Gestão Industrial
(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Fernando Manuel Bigares Charrua Santos

junho de 2020

Agradecimentos

Primeiramente aos meus pais João Druczkoski e Marília Celeste Matos Druczkoski e a meu irmão César Matos Druczkoski por todo o apoio e esforço para minha educação e necessidades ao longo dos anos.

Ao governo de Portugal e a Universidade da Beira interior pelo suporte e educação de qualidade.

Ao professor Doutor Fernando Manuel Bigares Charrua Santos e a Mestre Daisy Valle Enrique pela orientação, ajuda e incentivo para concluir este trabalho.

Aos respondentes do questionário utilizado.

Aos professores, técnicos e funcionários da Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior pelo suporte e partilha de conhecimentos ao longo do mestrado.

Aos meus amigos, de todos os países, pela amizade e apoio.

A todos que, direta ou indiretamente, possibilitaram a elaboração deste trabalho.

“Muito obrigado!”

Resumo

A Indústria 4.0, conhecida como a quarta revolução industrial, é resultado do desenvolvimento e implementação de diferentes tecnologias digitais tais como: Internet das coisas, Big Data e sistemas cyber-físicos. Isto com o objetivo de digitalizar produtos, máquinas e processos conectando-os entre si e fazendo com que a produção opere de maneira flexível, eficiente, ecológica, com alta qualidade e baixo custo. A implementação das tecnologias da Indústria 4.0 depende de vários fatores, como nível de automação, educação dos trabalhadores nas áreas tecnológicas, nível de governança tecnológica, recursos financeiros disponíveis, tamanho da organização, entre outros. A literatura aponta que as maiores barreiras para a adoção dessas tecnologias em empresas são a falta de orientação estratégica e conhecimento sobre o conceito de Indústria 4.0, a incerteza sobre os resultados obtidos, no requisito custo/benefícios e a falha na determinação da capacidade da empresa adotar tais tecnologias. Dentre as diversas ferramentas usadas para a avaliação da capacidade de adaptação da empresa frente a Indústria 4.0 estão os modelos de maturidade tecnológicos.

Nesse sentido o presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma aplicação de um modelo de maturidade da Indústria 4.0 em empresas e a análise dos resultados obtidos. Após a revisão bibliográfica dos modelos de maturidade existentes no contexto da Indústria 4.0 se realizou uma análise crítica pelo método AHP (Analytic Hierarchy Process) que resultou na escolha do modelo Shift to 4.0, este foi aplicado em sete empresas, sendo 3 portuguesas e 4 brasileiras. Pela aplicação do modelo foi verificado que o nível de adoção e o nível de penetração da I4.0 é médio, com umas mais avançadas que as outras. Todas as empresas consideram a adoção de tecnologias da I4.0 como algo positivo e vantajoso, e a grande oportunidade de melhoria na maioria das empresas analisadas se dá pela utilização dos dados recolhidos.

Palavras-chave

Indústria 4.0, quarta revolução industrial, modelo de maturidade, Shift to 4.0, AHP.

Abstract

Industry 4.0, known as the fourth industrial revolution, is the result of the development and implementation of different digital technologies such as: Internet of things, Big Data and cyber-physical systems. This with the aim of digitizing products, machines and processes connecting them to each other and making the production operate in a flexible, efficient, ecological way, with high quality and low cost. The implementation of the technologies of Industry 4.0 depends on several factors, such as level of automation, education of workers in technological areas, level of technological governance, available financial resources, size of the organization, among others. The literature points out that the biggest barriers to the adoption of these technologies in companies are the lack of strategic guidance and knowledge about the concept of Industry 4.0, the uncertainty about the results obtained, in terms of cost / benefits and the failure to determine the company's capacity to adopt such technologies. Among the various tools used to assess the company's ability to adapt to Industry 4.0 are the technological maturity models.

In this sense, the present work has as general objective to apply a Industry 4.0 maturity model in companies and analyze the results obtained. After the bibliographic review of the existing maturity models in the context of Industry 4.0, a critical analysis was carried out using the AHP (Analytic Hierarchy Process) method, which resulted in the choice of the Shift to 4.0 model, which was applied to seven companies, three portuguese and four brazilian . By applying the model, it was verified that the adoption level and the penetration level of I4.0 is medium, with some more advanced than the others. All companies consider the adoption of I4.0 technologies as something positive and advantageous, and the biggest opportunity for improvement in most of the companies analyzed is through the proper use of the data that is collected.

Keywords

Industry 4.0, fourth industrial revolution, maturity model, Shift to 4.0, AHP.

Índice

Capítulo 1 - Introdução	15
1.1 Objetivos do Estudo e Motivação	16
1.2 Método de Trabalho	16
1.3 Estrutura do Dissertação	17
Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica	18
2.1 Conceitos e definições da Indústria 4.0	18
2.2 Tecnologias habilitadoras da I4.0	23
2.3 Impactos econômicos e sociais da Indústria 4.0	26
2.4 Programas e Iniciativas para Indústria 4.0	28
2.4.1 Plattform Industrie 4.0 e Smart Factory – Alemanha	28
2.4.2 Factories of the Future – União Européia	29
2.4.3 Iniciativa Portugal i4.0 – Portugal	30
2.4.4 Grupo de Trabalho da Indústria 4.0 – Brasil	32
2.5 Etapas para a implementação da Indústria 4.0	33
2.6 Modelos de maturidade da Industria 4.0	34
2.6.1 Industry 4.0 Maturity Model	38
2.6.2 IMPULS – industrie 4.0-readiness	40
2.6.3 Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy	44
2.6.4 Shift to 4.0	46
2.7 Método de escolha do modelo a ser utilizado	46
Capítulo 3 - Resultados e Discussão	49
3.1 Escolha do modelo a ser utilizado	49
3.2 Aplicação do modelo escolhido	51
3.3 Sugestão de melhorias ao modelo	62
Capítulo 4 – Conclusão	64
Referências Bibliográficas	66
Anexo A – Questionário do modelo Shift to 4.0	72

Lista de Figuras

Figura 1	Processo de adaptação corporativo. Adaptado de Schuh et al. (2017).....	22
Figura 2	- Os 9 pilares da Indústria 4.0. Adaptado de Rüßmann et al. (2015).....	24
Figura 3	- Ranking de i4.0 Index Score em 2016 e 2017 e a meta para 2030 (COTEC, 2019)	31
Figura 4	- Linhas orientadoras da Fase II do Programa Indústria 4.0 (COTEC, 2019)	32
Figura 5	- Etapas na transformação digital de uma empresa. Adaptado de Burke et al. (2017) ..	34
Figura 6	- Visualização da maturidade das nove dimensões. Fonte: Adaptado de Schumacher et al. 2016.	39
Figura 7	- Resultados detalhados da dimensão estratégia. Fonte: Adaptado de Schumacher et al. 2016.	40
Figura 8	- Níveis de maturidade do modelo IMPULS- industrie 4.0-readines e classificação. Adaptado de Lichtblau et al. (2015).	43
Figura 9	- Matriz de comparação dos critérios. Saaty (1991).	47
Figura 10	- Nível de conhecimento do conceito I4.0 das empresas respondentes. O autor (2020).	52
Figura 11	- Motivação para abraçar os desafios da I4.0. O autor (2020).	52
Figura 12	- Objetivos pretendidos com a adoção de I4.0. O autor (2020).	53
Figura 13	- Nível de implementação da estratégia para I4.0. O autor (2020)	54
Figura 14	- Investimentos por área da empresa nos últimos 2 anos. O autor (2020)	54
Figura 15	- Investimentos por área da empresa nos próximos 5 anos. O autor (2020)	55
Figura 16	- Nível de recolha de dados na produção. O autor (2020)	55
Figura 17	- Utilização dos dados recolhidos na produção. O autor (2020)	56
Figura 18	- Nível de utilização de dados recolhidos nas áreas das empresas. O autor (2020)	56
Figura 19	- Partilha de informações internas no sistema central de gestão. O autor (2020)	57
Figura 20	- Classificação da informação partilhada com o exterior. O autor (2020)	57
Figura 21	- Competências dos recursos humanos da empresa quanto aos requisitos da I4.0. O autor (2020).	58
Figura 22	- Aquisição de competências em falta. O autor (2020)	59
Figura 23	- Média do nível de maturidade global e por dimensão das empresas analisadas. O autor (2020)	60
Figura 24	- Frequência dos Níveis Globais e por Dimensão. O autor (2020)	61
Figura 25	- Gráfico comparativo entre níveis globais de maturidade pelos modelos Shift to 4.0 e modelo adaptado, para cada empresa. O autor (2020)	63

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Definições do conceito Indústria 4.0. O Autor (2020)	19
Tabela 2 - Resumo dos conceitos mais relevantes da Indústria 4.0. Fonte: o Autor.	26
Tabela 3 - Eixos de ação prioritária na iniciativa Portugal i4.0. Adaptado de COTEC (2017). ...	30
Tabela 4 - Comparação entre os diversos modelos de maturidade I4.0 encontrados na revisão da literatura. O autor (2020).....	37
Tabela 5 - Dimensões e itens de maturidade utilizados no Modelo de Maturidade para a Indústria 4.0. Fonte: Schumacher et al. 2016. Adaptado.....	38
Tabela 6 - Dimensões e capacidades do modelo IMPULS– industrie 4.0-readines. Adaptado de Lichtblau et al., 2015.	40
Tabela 7 - Ponderação de cada dimensão do modelo IMPULS– industrie 4.0-readines. Adaptado de Lichtblau et al. (2015).	43
Tabela 8 - Dimensões, sub-dimensões e campos associados do modelo Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy. Adaptado de Akdil et al. (2018).	44
Tabela 9 - Limites de cada nível de maturidade pelo modelo Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy. Adaptado de Akdil et al. (2018).	46
Tabela 10 - Escala fundamental de Saaty. Adaptado de Saaty (1987).	47
Tabela 11 - Valores de RI para diferentes tamanhos de matrizes de comparação. Adaptado de Saaty (2004).	48
Tabela 12 - Avaliação da importância relativa de cada critério. O autor (2020).	49
Tabela 13 - Valores por critério e globais de cada modelo de maturidade. O autor (2020).	50
Tabela 14 - Características gerais das empresas respondentes. O autor (2020).	51
Tabela 15 - Níveis Globais e por Dimensão de cada empresa analisada. O autor (2020).	59

Capítulo 1 - Introdução

O termo Indústria 4.0 (I4.0) foi pela primeira vez mencionado na feira de Hannover na Alemanha em 2011 e passou a ser o foco deste país, ele se refere à designada quarta revolução industrial. A primeira revolução industrial ocorreu no final do século XVII com a invenção de motores a vapor e o início da mecanização das indústrias, a segunda refere-se a adoção e difusão das linhas de produção pioneiras por Henry Ford há quase um século, a terceira ocorreu em meados de 1970 com as primeiras utilizações de computadores e automação no processo de produção, a quarta e atual é interpretada como a aplicação de sistemas que conseguem juntar o físico e o virtual nos sistemas de produção, conseguindo maior produtividade e flexibilidade (Posada *et al.* 2015).

Permitindo diferentes tipos de inovações dentro das organizações, a implementação da Indústria 4.0 fomenta a evolução dos sistemas, onde a interação e até integração destes é possível e facilitada, com máquinas que usam auto-otimização, auto-configuração e possivelmente inteligência artificial na realização de suas tarefas, gerando maiores eficiências de custo e produção, e produtos mais inteligentes e de maior qualidade (Bahrin *et al.*, 2016). Ainda mais pela aplicação de sensores nos ambientes produtivos permite uma quase fusão dos mundos físico e virtual, gerando os sistemas cyber-físicos (cyber-physical systems - CPS), com alto poder de adaptação, controle e flexibilidade (Michael *et al.*, 2015). Muitas empresas e países já reconheceram as possíveis vantagens da aplicação das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0 e iniciaram sua adoção (Javanovski *et al.* 2019).

Outras tecnologias recentes também estão integradas no contexto da I4.0, como internet das coisas (Internet of things – IoT), da miniaturização através de micro e nanotecnologias, da computação em nuvem, da inteligência artificial, dos sistemas autônomos, da produção ou fabrico aditivo (impressão 3D), do Big Data, entre outras tecnologias e conceitos relevantes que serão discutidos mais a fundo a frente (Santos, 2018).

A quarta revolução industrial é atual e corrente, e, como as outras revoluções industriais anteriores é difícil definir um marco temporal. O que se pode dizer é que esta está acontecendo com uma velocidade superior às anteriores, devido em grande parte ao grande avanço tecnológico, à disseminação rápida de conhecimento através das tecnologias de comunicação (Internet) e pela globalização mundial, onde uma empresa pode ter sua sede em um país, sua produção noutro e seus maiores clientes em outros. Desta forma as tecnologias se propagam rapidamente e favorecem mudanças estruturais nas empresas, produtos e negócio em si. O que necessita ser analisado é o impacto de essa transformação causará as empresas e aos governos, pois empresas diferentes e governos diferentes terão velocidades diferentes de adaptação, e também diferentes consequências econômicas, sociais e ambientais decorrentes (Santos, 2018).

Atualmente existem diversas ferramentas para a aplicação dos conceitos e tecnologias da Indústria 4.0 em empresas, entre elas uma de extrema importância é o modelo de maturidade

tecnológico, que auxilia as empresas a obterem uma descrição de seu estado tecnológico atual e as fornece com um estado futuro.

1.1 Objetivos do Estudo e Motivação

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver uma aplicação de um modelo de maturidade da Indústria 4.0 em empresas e a análise dos resultados obtidos, a fim de estudar, analisar, adaptar e disseminar os conhecimentos e ferramentas ligadas ao conceito de I4.0, para que possa ser útil a academia, empresas e sociedade em geral.

A partir do objetivo geral foram definidos os seguintes objetivos específicos:

1. Identificar as características, tecnologias e conceitos inseridos na I4.0;
2. Identificar os modelos de maturidade existentes e inseridos no contexto da I4.0;
3. Analisar criteriosamente os modelos de maturidade identificados;
4. Aplicar um modelo de maturidade em diferentes empresas de diferentes setores;
5. Realizar uma análise do modelo após sua aplicação, visando melhorias e sugestões a este;
6. Gerar conclusões a respeito da I4.0, aplicação do modelo e melhorias sugeridas.

A escolha do tema se deu em grande parte pela relevância atual da I4.0, possibilitando um aprendizado de competências multidisciplinares e complementares à engenharia industrial. E por ser um tema que aborda a otimização de sistemas, processos e produtos com base em dados, possibilitando novos produtos, negócios e serviços.

1.2 Método de Trabalho

Para a realização do trabalho foi realizada a análise de diversos artigos científicos relevantes obtidos por pesquisa nas bases-dados *Taylor & Francis Online*, *Web of Science* e *Scopus* com os termos: “Smart Manufacturing” AND “Maturity”; “Smart Manufacturing” AND “Model”; “Smart Manufacturing” AND “Framework”; “Industry 4.0” AND “Model”; “Industry 4.0” AND “Maturity”. E filtrando estes por língua, no caso o inglês e o português, e posterior análise e leitura dos resumos a fim de confirmar a relevância para o estudo, seguido da leitura completa dos artigos considerados relevantes.

Após esta pesquisa foi realizada uma análise primária dos modelos de maturidade encontrados seguida de uma análise criteriosa destes modelos utilizando o método *Analytic Hierarchy Process* (AHP) e a sequente seleção e aplicação do método escolhido. Considerando uma abordagem mista, tanto qualitativa quanto quantitativa, devido a utilização de questionário para a determinação do nível de maturidade e por fornecer tanto dados qualitativos (informação

acerca do estado das empresas) quanto quantitativos (nível de maturidade para as dimensões e subdimensões).

1.3 Estrutura do Dissertação

O documento está organizado em quatro capítulos, incluindo o presente capítulo introdutório. O primeiro capítulo aborda a introdução ao tema, os objetivos de estudo e motivação, o método de trabalho e a estrutura da dissertação. Posteriormente, o Capítulo 2 é dedicado à fundamentação teórica do estudo por meio de uma revisão bibliográfica. No Capítulo 3, são apresentados os resultados. As discussões e conclusões dos resultados, são apresentadas no Capítulo 4. Por último apresentam-se as referências utilizadas como base para o desenvolvimento do estudo e os anexos.

Capítulo 2 - Revisão Bibliográfica

Nesta seção faz-se uma revisão bibliográfica sobre os temas relevantes para este trabalho, nomeadamente sobre o conceito da Indústria 4.0, suas tecnologias, seus impactos sociais, econômicos e ambientais, iniciativas e programas I4.0 em diferentes países ou regiões, e modelos de maturidade mais utilizados na literatura.

2.1 Conceitos e definições da Indústria 4.0

Desde a primeira revolução industrial existe um movimento mundial nas economias para o aumento de produtividade, flexibilidade e agilidade na produção através da adoção de tecnologias de ponta, sejam tecnologias de informação e comunicação e/ou tecnologias de operação. A tendência nos últimos anos, de maiores avanços tecnológicos, se firma na adoção dessas tecnologias visando a melhoria na competitividade da manufatura, possibilitando novas soluções e serviços e gerando novas oportunidades de negócio (Posada et al. 2015). De acordo com Lasi et al. 2014 os fatores centralizadores para tais transformação têm caráter social, econômico e político, descritos abaixo.

- Individualização da procura – consumidores definem as condições das negociações comerciais, levando a uma maior individualização dos produtos, ou até produtos customizados (lote único).
- Curtos períodos de produtos e serviços – alta capacidade de inovação se tornou um fator essencial para muitas empresas se adequarem ao tempo de mercado.
- Flexibilidade – devido aos novos requisitos de mercado, uma alta flexibilidade é necessária para o desenvolvimento de produtos individualizados e em sua promoção.
- Descentralização – visando lidar com as condições de mercado e ter um tempo de resposta baixo, o processo de tomada de decisão deve ser rápido culminando em uma hierarquia organizacional reduzida e descentralizada.
- Eficiência de recursos – recursos se encontram cada vez mais escassos e de maior custo, e as mudanças nos fatores sociais e ambientais procuram um foco na sustentabilidade no contexto industrial, que se dá, em grande parte, pelo aumento da eficiência na utilização de tais recursos.

Ainda no contexto das transformações citadas acima, existe a criação de valor que é caracterizada por fatores intangíveis como a melhoria de processos, inovação, conhecimento e habilidades dos trabalhadores. Empresas muitas vezes tem dificuldades para manter sua competitividade a longo prazo quando abordam a criação de valor apenas considerando recursos tangíveis. Tal criação de valor, quando suportada pelas tecnologias de informação e comunicação representa um fator importante na competitividade de uma empresa, pois visa a análise e valoração dos recursos intangíveis e melhorias de processos, produtos e serviços (Tonelli et al. 2016).

Com isso em mente, a indústria 4.0 propõe a criação de um cenário onde as tecnologias de ponta, análises de dados e a automação sejam os principais geradores de vantagens competitivas, ao invés do que ocorria no passado onde estas vantagens eram geradas principalmente pela mão de obra barata (Rizzo, 2016).

Atualmente, de acordo com Porter e Heppelman (2015), o ponto central da evolução dos produtos e processos, e das transformações das cadeias de valor são os dados, desde sua aquisição, processamento, armazenagem, apresentação e resposta (descritiva, prescritiva, de diagnóstico, e preditiva). Os autores abordam as principais funções empresariais no âmbito da Indústria 4.0, descritos abaixo.

- Desenvolvimento de produtos: baixo custo de variabilidade, melhoria contínua e atualização de produtos por tecnologias embutidas, monitorização da qualidade dos produtos na utilização, novos modelos de negócio, interoperabilidade de sistemas.
- Produção: fábricas inteligentes, uso de softwares para simplificação de componentes, reconfiguração de processos, customização de produtos, operações contínuas ao longo do ciclo de vida dos produtos.
- Marketing e vendas: contato próximo e contínuo com o cliente, novos modelos de negócio, foco em sistemas produto-serviço e não apenas em produtos discretos.
- Serviços pós-venda: modelo preventivo, proativo e remoto de oferta de serviços, antecipação da necessidade de peças e identificação das causas de falhas, uso da realidade aumentada para o suporte de serviços, também suportados pela análise de dados e conectividade.

A definição do termo Indústria 4.0 não é única e diferentes autores têm diferentes definições, conforme a tabela 1.

Tabela 1 - Definições do conceito Indústria 4.0. O Autor (2020)

Autor	Definição
Wang, Wan, Li, & Zhang, 2016	A Indústria 4.0 incorpora avanços técnicos emergentes para melhorar o desempenho industrial, e para lidar com os desafios globais. O conceito de Indústria 4.0 é visto como uma estratégia importante para as organizações se manterem competitivas no futuro, e inclui o projeto e a implementação de produtos e serviços competitivos, assim como a gestão eficaz dos sistemas de produção e logística.

<p>Xu, He, & Li, 2014</p>	<p>A Indústria 4.0 é uma terminologia que faz referência ao termo “Internet das coisas” (IoT), voltada para aplicações industriais. A IoT pode ser entendida como uma infraestrutura global de comunicação com capacidades autoconfiguráveis, baseadas na padronização e interoperabilidade de protocolos de comunicação, onde “coisas” físicas e virtuais possuem identificação, atributos e usam interfaces inteligentes, estando integradas na rede de comunicação</p>
<p>Stock & Seliger, 2016; S. Wang et al., 2016</p>	<p>A Indústria 4.0 é descrita como a produção orientada por sistemas ciber-físicos que integram recursos de produção, sistemas de armazenamento, logística, além de necessidades sociais, para estabelecer cadeias globais de criação de valor.</p>
<p>Schumacher, Erol, & Sihn, 2016</p>	<p>A Indústria 4.0 é caracterizada pelos recentes avanços tecnológicos, onde a internet e as tecnologias de suporte, possibilitam a integração de objetos físicos, agentes humanos, máquinas inteligentes, linhas de produção e processos, além das fronteiras das organizações, para formar uma nova forma de cadeia de valor, inteligente, integrada e ágil.</p>
<p>Schuh, Anderl, Gausemeier, ten Hompel, & Wahlster, 2017</p>	<p>A quarta revolução industrial precisa ser entendida como algo que vai além da digitalização da produção e da automação de processos, mas como algo que tem potencial para revolucionar a maneira como os negócios funcionam. Ela tem potencial de afetar a forma como os produtos e serviços são idealizados e projetados, como são fabricados, como são vendidos, e em última forma como eles concorrem entre si.</p>

Schuh et al., 2017	<p>A Indústria 4.0 é uma comunicação multilateral, em tempo real, com alto volume de dados, e com interconexão entre sistemas ciber-físicos e as pessoas. O principal potencial econômico da Indústria 4.0 reside na sua habilidade para acelerar os processos de adaptação e de tomada de decisão. Isso se aplica tanto para o processo de aumento de eficiência na Engenharia, na manufatura, nos serviços e nas vendas, quanto para o foco nas mudanças do modelo de negócio como um todo.</p>
Kusiak, 2017	<p>A produção inteligente integra os ativos da manufatura com sensores, sistemas de computação, tecnologias de comunicação, modelagem de dados, controle, simulação e sistemas preditivos. Ela utiliza os conceitos de sistemas ciber-físicos, a internet das coisas, computação em nuvem, computação orientada a serviços, inteligência artificial, e ciência de dados. Uma vez implementados, esses conceitos e tecnologias de transição farão da produção a marca da nova revolução industrial. O autor define seis pilares para a consolidação da produção inteligente: tecnologias e processos de produção, materiais, dados, engenharia preditiva, sustentabilidade, e compartilhamento de recursos e redes de comunicação.</p>
Wang et al., 2016	<p>A Indústria 4.0 tem como finalidade mudar a indústria tradicional para um sistema de produção reconfigurável, e implementar a fábrica inteligente. Isso é essencial para suportar a produção de lotes pequenos e atender à procura customizada dos consumidores.</p>

<p>Albers, Gladysz, Pinner, Butenko, & Stürmlinger, 2016</p>	<p>Denota uma produção inteligente, conectada e descentralizada. O aspecto principal é a comunicação contínua entre os humanos, as máquinas e produtos durante o processo produtivo, possibilitados por sistemas ciberfísicos. O objetivo geral é aumentar a eficiência de custo e tempo, e melhorar a qualidade dos produtos, o que requer um entendimento ampliado das tecnologias que possibilitam esses ganhos, assim como os métodos e as ferramentas para obtê-los.</p>
--	---

Para Shuh et al. (2017), o desenvolvimento e adoção da I4.0 será diferente em cada empresa, sendo necessário por parte destas uma análise atual e alinhamento com os objetivos estratégicos, considerando horizontes de médio e longo prazo, e ainda quais tecnologias e sistemas serão implementados. Quando um evento desta magnitude ocorre existe uma defasagem entre a sua percepção por parte das empresas e a resposta destas, conforme a figura 1.

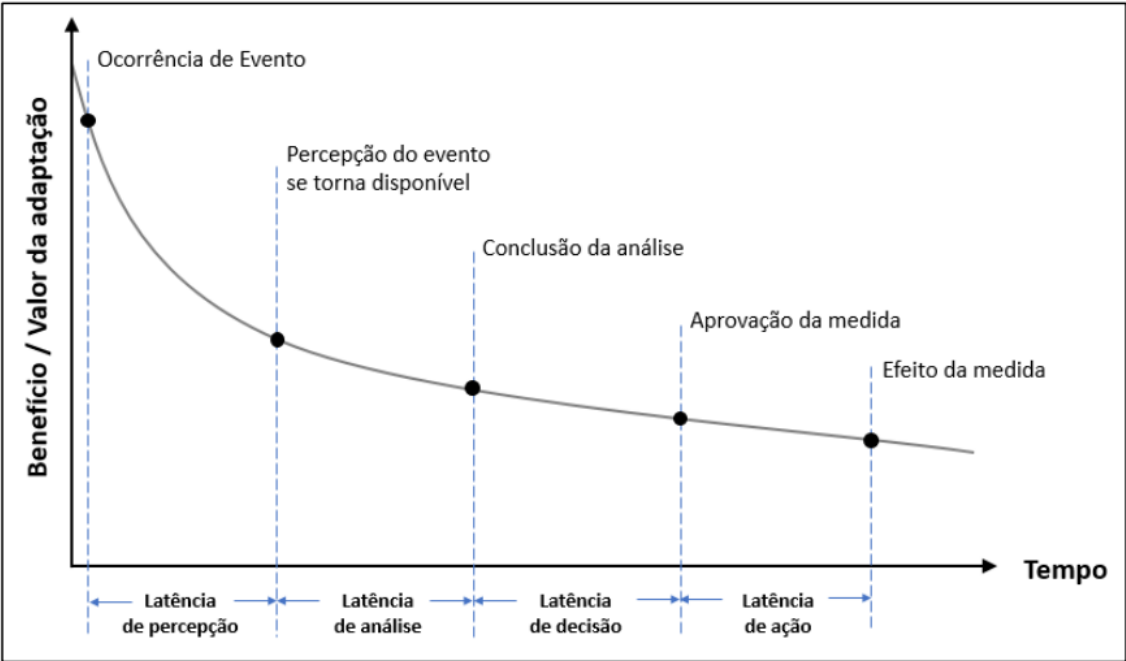


Figura 1 - Processo de adaptação corporativo. Adaptado de Schuh et al. (2017)

As definições descritas na bibliografia consultada, permitem o entendimento que a I4.0, suportada pelas novas tecnologias e conceitos de gestão, gerarão ganhos de produtividade, qualidade e redução de custos e prazos, maior eficiência dos recursos e maximizando os resultados para as empresas. As tecnologias relacionadas com a I4.0 desencadeiam mudanças

significativas em todos os processos do negócio, realizando um estreitamento das relações com consumidores e gerando novos modelos de negócio.

A previsão é de que até 2025, processos associados à indústria 4.0 diminuam os custos de manutenção de equipamentos entre 10% e 40%, de energia entre 10 e 20% e aumentará a eficiência operacional das empresas entre 10% a 25% (McKinsey, 2015), frisando ainda mais o objetivo dessa nova revolução industrial de atingir altos níveis de eficiência operacional, produtividade, automação e customização dos produtos (Thames, Schaefer 2016).

2.2 Tecnologias habilitadoras da I4.0

Dentro do conceito da I4.0 existem diversas tecnologias habilitadoras (*key enabling technologies*) que serão descritas mais à frente. O grande foco é na união das tecnologias, a fim de se conseguir produtos e máquinas inteligentes, no sentido de possuírem capacidade de computação, comunicação, controle, autonomia e socialização (Wang et al. 2016).

Ainda mais, levando em consideração a lei de Moore, que dita que o custo das tecnologias decresce exponencialmente, devido em grande parte ao aumento de volume de produção diminuir os custos fixos e de desenvolvimento, e aprimoramento de processos logísticos. É correto afirmar que tais tecnologias associadas a I4.0 serão disseminadas globalmente num ritmo veloz.

De acordo com Gunes et al (2014) e Hermann et al (2016) os atributos principais das tecnologias relacionadas a I4.0 são:

- **Digitalização:** a digitalização de produtos e equipamentos funciona como base para a comunicação, operação e controle remoto dos processos de negócio, junto com o desenvolvimento de produtos e serviços, fabricação e logística. Construindo a base para a coleta de dados remota e em tempo real.
- **Conectividade:** troca de informações por redes sem fio ou pela internet, irão desempenhar um papel fundamental para a conexão não somente de pessoas, mas de máquinas, dispositivos, sensores e produtos, sendo realizada primariamente de três formas: homem-homem, homem-máquina e máquina-máquina.
- **Interoperabilidade:** capacidade de sistemas de informação trabalharem de maneira conjunta, ou seja, intraoperarem, trocando informação e a utilizando para realizar ações. Tais sistemas podem pertencer a uma mesma organização ou não, possibilitando assim troca de informação entre clientes, fornecedores e empresa.
- **Adaptabilidade:** relacionada a habilidade de um sistema se alterar em resposta a eventos e mudanças de contexto implicadas.
- **Escalabilidade:** capacidade de um sistema manter o funcionamento e resposta esperados quando ocorrem variações no volume de trabalho. Muito relacionada a outra característica, flexibilidade.

- Eficiência: otimização de entradas e saídas, o sistema deve consumir o mínimo de recursos para entregar a saída pretendida, focando em minimizar os desperdícios e ociosidade. Muito dependente do nível de comunicação entre sistemas e a inteligência destes.
- Predição: a capacidade de um sistema, com base em dados históricos e algoritmos, realizar a previsão de estados, comportamentos ou funcionalidades futuras.
- Reconfigurabilidade: capacidade de um sistema alterar sua configuração original, em caso de mudanças de procura, requerimentos internos ou externos a ele, ou em caso de falhas.

Atualmente a indústria 4.0 depende de 9 pilares tecnológicos, ou tecnologias habilitadoras, conforme figura 2.

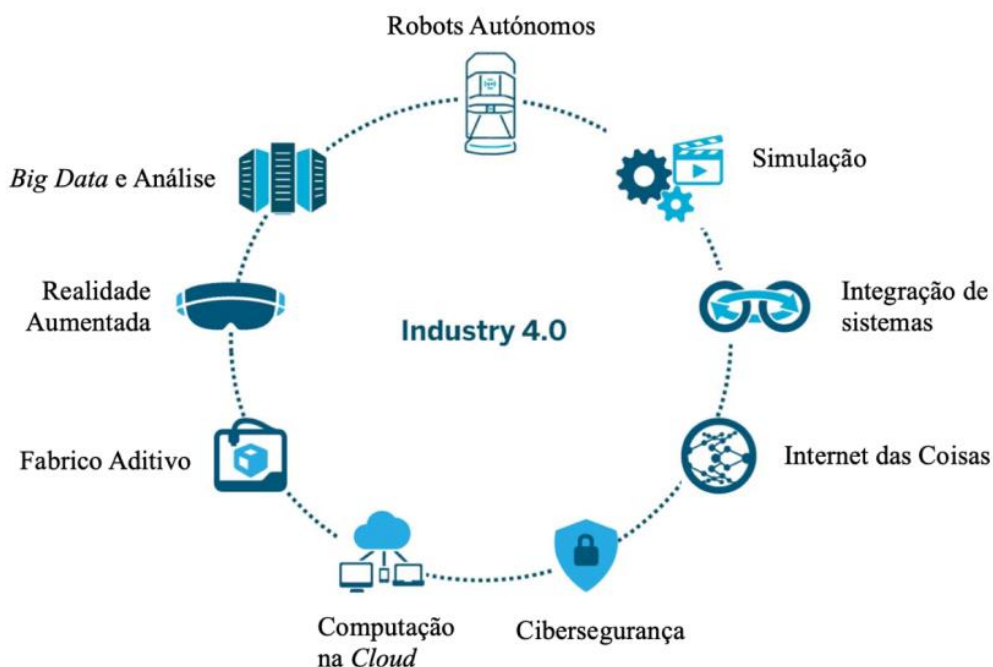


Figura 2 - Os 9 pilares da Indústria 4.0. Adaptado de Rüßmann et al. (2015).

- **Big Data e Análise** (Big data & analytics): algoritmos para trabalhar com grandes quantidades de dados gerados pelos diversos sensores presentes nas fábricas, a fim de analisar o estado atual, prever o estado futuro e otimizar as variáveis de processos, operações etc. (Lu, 2017).
- **Realidade Aumentada e Virtual**: realizando a ponte entre objetos virtuais e físicos, dispositivos que permitem a realidade aumentada e virtual possibilitam o aumento da percepção humana fornecendo informações de uma maneira mais intuitiva e eficaz, na realidade aumentada há a sobreposição do real e virtual, enquanto na virtual há a total imersão do usuário. (Posada et al., 2015).

- Internet das Coisas (IoT, *internet of things*): através da conexão entre sistemas e objetos físicos entre si e com outros sistemas, integrando tais objetos à rede de produção e processos e possibilitando a recolha instantânea e análise de informações relevantes a estes objetos (Cevikan et al. , 2018).
- Robôs Autônomos: utilizados em tarefas e problemas não possíveis de serem realizados por humanos, sendo somente controlados por estes, gerando um ambiente de cooperação humano-robô e podendo até, em alguns casos, realizar a tomada de decisão, otimização e documentação da sua tarefa (Aiman *et al.*, 2016).
- Simulação: têm papel de suporte nas atividades relacionadas com a produção por promover um ambiente de produção sustentável, facilitando a tomada de decisão por permitir uma análise do impacto que mudanças possíveis causariam no sistema, gerando estimativas, e possibilitando uma melhor otimização (Weyer *et al.*, 2016).
- Integração de Sistemas: quando vertical refere-se a sistemas integrados entre si de maneira a se tornarem flexíveis e reconfiguráveis no espaço fabril a fim de atingir maior agilidade, quando horizontal refere-se à integração entre os sistemas de cada parceiro, sendo outra empresa ou não, numa mesma cadeia de suprimentos (*supply chain*) a fim de gerar mais agilidade, rastreabilidade e quantidade de informação (Wang *et al.*, 2016).
- A Nuvem (*Cloud*): computação em nuvem produz diversas vantagens, entre elas temos a automação e integração da cadeia de suprimentos, facilitando também a gestão e administração da empresa como um todo, facilitando o acesso e armazenamento de informações, realizando análises e comunicação. Exemplos de computação em nuvem são Google Drive, Windows Azur, sistemas de ERP como SAP entre outros (Candel-Haug *et al.*, 2016).
- Fabrico Aditivo ou Produção Aditiva: também conhecida como impressão 3D, refere-se a produção de bens customizados às necessidades dos clientes, permitindo a rápida prototipagem e produção de peças com geometrias complexas, muitas vezes não possíveis de serem obtidas por métodos mais tradicionais. Atualmente engloba diversas técnicas, como SLS (*Selective Lazer Sintering*), FDM (*Fused Deposition Modeling*), DLP (*Digital Light Processing*), entre outros (Frazier, 2014).
- Cyber-Segurança: pela característica altamente tecnológica da Indústria 4.0, a segurança da informação e sistemas é de extrema importância, pois um ataque pode revelar informações importantes, danificar sistemas e causar uma gama de danos tanto a empresa como aos seus parceiros, fornecedores e clientes. Apesar das soluções para a prevenção a estes ataques seja de alto custo, é de suma importância devido aos potenciais danos e efeitos negativos de cyber-ataques (Cho e Woo, 2017).

A tabela 2 indica um resumo dos conceitos supracitados, considerados mais relevantes para a Indústria 4.0.

Tabela 2 - Resumo dos conceitos mais relevantes da Indústria 4.0. Fonte: o Autor.

Conceito	Resumo dos conceitos	Exemplos
Análise e Processamento de Dados	Grades bases de dados que afetam a tomada de decisão	Análise Big Data, algoritmos, softwares, Inteligência Artificial
Realidade Aumentada e Virtual	Interação homem-máquina nas tarefas	Google Glass, Oculus Rift
Internet das Coisas	Conexão entre objetos físicos e sistemas	“ <i>Smart Networks</i> ”
Robôs Autônomos	Resolução de problemas não possíveis para humanos	Automação automotiva, robôs SCARA, AGV, Robôs colaborativos
Simulação	Modelagem matemática, algoritmos de otimização	Ansys, Solidworks, softwares de simulação, Digital Twins
Integração de Sistemas	Integração de sistemas fabris e da cadeia de suprimentos	“ <i>Smart Factories</i> ”, sistemas em nuvem, ERP, MES, RFID etc.
Armazenamento e serviços da nuvem	Plataformas colaborativas, informação difundida e de fácil acesso	Google Drive, Windows Azure, SAP
Produção Aditiva	Tecnologia de impressão em 3 dimensões	FDM, SLS, DLP etc.
Cyber-Segurança	Defesa e reação a cyber ataques	Sistemas de defesa nacionais e de prevenção

2.3 Impactos econômicos e sociais da Indústria 4.0

O principal objetivo de todas as revoluções industriais é o aumento de produtividade, que por sua vez está relacionado ao aumento de volume produtivo, a redução de custos, e as inovações em processos e produtos. Ao contrário das revoluções industriais anteriores, que tiveram maior impacto no nível do chão-de-fábrica e nos processos produtivos, a quarta revolução industrial possui um impacto mais amplo, afetando outros processos de negócio além da produção, como nas relações entre fornecedores, empresa e clientes, nos modelos de negócio da empresa, na engenharia de produtos, entre outros. Isto é, o potencial aumento de produtividade deixa de estar relacionado a um aumento na produção ou redução de custos, mas agora se relaciona com mais

força as atividades criativas, aplicação de novos conhecimentos e pelo processo de tomada de decisões. Uma colaboração forte em todos os níveis da atividade acelera este processo, comunicação esta que é favorecida pelas tecnologias de informação e comunicação (Shuch et al., 2014).

A I4.0 exigirá dos trabalhadores novas competências, pois novas tecnologias serão aplicadas nas empresas e muitas tarefas e funções rotineiras serão automatizadas ou substituídas por sistemas ciber-físicos, requerendo então dos trabalhadores funções que exigem maior criatividade e adicionam mais valor baseado no conhecimento (Lee et al., 2014).

Quando se analisa os previstos impactos da I4.0, tais podem ser caráter positivo ou negativo, quando positivos podemos citar oportunidades de criação de novos negócios, novas profissões, espaço para novas pequenas e médias empresas pela informatização e servitização¹ dos produtos, sendo compatível com a percepção que o mundo entrou na era pós-industrial e que as economias desenvolvidas gerarão mais valor com a produção e comercialização de conhecimento e serviços, tal sistema produto-serviço depende da existência de infraestrutura e redes de suporte ao cliente e é projetado visando a satisfação das necessidades dos consumidores e em ter maior competitividade que os modelos de negócio focados apenas ao produto (Lee et al., 2014). Quando negativos, podemos citar a concentração de riquezas nos países que desenvolvem tecnologia, e o aumento de desemprego devido ao maior nível de automação, principalmente em países subdesenvolvidos dependentes fortemente de indústrias de base (Kagermann et al., 2013).

Um cenário possível dos impactos sociais e econômicos da quarta revolução industrial seria o crescimento dos postos de trabalho principalmente devido ao surgimento de novas profissões e novos modelos de negócio que esta revolução gerará. Outro cenário, menos otimista, seria o do aumento do desemprego pela substituição da mão de obra e postos de trabalho para equipamentos autônomos e robóticos. Schwab (2016), um dos fundadores do Fórum Econômico Mundial, afirma que é impossível prever neste momento com exatidão qual cenário é o mais provável de acontecer, e se avaliarmos historicamente o mais provável é uma combinação dos dois cenários supracitados. Ainda assim, ele cita o talento dos trabalhadores como fator crítico na produção de bens e serviços, tendo maior peso que o capital, o que geraria um crescimento da disparidade salarial no mercado de trabalho, criando duas divisões: os que possuem poucas habilidades e conhecimentos com baixos salários e os de altas habilidades e conhecimentos com altos salários, tal divisão tenderia a aumentar o nível de tensões sociais e conflitos, principalmente em países subdesenvolvidos e emergentes.

Analisando no âmbito ambiental os impactos causados pelos novos processos de industrialização e das tecnologias aplicadas na Indústria 4.0 estão diretamente relacionados com a otimização da utilização dos recursos energéticos e naturais em todo ciclo de vida dos produtos e nos processos de descarte e reciclagem de materiais. O progressivo crescimento da população mundial torna necessário para os países industrializados façam grandes esforços para minimizar os danos ambientais causados pelas empresas, procurem adotar práticas sustentáveis de utilização dos

¹ Do inglês *servitization* a Servitização é o termo que alguns acadêmicos utilizam para descrever um processo de agregação de novos serviços aos produtos.

recursos naturais e práticas de descarte de materiais e produtos. Sendo necessário também a análise ambiental no desenvolvimento de produtos e serviços, utilizando a criatividade e inovação para gerar uma saída de menor impacto ambiental e que possibilite uma gestão de todo o ciclo de vida dos produtos.

Sendo necessário também a análise dos impactos da Indústria 4.0 na própria natureza do trabalho, gerando questões como flexibilidade no trabalho, trabalho remoto, mudanças demográficas pelo envelhecimento da população, entre outras. Kagermann et al. (2013) afirma que do trabalhador do futuro será esperado proatividade e habilidades subjetivas (ou *soft skills*) como a autonomia, comunicação, responsividade entre outras, tomando foco por conta da automação. Gerando oportunidades como o enriquecimento e empoderamento dos trabalhadores, e um ambiente mais interessante e em constante inovação, maior autonomia nas decisões e maiores oportunidades para o autodesenvolvimento.

Atualmente, muitos países como Finlândia, Noruega, Brasil, Portugal, Alemanha, entre outros, discutem alternativas que tornem possível uma renda mínima universal para sua população, estando esta inserida no mercado de trabalho ou não, com o intuito de minimizar o impacto causado pela automação e diminuição dos postos de trabalho. Vale frisar que esta é somente uma das alternativas possíveis a ser seguida.

2.4 Programas e Iniciativas para Indústria 4.0

Devido em grande parte pela ascensão dos países asiáticos como potências industriais, de alta competitividade baixo custo logístico e baixo custo de produção e com auxílio dos governos que buscam a expansão das indústrias e atração de empresas estrangeiras, há um crescente movimento de desindustrialização em muitos países, como por exemplo na Europa que perdeu cerca de um terço de sua base industrial nos últimos 40 anos (European Parliament, 2015). A desindustrialização também foi verificada em países como Brasil, Austrália, Estados Unidos da América, e em outros países periféricos.

A fim de reduzir o processo de desindustrialização e aumentar a capacidade competitiva de empresas nacionais países como Canadá, EUA e alguns da Europa estabeleceram um forte compromisso industrial a longo prazo baseado na integração entre empresas de tecnologia, organizações governamentais e institutos de pesquisa e inovação (Liao et al 2017).

2.4.1 *Plattform Industrie 4.0* e *Smart Factory* – Alemanha

O termo “Indústria 4.0” foi pela primeira vez utilizado na Alemanha, e se desenvolveu por meio de três organizações, BITKOM (representa empresas de TI), a VDMA (representa indústrias mecânicas e manufatureiras) e ZVEI (representando fornecedores de equipamentos elétricos e eletrônicos), com grande suporte também do governo alemão. A iniciativa *Plattform Industrie 4.0* foi criada para contemplar as organizações supracitadas e as empresas privadas de diferentes

setores e portes, institutos de pesquisa, centros de desenvolvimento tecnológico e laboratórios (Vogel-Heuser & Hess, 2016). O grupo publicou um relatório orientador com recomendações para a implementação das iniciativas e consolidação com sucesso da Indústria 4.0 no país (Kagermann et al., 2013).

Este relatório cita oito processos chave (Kagermann et al., 2013; Wang, Tömgren, & Onori, 2015):

1. Padronização e arquitetura de referência
2. Gestão de sistemas complexos
3. Infraestrutura de redes de comunicação segura e de alta qualidade
4. Proteção e segurança dos produtos
5. Organização do trabalho
6. Treino dos profissionais
7. Ambiente regulatório
8. Eficiência na utilização de recursos

O programa *Smart Factory*, concebido pelo *German Research Center for Artificial Intelligence* (DFKI) em parceria com universidades e institutos de pesquisa, tem como principal objetivo a pesquisa e desenvolvimento de tecnologias no âmbito de: operadores, produtos, máquinas e planeadores inteligentes, ocorrendo colaboração e aprendizagem em tempo real entre estes (Kolberg & Zühlke, 2015). Existem também os *Fraunhofer*, institutos tecnológicos criados após a Segunda Guerra Mundial, que contribuem para a pesquisa e desenvolvimento de tecnologia para o setor industrial alemão (Daudt & Willcox, 2016).

2.4.2 *Factories of the Future* – União Européia

Lançada em 2016 na estratégia Horizonte 2020, formada de uma parceria público-privada foi criada pelo *European Factories of the Future Research Association* (EFFRA), no documento *Factories 4.0 and beyond*, que descreve as principais áreas de ação e os principais temas de pesquisa necessários além de conter recomendações para os anos seguintes até 2020.

As cinco áreas prioritárias de ação identificadas são (FoF 2016):

1. Redes de valor ágeis: lotes unitários;
2. Excelência na produção: produtos inovadores e sem defeitos, produção de processos e serviços avançada;
3. O fator humano: desenvolvimento de capacidades e competências nos trabalhadores em sinergia com o progresso tecnológico;
4. Redes de valor sustentáveis: buscando uma economia regenerativa e circular;
5. Plataformas de produção digitais interoperáveis: suportando um ecossistema de serviços na produção.

A meta principal da iniciativa é o aumento da competitividade e sustentabilidade das indústrias européias, preservando empregos e gerando crescimento. Nela participam empresas de todos os

portes, institutos de pesquisa, universidades e associações de toda a Europa, trabalhando em conjunto a fim de identificar e realizar as transformações necessárias para atingir a meta (FoF, 2016).

2.4.3 Iniciativa Portugal i4.0 – Portugal

Desenvolvida por organizações públicas, pelo Ministério da Economia, e privadas, por meio de entrevistas, workshops e audições com os principais intervenientes dos diferentes setores da economia portuguesa, possui três objetivos principais (COTEC, 2017):

- Aceleração da adoção das tecnologias e conceitos da Indústria 4.0
- Promover empresas tecnológicas a nível internacional
- Tornar o país num polo atrativo para o investimento no contexto da I4.0

Em 2016 o comitê estratégico, que é formado por aproximadamente 80 empresas dos mais variados setores, desenvolveu um relatório com o objetivo de planejar medidas iniciais de valorização, promoção e investimento na digitalização econômica portuguesa. A metodologia envolveu a realização de entrevistas individuais, sessões de discussão em grupo e a análise de outras iniciativas europeias relevantes. O relatório foi gerado após consulta com mais de 120 instituições públicas e privadas, sintetizando as medidas iniciais para a estratégia definida em cada um dos seis eixos de atuação prioritária (COTEC, 2017). Demonstrados na tabela 3.

Tabela 3 - Eixos de ação prioritária na iniciativa Portugal i4.0. Adaptado de COTEC (2017).

Eixo	Descrição
Capacitação dos Recursos Humanos	Adequar os conteúdos formativos do sistema de ensino nacional às novas tecnologias e promover medidas de requalificação e formação de profissionais.
Cooperação tecnológica	Promover a cooperação para o desenvolvimento e subsequente implementação de soluções e tecnologias inovadoras no quadro da 4ª revolução industrial.
StartUp i4.0	Reconhecer o papel das Startups na inovação tecnológica e desenvolver um conjunto de medidas direcionadas à Indústria 4.0 em linha com a Estratégia Nacional para o Empreendedorismo da Startup Portugal.
Financiamento e apoio ao investimento	Desenvolver um conjunto de mecanismos de financiamento destinados a projetos de âmbito Indústria 4.0 de forma a acelerar os

	investimentos e incentivar a adoção por parte do tecido empresarial português.
Internacionalização	Promover a tecnologia portuguesa para o mercado externo, incentivando assim a internacionalização das empresas e a atração de investimento no país.
Adaptação legal e normativa	Garantir adaptabilidade legal e normalização técnica face aos desafios da nova revolução industrial, criando um ambiente propício ao desenvolvimento e investimento tecnológico.

Dentro desses eixos foram definidas cerca de 64 medidas a serem exercidas pelos integrantes (órgãos governamentais, empresas públicas e privadas, instituições de ensino e pesquisa, associações), visando sua implementação e monitoramento. Uma das medidas era o desenvolvimento de um modelo de maturidade tecnológico que gerou o modelo Shift to 4.0, e justifica a relevância e foco deste trabalho (COTEC, 2017).

Atualmente o programa se encontra na Fase II, inscrita desta vez na Estratégia Nacional para o Horizonte 2030 e estima-se a mobilização de investimentos públicos e privados no valor de 600 milhões de euros nos próximos dois anos. Com o objetivo de integrar o grupo e países “leading” no contexto da i4.0, figura 3, meta que necessitaria do envolvimento de mais de 20.000 empresas portuguesas, requalificando e formando 200.000 trabalhadores em competências digitais e financiando mais de 350 projetos transformadores.



Figura 3 - Ranking de i4.0 Index Score em 2016 e 2017 e a meta para 2030 (COTEC, 2019)

Baseada em três linhas estratégicas para alcançar tal objetivo, sendo elas representadas na figura 4.

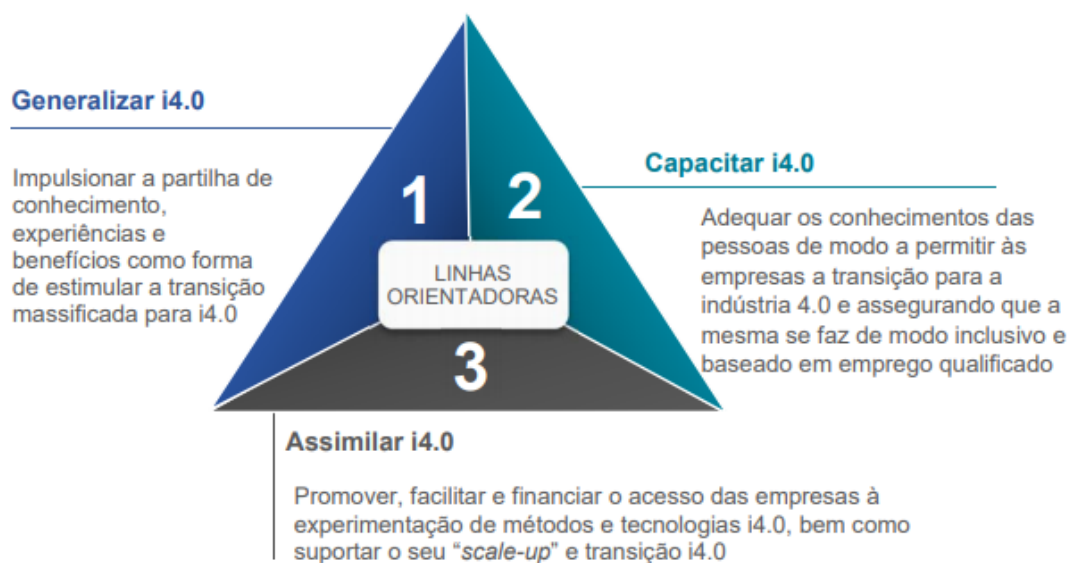


Figura 4 - Linhas orientadoras da Fase II do Programa Indústria 4.0 (COTEC, 2019)

2.4.4 Grupo de Trabalho da Indústria 4.0 – Brasil

No Brasil, em junho de 2017, foi estabelecido pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC) em conjunto com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), o Grupo de Trabalho da Indústria 4.0 (GTI 4.0). Possui mais de 50 instituições representativas (governo, empresas, sociedade civil organizada, etc), entre elas a Confederação Nacional da Indústria (CNI), por onde ocorreram diversas contribuições e debates sobre diferentes perspectivas e ações para a indústria 4.0 no Brasil. Temas prioritários como aumento da competitividade das empresas brasileiras, mudanças na estrutura das cadeias produtivas, um novo mercado de trabalho, fábricas do futuro, massificação do uso de tecnologias digitais, *startups*, *test beds*, dentre outros foram amplamente debatidos e aprofundados.

Pela alta heterogeneidade da indústria brasileira e pelas diferentes capacidades de cada setor em implementar ações de melhoria tecnológica, exige que as políticas sejam adaptadas para diferentes conjuntos de setores e de empresas. Neste contexto a CNI elaborou uma agenda de propostas no tema, abordando sete dimensões prioritárias para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil (CNI, 2016):

1. Aplicações nas cadeias produtivas e desenvolvimento de fornecedores
2. Mecanismos para induzir a adoção das novas tecnologias
3. Desenvolvimento tecnológico
4. Ampliação e melhoria da infraestrutura de banda larga
5. Aspectos regulatórios
6. Formação de recursos humanos
7. Articulação institucional

Outra iniciativa de fomento à inovação e disseminação de conhecimento tecnológico são os institutos do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) de Inovação e Tecnologia, que são centros de referência em determinadas áreas de conhecimento e aplicações industriais, formando uma rede para o desenvolvimento de produtos e processos inovadores, além de serviços tecnológicos para as empresas. Baseados em grande parte pela rede dos *Fraunhofer* alemã.

2.5 Etapas para a implementação da Indústria 4.0

O caminho para transição da indústria 3.0, ou até da 2.0 em alguns casos, para a 4.0 não é óbvio, considerando que empresas diferentes atuam em diferentes setores e operam de diferentes formas, isto é, cada empresa é considerada única, o que funciona para uma não funcionará necessariamente para outras. Portanto é de grande importância cada empresa adaptar sua estratégia, definindo suas necessidades, estado atual e estado futuro. Mas apesar disso Cotteleer e Sniderman (2017) definiram passos gerais que consideram que aumentam a probabilidade de sucesso dessa adaptação.

- I. Estudar intensamente as novas tecnologias: entendendo o conceito de cada tecnologia, seu potencial para o negócio, seu impacto na empresa como um todo e nos diferentes departamentos.
- II. Definir uma estratégia para a Indústria 4.0: definir os passos a seguir para a transformação da empresa, dentro destes pode ser incluído a avaliação da maturidade tecnológica da empresa, as competências atuais e necessárias, benefícios e custos relevantes.
- III. Desenvolver um projeto-piloto: para analisar as vantagens e desvantagens de cada tecnologia envolvida no projeto e sua relação com a empresa. Por se tratar de projetos-piloto possuem uma maior flexibilidade e menor custo.
- IV. Desenvolver as capacidades de análise de dados: identificar e reunir as informações relevantes, realizar uma análise de maneira eficaz, visando agregar valor aos dados recolhidos.
- V. Transformar a empresa em uma empresa digital: realizar uma reestruturação da empresa, visando maiores níveis de digitalização, eficiência e produtividade.
- VI. Criar um ecossistema: expandir os projetos-piloto relevantes a fim de melhorar processos e departamentos com o objetivo final de se obter uma fábrica flexível intraconectada, possibilitando um ecossistema digital entre parceiros, fornecedores e consumidores, conforme apresentado na figura 5.
- VII. Melhoria contínua: visando sempre a melhoria dos processos, produtos e serviços oferecidos pela empresa, focando no processo iterativo de melhoria.

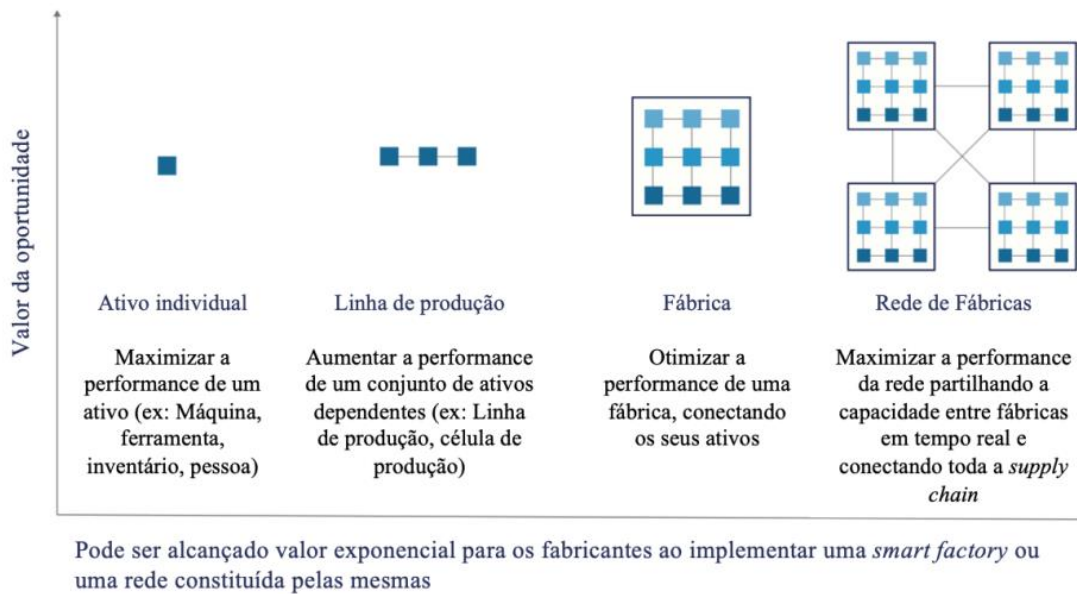


Figura 5 - Etapas na transformação digital de uma empresa. Adaptado de Burke et al. (2017)

Em suma, as etapas descritas acima auxiliam na delineação de uma estratégia para transformação mais clara e definida, que apesar de serem gerais, já são de grande ajuda para as empresas que desejam se atualizar e melhorar seus produtos, serviços, processos e competitividade.

2.6 Modelos de maturidade da Indústria 4.0

Modelos de maturidade em sua generalidade podem ser definidos como um modelo que avalia o estado atual do requisito desejado e procura auxiliar um indivíduo ou entidade a atingir um nível mais sofisticado de maturidade (i. e. habilidade) tais requisitos são amplos pois dependem da característica ou área avaliada, seguindo um processo contínuo de melhoria passo-a-passo (Mettler, 2011). Nikkhou *et al.* (2016) define maturidade como o estado em uma condição perfeita. Já Proença e Borbinha (2016) reportaram que a maturidade pode ser utilizada como um critério de avaliação para a determinação do estado atual e do estado alvo, ideal, que se deseja, permitindo a realização de uma avaliação interna e benchmark, registrar o seu progresso até determinado nível e avaliar pontos fortes, fracos e oportunidades pelo sequenciamento dos níveis de maturidade do mais básico ao mais avançado.

De maneira geral, modelos de maturidade possuem dimensões e níveis, tais derivados de métodos qualitativos de pesquisa, estudos de caso, grupos focais e outras metodologias. Os níveis são nada mais que rótulos ordinais equivalentes aos estágios de maturidade, e as dimensões que representam capacidades específicas do domínio de interesse. Um nível de maturidade consiste na consolidação de práticas gerais e específicas a um conjunto de processos predefinidos que melhoram a performance geral de um objetivo específico, empresa, ou outro domínio de interesse (De Souza & Gomes, 2015).

Múltiplos modelos podem ser combinados para realizar uma mesma avaliação, apesar destes comumente serem limitados a medir somente um aspecto particular de um domínio de conhecimento, mas esta combinação de modelos pode ser desafiadora pois nem todos possuem níveis e dimensões equivalentes. Dentro das críticas mais comuns a modelos de maturidade, temos, acurácia insuficiente, falta de documentação, fundamentação teórica baixa e possível abordagem tendenciosa (Donovan et al., 2016)

No requisito da Indústria 4.0, Erol *et al.* (2016) encontrou que as empresas têm grandes dificuldades em adotar as tecnologias associadas em grande parte devido a inadequação de suas tecnologias atuais de TI, falta de recursos para o investimento e falta de conhecimento sobre o tema. Com base em entrevistas no meio industrial, Schumacher *et al.* (2016) realçou que quando se trata da implementação prática de tecnologias da Indústria 4.0 surgem três grandes problemas:

1. Falta de orientação estratégica e conhecimento sobre o conceito de Indústria 4.0.
2. Incerteza sobre os resultados obtidos, no requisito custo/benefício.
3. Falha na determinação da capacidade da empresa adotar tecnologias da Indústria 4.0.

E Lichtblau et al. (2015), em sua pesquisa sobre modelos de maturidade, realçaram os seguintes obstáculos para a implementação com sucesso da I4.0 nas indústrias da Alemanha.

- Falta de clareza sobre os benefícios econômicos
- Falta de conhecimento ou mão de obra qualificada
- Falta de normatização e padrões
- Falta de confiança na segurança dos dados
- Questões legais não resolvidas
- Falta de cultura corporativa para os conceitos da Indústria 4.0
- Falta de informação sobre a necessidade do mercado
- Infraestrutura de rede de internet inadequada
- Falta de recursos financeiros para realizar os investimentos
- Burocracias internas e questões regulatórias
- Falta de abertura da força de trabalho para a digitalização

Face a estes problemas ou obstáculos, os modelos de maturidade e avaliação tornam-se importantes, auxiliando na adaptação das empresas ao conceito de Indústria 4.0. Existem atualmente diversos modelos de maturidade utilizados para este fim, criados tanto por acadêmicos como por empresas de consultoria, alguns destes considerados relevantes para este trabalho estão descritos na tabela 4. Nesta tabela foram considerados diversos aspectos dos modelos, descritos abaixo:

- Autor e nome do modelo: a fim de propriamente conferir autoria e especificidade do modelo.

- Número de níveis de maturidade: quantos são os níveis de maturidade utilizados no modelo.
- Número de dimensões: quantas dimensões são utilizadas no modelo, sendo que nesta análise primária não foram considerados a abrangência e detalhamento das dimensões, somente a sua quantidade.
- Foco: se o modelo possui uma abrangência específica a um setor empresarial ou se pode ser aplicado em qualquer empresa de qualquer setor.
- Aplicação: como ocorre a aplicação do modelo, podendo ser uma auto-avaliação pela empresa, se é auxiliada por consultores ou outros agentes externos.
- Facilidade de uso: mais subjetiva, mas ainda relevante. Busca analisar o nível de conhecimento requerido para utilizar o modelo de forma efetiva.
- Benchmarking: após a aplicação do modelo e a determinação do nível da empresa, se é possível a comparação (benchmarking) com outras empresas do mesmo setor ou ramo de atividade.
- Análise de Gaps: se o modelo retorna uma análise dos gaps (falhas ou pontos de melhoria) para a empresa, com sugestões de ações para sanar tais gaps.
- Questionário disponível: resposta de caráter binário, sim ou não, se o questionário utilizado no modelo está disponível no artigo ou documento de origem.

Como o propósito deste trabalho é a aplicação de um dos modelos apresentados acima em empresas para se averiguar o seu nível de maturidade, e isto não seria possível sem uma explicação sobre a metodologia de cada modelo e sem seu questionário. Portanto nas seções seguintes é descrito com maiores detalhes os modelos que possuem em seu artigo de origem uma explicação da metodologia e questionário disponível, ou seja, os modelos Industry 4.0 Maturity Model, IMPULS – industrie 4.0-readiness, Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy, e Shift to 4.0.

Tabela 4 - Comparação entre os diversos modelos de maturidade I4.0 encontrados na revisão da literatura. O autor (2020)

Autores	Schumacher et al. (2016)	Lichblau et al. (2015)	Geissbauer et al. PwC (2016)	Gokalp et al (2017)	Jung et al. (2016)	Rockwell Automation (2014)	Schuh et al (2017)	Akdil et al. (2018)	IAPMEI (2019)
Nome do Modelo	Industry 4.0 Maturity Model	IMPULS – industrie 4.0-readiness	Blueprint for digital success	Industry 4.0-MM	SMSRL	The connected enterprise maturity model	Industrie 4.0 maturity index	Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy	Shift to 4.0
# Níveis de Maturidade	5 níveis do 1 ao 5	6 níveis do 0 ao 5	Inexistente	6 do 0 ao 5	Porcentagem, de 0 a 100%	Não informado	6 estágios de desenvolvimento	4 do 0 ao 3	6 níveis do 0 ao 5
# Dimensões	9	6 com 18 sub-dimensões	7	5	4	4	4 áreas principais	3	6 com 18 sub-dimensões
Foco	Geral	Industrial	Geral	Geral	Geral	Geral	Geral	Geral	Geral
Aplicação	Auto-avaliação	Auto-avaliação	Auto-avaliação auxiliada	Não informada	Não informada	Auxiliada	Auto-avaliação	Não informada	Auto-avaliação, possível consultoria
Facilidade de uso	Requer conhecimentos básicos sobre Ind 4.0	Requer conhecimentos básicos sobre Ind 4.0	Nenhum conhecimento requerido (auxílio de consultores)	Não informada	Não informada	Nenhum conhecimento requerido (auxílio de consultores)	Requer conhecimentos básicos sobre Ind 4.0	Requer conhecimentos básicos sobre Ind 4.0	Requer conhecimentos básicos sobre Ind 4.0
Benchmarking	Não	Sim, relatório gerado automaticamente	Sim, com auxílio de consultores	Não informado	Não informado	Sim, com auxílio de consultores	Não	Não informado	Sim, relatório gerado automaticamente
Análise de Gaps	Não informado	Sim, relatório gerado automaticamente	Sim, com auxílio de consultores	Não informado	Não informado	Sim, com auxílio de consultores	Sim, auto-avaliação	Não informado	Sim, relatório gerado automaticamente
Questionário disponível	Somente exemplo	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Sim	Sim

2.6.1 Industry 4.0 Maturity Model

Schumacher *et al.* (2016) com base em experiências em workshops, recomendações de especialistas, artigos científicos, estudos e relatórios desenvolveu seu modelo intitulado *Industry 4.0 Maturity Model* (Modelo de Maturidade para a Indústria 4.0, tradução do autor). Esse modelo utiliza nove dimensões e sessenta e dois itens de maturidade para determinar a maturidade no quesito Indústria 4.0 das empresas, sendo cinco níveis possíveis, onde empresas avaliadas como nível 1 não possuem os atributos necessários para os conceitos da Indústria 4.0 e as avaliadas como nível 5 cumprem os requisitos necessários da Indústria 4.0, como demonstrados resumidamente na tabela 5.

Tabela 5 - Dimensões e itens de maturidade utilizados no Modelo de Maturidade para a Indústria 4.0. Fonte: Schumacher et al. 2016. Adaptado.

Dimensão	Exemplo de item de maturidade
Estratégia	Roadmap para Ind.4.0, Recursos disponíveis, ...
Liderança	Disposição dos líderes, Competências da gestão de topo, ...
Clientes	Utilização de dados do cliente, Digitalização das vendas/serviços, ...
Produtos	Lotes unitários, Digitalização dos produtos, ...
Operação	Descentralização dos processos, Modelagem e simulação, ...
Cultura	Compartilhamento de conhecimento, Colaboração entre departamentos, ...
Pessoas	Competências dos funcionários, Autonomia dos funcionários, ...
Governança	Requisitos legais para Ind.4.0, Proteção de propriedade intelectual, ...
Tecnologia	Existência de ICT moderna, Utilização de comunicação M2M, ...

A avaliação é realizada por meio de questionários utilizando a escala Likert, com notas de 1 a 5, cada pergunta tem um peso específico e após é calculado o nível de maturidade da empresa por meio de uma equação própria para isto (Equação 1). Onde M corresponde a maturidade, D corresponde a dimensão avaliada, I corresponde ao item avaliada, g corresponde ao fator de peso do item, e n corresponde ao número do item de maturidade (Schumacher *et al.* 2016).

$$M_D = \frac{\sum_{i=1}^n M_{Dli} * g_{Dli}}{\sum_{i=1}^n g_{Dli}} \quad (1)$$

A pesquisa desenvolveu uma ferramenta para facilitar a avaliação do nível de maturidade, tendo como saída um relatório e gráfico radar tanto da organização como um todo, figura 6, quanto das dimensões avaliadas, figura 7.

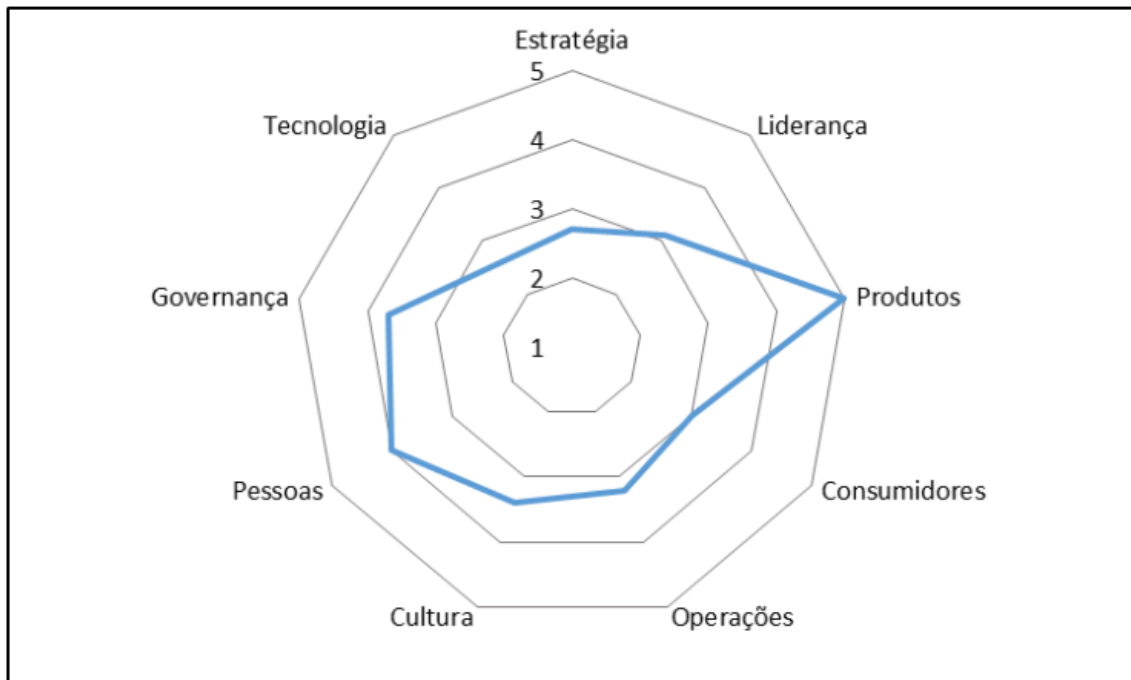


Figura 6 - Visualização da maturidade das nove dimensões. Fonte: Adaptado de Schumacher et al. 2016.

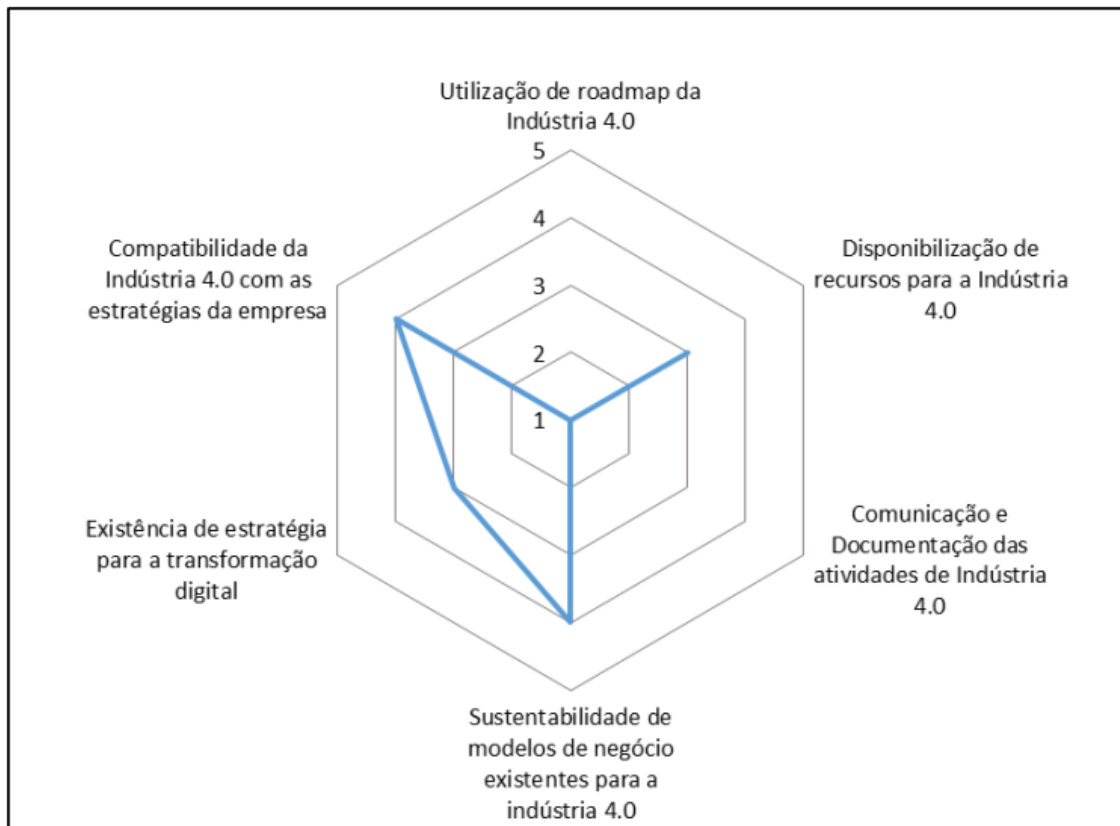


Figura 7 – Resultados detalhados da dimensão estratégia. Fonte: Adaptado de Schumacher et al. 2016.

O estudo de Schumacher *et al.* (2016) explica que o nível de detalhamento e o modo de representação foram ajustados conforme as necessidades práticas levantadas nos testes piloto em duas empresas, a fim de transformar o modelo em uma ferramenta de fácil entendimento, não necessitando de grandes conhecimentos sobre a Indústria 4.0 para sua utilização.

2.6.2 IMPULS – industrie 4.0-readiness

A Associação de Fabricantes de Máquinas da Alemanha (VDMA), por meio da Fundação IMPULS, e com o auxílio de empresas do setor industrial e as instituições de pesquisa *IW Consult* e *Institute for Industrial Management*, realizou um estudo para analisar a preparação das empresas face a Indústria 4.0, o resultado deste estudo é uma ferramenta de autoavaliação com foco em empresas das indústrias mecânica e produção.

O modelo de maturidade desenvolvido é dividido em seis dimensões e dezoito áreas de interesse conforme demonstrados na tabela 6.

Tabela 6 - Dimensões e capacidades do modelo IMPULS– industrie 4.0-readiness. Adaptado de Lichtblau et al., 2015.

Dimensões	Capacidades de transformação
Estratégia e Organização	Gestão estratégica para operacionalização da I4.0
	Investimentos nas tecnologias da I4.0

	Gestão da inovação e uso de tecnologia
Fábricas Inteligentes	Modelagem digital
	Infraestrutura de equipamentos
	Uso de dados
	Sistemas de Informação
Operações Inteligentes	Uso da nuvem
	Segurança das tecnologias de informação
	Processos autônomos
	Partilha de informações
Produtos Inteligentes	Softwares embarcados nos produtos
	Análise de dados durante a fase de utilização do produto
Serviços derivados de dados	Disponibilidade de serviços baseados em dados
	Proporção das receitas derivadas de serviços baseados em dados
	Proporção de dados utilizados na fase de uso do produto
Força de trabalho	Habilidades existentes
	Aquisição de habilidades relevantes

Tais dimensões e capacidades são utilizadas para avaliar a empresa por meio de um questionário e a encaixar num dos seis níveis de maturidade, cada um contendo requisitos mínimos a serem alcançados antes de avançar para o próximo nível, além disso o nível de maturidade de uma determinada dimensão é definido como o menor nível de maturidade das respectivas capacidades que a compõem, se por exemplo, em uma dimensão qualquer tiver nível 1 para uma capacidade e nível 4 para as restantes o nível de maturidade de dada dimensão será 1, pois a empresa necessita preencher completamente os requisitos de cada dimensão de maneira que os avanços em cada capacidade sejam em paralelo com as outras capacidades da dimensão.

Cada dimensão medida tem seu próprio nível de maturidade, e de maneira geral para a toda empresa os níveis e seus requisitos mínimos são descritos abaixo:

- Nível 0 – Não Iniciado (*Outsider*): uma empresa neste nível não possui nenhum dos requisitos ou capacidades da I4.0. É automaticamente atribuído para empresas que desconhecem a I4.0 ou a considera irrelevante.
- Nível 1 – Iniciante (*Beginner*): a empresa tem iniciativas piloto em relação a I4.0. Alguns processos produtivos são suportados por TIC, o que parcialmente satisfaz as futuras necessidades de integração e comunicação. Poucas áreas possuem sistemas integrados e fazem partilha de informação. Os produtos podem ser fabricados com funcionalidades básicas de TIC. Poucas áreas têm possibilidade de expansão no quesito I4.0.

- Nível 2 – Intermediário (*Intermediate*): incorpora a Indústria 4.0 na sua orientação estratégica e desenvolve indicadores adequados para medir o status da implementação. Investimentos relevantes são feitos em algumas poucas áreas. Alguns dados de produção são automaticamente coletados e utilizados de forma limitada. A infraestrutura de equipamentos não satisfaz todos os requisitos para expansões futuras. Fabrica produtos com as primeiras funcionalidades de TIC embarcadas. Em algumas áreas, os funcionários possuem as habilidades necessárias para expandir a Indústria 4.0.
- Nível 3 – Experiente (*Experienced*): a empresa já possui uma estratégia formulada para a Indústria 4.0. Há investimentos em várias áreas, promovendo a introdução da Indústria 4.0 por meio de gestão de inovação dirigida aos departamentos. Os sistemas de TI em produção são interligados por meio de interface e suportam os processos de produção com dados coletados automaticamente de áreas chave. A infraestrutura de equipamentos pode ser melhorada para acomodar expansão futura. Compartilhamento de informações internas e externas está parcialmente integrada ao sistema. Soluções de segurança de TI foram implementadas. Soluções baseadas em nuvem são planejadas para acomodar expansão futura. Nesse nível, a empresa fabrica produtos com variadas funcionalidades de sistemas de TI conectadas. Com esses produtos são dados os primeiros passos para a criação de um serviço baseado em dados, porém ainda sem integração com os clientes. Melhorias nas habilidades dos funcionários está sendo feita para aumentar os esforços em direção à Indústria 4.0.
- Nível 4 – Especialista (*Expert*): a estratégia para a Indústria 4.0 já está sendo usada e monitorada com os indicadores apropriados. Investimentos já estão presentes em quase todas as áreas relevantes e o processo é suportado por uma gestão interdepartamental. Os sistemas de TI já estão presentes em quase todo o processo de produção, coletando grande quantidade de informações, que serão utilizadas para otimização da linha. A infraestrutura de equipamentos já está adequada aos requisitos futuros de integração. O compartilhamento de informações internamente e externamente já estão integradas ao sistema. Soluções de segurança de TI já são usadas nas principais áreas. Já há exploração de locais de trabalho guiados automaticamente e processos de reação automática. As partes do produto e o produto final possuem funcionalidades que permitem a coleta de dados e análise durante a fase de uso. Essas funcionalidades suportam serviços suportados por dados, que os clientes já usam e representa uma pequena parte da fonte renda da empresa. Na maior parte das áreas relevantes da empresa há funcionários com as habilidades necessárias para a Indústria 4.0.
- Nível 5 – Executor Perfeito (*Top performer*): a estratégia para a Indústria 4.0 já implementou e monitora regularmente o status da implementação de outros projetos. Investimentos por toda a empresa suportam a implementação. A gestão de inovação está implementada em toda a empresa. Sistemas de TI suportam a produção e coletam dados importantes automaticamente. A infraestrutura de equipamentos satisfaz todos os requisitos para integração e comunicação integrada. Informações são compartilhadas tanto internamente como externamente com parceiros de negócios. Soluções de

segurança de TI foram implementadas e as soluções baseadas em nuvem entregam arquitetura de TI flexível. As partes do produto e o produto possuem funcionalidades baseadas em TI e coletam dados durante a fase de uso para serem usados no desenvolvimento do produto, na manutenção remota e no suporte de vendas. A empresa possui a expertise interna necessária em todas as áreas críticas e pode prosseguir com a Indústria 4.0.

Conforme o nível de maturidade obtido para a empresa, esta é classificada como Novata ou “Newcomer”, Aprendiz ou “Learner”, Líder ou “Leader” conforme a figura 8. No estudo realizado pela fundação IMPULS, de acordo com Lichtblau et al. (2015) apenas 5,6% das empresas avaliadas são consideradas líderes, 17,9% consideradas aprendizes, e a grande maioria de 76,5% consideradas novatas por não terem nenhuma ação estruturada para implementar a I4.0.

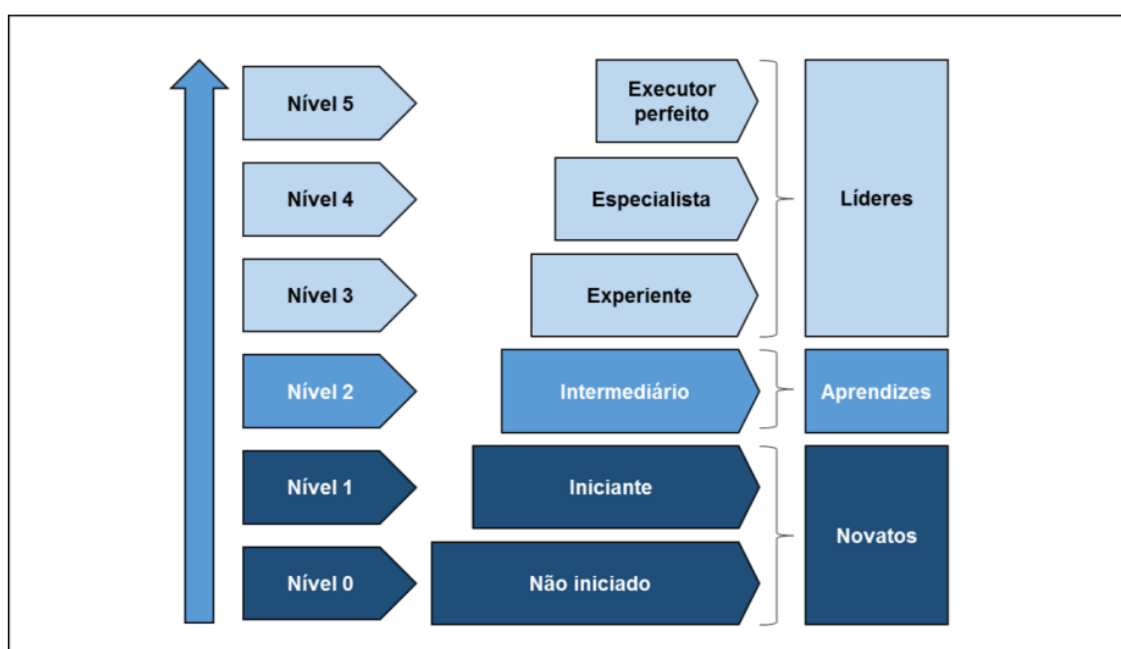


Figura 8 - Níveis de maturidade do modelo IMPULS– industrie 4.0-readines e classificação. Adaptado de Lichtblau et al. (2015).

No cálculo final para o nível de maturidade global da empresa o modelo pressupõe uma ponderação de cada dimensão desenvolvida pela análise e realizada no estudo base para o modelo, os valores em porcentagem se encontram na tabela 7.

Tabela 7 - Ponderação de cada dimensão do modelo IMPULS– industrie 4.0-readines. Adaptado de Lichtblau et al. (2015).

Estratégia e Organização	25%
Fábricas Inteligentes	14%
Produtos Inteligentes	19%
Serviços Baseados em Dados	14%
Operações Inteligentes	10%
Força de Trabalho	18%

É importante realçar que tal ponderação foi realizada pela análise de empresas da área industrial mecânica e manufatureira da Alemanha, e não necessariamente seria condizente se este modelo de maturidade for aplicado em outras empresas de outras áreas.

Foi também desenvolvida uma ferramenta online, onde as empresas interessadas podem realizar sua autoavaliação pelo questionário provido, resultando num relatório detalhado sobre sua maturidade e uma comparação com outras empresas do mesmo segmento e porte, possibilitando benchmark. Não é claro como é realizada a avaliação de cada uma das questões do questionário, somente é provida a avaliação por critério e por dimensão.

2.6.3 Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy

Criado por Akdil et al (2018) e publicado no livro Industry 4.0: Managing the Digital Transformation, o modelo de maturidade e preparo para a estratégia da Indústria 4.0 (tradução do autor) foi gerado após a análise de modelos de maturidade para a I4.0 anteriores e incorpora, segundo Akdil et al (2018) os melhores pontos de cada modelo analisado.

O modelo é composto por três dimensões, três sub-dimensões e treze campos associados demonstrados na tabela 8.

Tabela 8 - Dimensões, sub-dimensões e campos associados do modelo Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy. Adaptado de Akdil et al. (2018).

Dimensões	Sub-dimensões	Campos Associados
Produtos e Serviços Inteligentes		Produtos e Serviços Inteligentes
Processos de Negócio Inteligentes	Produção e Operações Inteligentes	Produção, Logística e Compras
		Desenvolvimento de Produto
	Marketing e Vendas Inteligentes	Serviço pós-venda
		Precificação/Promoção
		Canais de venda e distribuição
	Operações de Suporte	Recursos Humanos
		Tecnologias da Informação
Finanças Inteligentes		
Estratégia e Organização		Modelos de Negócio
		Parcerias estratégicas
		Investimentos em tecnologia

		Estrutura Organizacional e Liderança
--	--	--------------------------------------

A dimensão de Produtos e Serviços Inteligentes avalia se os produtos oferecidos pela empresa possuem funcionalidades relevantes no contexto da I4.0, ou seja, se armazenam dados de uso, realizam tarefas computacionais, fornecem informações como status, propriedades, localização, entre outros. Processos de Negócio Inteligentes contém as operações funcionais da empresa e as avalia em relação as tecnologias da I4.0. Estratégia e Organização analisa a estratégia da empresa frente a I4.0.

O modelo é aplicado com base em um questionário no qual cada questão tem nota de 0 a 3 pontos, sendo a nota de cada campo associada à média aritmética das questões relacionadas a este, a nota da dimensão sendo a média aritmética das notas dos campos associados a esta, e por fim a nota geral da empresa é a nota mínima obtida pelas três dimensões. Conforme as equações 2, 3 e 4, onde M é a maturidade, D é a dimensão, A é o campo associado, O é geral, n é o número total de questões e m é o número de campos associados.

$$M_{DAi} = \frac{\sum_{j=1}^n Q_{Aij}}{n} \quad (2)$$

$$M_D = \frac{\sum_{j=1}^m M_{DAi}}{m} \quad (3)$$

$$M_O = \min (M_1, M_2, M_3) \quad (4)$$

A maturidade é mensurada em quatro níveis, conforme descritos abaixo:

- Nível 0 – Ausência: A empresa não consegue atender a nenhum requisito da Indústria 4.0.
- Nível 1 – Existência: A companhia tem algumas iniciativas de I4.0 nos departamentos. Os produtos possuem algumas capacidades da I4.0. Níveis de integração, automação e coleta de dados são baixos. Tecnologias digitais e nuvem existem em algumas áreas. Gestores de topo consideram implementar estratégia de I4.0 com investimentos em algumas áreas.
- Nível 2 – Sobrevivência: Produtos da empresa são capazes de gerenciar dados em tempo real e ser rastreados. Serviços dirigidos aos dados são oferecidos em nível médio. Os processos de negócios da empresa estão integrados a nível médio. Processos estão prontos para serem descentralizados e há interoperabilidade em algumas áreas. Liderança está desenvolvendo planos para a Indústria 4.0 e fez investimentos em algumas áreas. Companhia procura criar parcerias com outras empresas e com centros acadêmicos.

- Nível 3 – Maturidade: Produtos definidos como *smart* e serviços dirigidos a dados são disponibilizados a um alto nível. Os processos de negócio da empresa estão em um alto nível de integração, coleta, uso e agilidade. Quase todos os processos são capazes de serem descentralizados e o princípio de interoperabilidade está implementado em várias áreas. A liderança dá suporte para a Indústria 4.0 e fez investimentos em quase todos os departamentos. A estrutura organizacional é compatível para o gerenciar a transformação pela empresa. Há várias parcerias com outras empresas, centros acadêmicos, fornecedores e provedores de tecnologias.

Sendo os limites máximos e mínimos para cada nível definidos pela tabela 9.

Tabela 9 - Limites de cada nível de maturidade pelo modelo Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy. Adaptado de Akdıl et al. (2018).

Nível de maturidade	Mínimo	Máximo
0 – Ausência	0,0	0,9
1 – Existência	0,9	1,8
2 – Sobrevivência	1,8	2,7
3 – Maturidade	2,7	3,0

2.6.4 Shift to 4.0

Preconizada pelo ISQ (Instituto de Soldadura e Qualidade) e promovida pelo IAPMEI (Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação) o Shift to 4.0 é um modelo de maturidade baseado no IMPULS – industrie 4.0-readiness, descrito em detalhes no item 3.3.2, e adaptado à realidade portuguesa.

Conta com as mesmas características do modelo alemão, mas com alterações no questionário e no foco, agora mais generalizado. A principal alteração foi a adição de uma questão relativa a empresa, se esta possui ou não fabrico próprio ou chão-de-fábrica, caso não, não há necessidade do respondente preencher as questões relativas as dimensões de Produtos Inteligentes e Fábrica Inteligentes mas não deixa explícito como a falta da nota referente a essas dimensões impacta o nível geral da empresa.

Foi também desenvolvida uma ferramenta online, onde as empresas interessadas podem realizar sua autoavaliação pelo questionário provido, resultando num relatório detalhado sobre sua maturidade, uma comparação com outras empresas do mesmo segmento e porte, possibilitando benchmark, e recomendações de como melhorar seu nível de maturidade e uma oferta de possível consultoria por parte do IAPMEI (IAPMEI, 2019).

2.7 Método de escolha do modelo a ser utilizado

Para poder definir qual dos modelos descritos na seção 3.3 será utilizado para a análise das empresas foi utilizado o método AHP (Analytic Hierarchy Process – Processo Analítico de

Hierarquização, tradução do autor), desenvolvido por Saaty nos anos 70, a escolha deste método se deu pelo fato dos critérios de comparação são de caráter subjetivo, de difícil quantificação, mas podem ser hierarquizados. A metodologia consiste nas etapas seguintes:

1. Definição explícita dos critérios
2. Determinação da importância relativa de cada critério
3. Avaliação dos critérios para cada alternativa
4. Valoração global para cada alternativa

Os critérios ou subcritérios de cada nível são comparados par a par, de acordo com a tabela 10, e a partir das comparações é constituída uma matriz de comparação, tal como na figura 9. Esta matriz é a base para o cálculo das importâncias relativas dos diferentes critérios. É colocado o valor de 1 na diagonal da matriz uma vez que cada critério representa a mesma importância consigo mesmo e segue o procedimento de comparação par a par para as outras, onde os elementos seguem a equação 5, isto é, as comparações são recíprocas.

Tabela 10 - Escala fundamental de Saaty. Adaptado de Saaty (1987).

Escala	Avaliação	Comentários
Igual importância	1	Os dois contribuem igualmente para o(s) objetivo(s)
Importância moderada	3	A experiência e o julgamento favorecem um critério levemente sobre o outro
Mais importante	5	A experiência e o julgamento favorecem um critério fortemente sobre o outro
Muito importante	7	Um critério é fortemente favorecido em relação ao outro e pode ser demonstrado na prática
Importância extrema	9	Um critério é favorecido em relação a outro com o mais alto grau de certeza
Valores intermediários	2,4,6,8	Quando se procura condições de compromisso entre duas definições

	Alternativa 1	Alternativa 2	...	Alternativa n
Alternativa 1	1	Alt. 1 vs Alt. 2	...	Alt. 1 vs Alt. n
Alternativa 2	Alt. 2 vs Alt. 1	1	...	Alt. 2 vs Alt. n
...	1	...
Alternativa n	Alt. n vs Alt. 1	Alt. n vs Alt. 2	...	1

Figura 9 - Matriz de comparação dos critérios. Adaptado de Saaty (1991).

$$a_{ij} = 1/a_{ji} \quad (5)$$

Tal importância relativa é calculada a partir da média geométrica das avaliações de cada um dos critérios, que será dividida pela soma dos vetores de prioridades como mostrado nas equações J

e **I**, onde VE_j é o vetor de prioridade do critério j , C_j é o valor da avaliação relativa do critério j , p_j é a importância relativa do critério k e VE_s é a soma dos vetores de prioridade.

$$VE_j = \sqrt[j]{C_1 * C_2 * \dots * C_j} \quad (6)$$

$$p_j = \frac{VE_j}{VE_s} \quad (7)$$

A seguir é necessário avaliar a consistência da avaliação dos critérios, realizada pelas equações **T** e **R** e pela tabela 11. Onde CI representa o índice de consistência, n é o número de critérios avaliados, $\lambda_{máx}$ é o maior autovalor da matriz de comparações e RI é o índice de consistência aleatória fornecido pela tabela 11 e CR é o rácio da consistência (Saaty 1994).

$$CI = \frac{\lambda_{máx} - n}{n - 1} \quad (8)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (9)$$

Tabela 11 - Valores de RI para diferentes tamanhos de matrizes de comparação. Adaptado de Saaty (2004).

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49

O valor é considerado consistente se o CR for inferior a 10%, se não, o decisor terá de reavaliar as comparações que efetuou pois estas podem estar sujeitas a alguma inconsistência devida a alguma intransitividade possível nas comparações (Godinho et al. 2011).

E o valor global para cada alternativa é encontrado pela soma dos produtos da pontuação em cada critério com sua relevância relativa, de acordo com a equação 10, onde $V(a)$ é o valor global para o modelo, n é o número de critérios, p_j é a relevância relativa do critério, c_j é a pontuação obtida pelo modelo no dado critério .

$$V(a) = \sum_{j=1}^n p_j c_j \quad (10)$$

A alternativa que possuir maior valor global deve ser a escolhida pelo decisor, pois esta é a que, de acordo com o método, é a opção que melhor se encaixa com os critérios escolhidos e sua importância relativa.

Capítulo 3 - Resultados e Discussão

3.1 Escolha do modelo a ser utilizado

Partindo das etapas para a aplicação do método AHP, explicado na seção 2.7 critérios foram definidos a partir das necessidades observadas pelo autor com base no planejamento do uso do modelo e seguem descritos abaixo:

- I. Dimensões: critério referente ao número de dimensões e sub-dimensões, avaliando se a quantidade e nível de descrição das dimensões e sub-dimensões estão em nível suficiente para o entendimento e dar uma visão detalhada para o respondente.
- II. Detalhamento das questões: Avalia o nível de detalhe das perguntas, idealmente não deve ser muito profundo para não afetar o tempo de aplicação e entendimento, mas não ser tão raso que diminua a acurácia da avaliação.
- III. Níveis de maturidade: leva em conta o número e cálculo utilizado para medir os níveis de maturidade, onde ter poucos níveis pode apresentar um salto tecnológico muito grande entre um nível e outro, analisa ainda a descrição de tais níveis e como é realizado o cálculo dos níveis de maturidade tanto global quanto por dimensão ou sub-dimensão.
- IV. Abrangência: analisa se o modelo pode ser aplicado independente do setor ou área de atuação da empresa, sem a necessidade de uma adaptação ou alteração.
- V. Facilidade de aplicação: critério que está intimamente relacionado aos outros critérios, analisa de maneira geral a facilidade de um aplicador sem muitos conhecimentos prévios responder o questionário e realizar a avaliação da maturidade de uma empresa.
- VI. Histórico: analisa a prévia aplicação e validação do modelo como um todo em empresas, isto é, se já foi aplicado amplamente ou não.

Com base na tabela 10 e nos seis critérios descritos acima, foi desenvolvida a tabela 12 para determinar a importância relativa de cada critério.

Tabela 12 - Avaliação da importância relativa de cada critério. O autor (2020).

Critérios (Cj)	I	II	III	IV	V	VI	Vetor de Prioridade (VEj)	Importância relativa (pj)
I	1	1/5	3	1/5	1/3	1/3	0,49	6,32%
II	5	1	5	1/2	1	5	1,99	25,84%
III	1/3	1/5	1	1/5	1/3	1/5	0,31	4,02%

IV	5	2	5	1	3	2	2,59	33,56%
V	3	1	3	1/3	1	3	1,44	18,71%
VI	3	1/5	5	1/2	1/3	1	0,89	11,56%
Soma (s)	17,33	4,60	22,00	2,73	6,00	11,53	7,71	100%

Como os valores obtidos para o CI, RI e CR são de 0,11, 1,25 e 9% respectivamente não há a necessidade de reavaliar as comparações. Portanto, para o autor desta dissertação, os critérios mais importantes são, em ordem decrescente: IV - Abrangência, II – Detalhamento das questões, V – Facilidade de aplicação, VI - Histórico, I - Dimensões e III – Níveis de maturidade.

Com a relevância relativa de cada critério, foi elaborada a tabela 13 onde temos as notas de cada modelo de maturidade para cada critério e seu valor global, tal pontuação foi realizada de acordo com a tabela 10.

Tabela 13 - Valores por critério e globais de cada modelo de maturidade. O autor (2020).

Modelos	Crítérios						Valor Global
	I	II	III	IV	V	VI	
Industry 4.0 Maturity Model	9	3	7	3	4	3	3,73
IMPULS – industrie 4.0-readiness	7	7	9	3	9	7	6,11
Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy	5	8	5	7	7	2	6,47
Shift to 4.0	7	7	9	6	9	7	7,12

Abaixo tem-se uma explicação sucinta em relação a pontuação de cada modelo:

- Industry 4.0 Maturity Model: O modelo é bem robusto, mas falha ao fornecer somente um exemplo dos itens avaliados e das questões utilizadas, o que dificulta sua aplicação. Fora as empresas utilizadas para testar o modelo não foi encontrado um histórico de utilização, o foco em indústrias de produção e a falta de um questionário pronto limita a sua aplicação.
- IMPULS – industrie 4.0-readiness: A grande falha deste modelo é a sua baixa adaptabilidade devido ao foco industrial, não sendo recomendado para outros setores empresariais.
- Maturity and readiness model for Industry 4.0 strategy: Apesar de ter um questionário bem completo, possui poucos níveis de maturidade, nenhum histórico de aplicação prévia fora o teste piloto e não possui ferramenta online de autodiagnóstico.

- Shift to 4.0: Como é baseado no IMPULS – industrie 4.0-readiness, obteve em grande parte as mesmas pontuações que este, mas amplia o foco permitindo ser utilizado em outros setores não só no da indústria mecânica e manufatureira, resultando num valor global superior.

Com base no método AHP pode-se concluir que, de acordo com os critérios selecionados e dentro das alternativas de modelos de maturidade, o modelo Shift to 4.0 tem maior valor global, isto é, é o recomendado de acordo com os critérios escolhidos. Portanto será o modelo de maturidade a ser utilizado na próxima seção.

3.2 Aplicação do modelo escolhido

A fim de melhor entender a adoção da I4.0 nas empresas, foi realizado um inquérito com base na aplicação do modelo Shift to 4.0 e envio do questionário por e-mail, presente no anexo A, para contatos em empresas tanto portuguesas quanto brasileiras. Este inquérito obteve sete respostas, algumas características relevantes das empresas respondentes encontram-se na tabela 14.

Tabela 14 - Características gerais das empresas respondentes. O autor (2020).

Empresa	Sector de Atividade	Número de Colaboradores	Volume de negócios anual	País
1	Análises Laboratoriais	de 50 a 249 colaboradores	entre 2 e 10 milhões de €	BR
2	Mineração	até 9 colaboradores	abaixo de 2 milhões de €	BR
3	Financeiro	250 ou mais colaboradores	Não especificado	BR
4	Aeroespacial	250 ou mais colaboradores	acima de 50 milhões de €	BR
5	Distribuição de Eletricidade	250 ou mais colaboradores	acima de 50 milhões de €	PT
6	Automobilístico	de 50 a 249 colaboradores	acima de 50 milhões de €	PT
7	Automobilístico	250 ou mais colaboradores	Não especificado	PT

Como se pode notar, há uma grande heterogeneidade das empresas em relação ao setor de atividade, com somente duas atuando no mesmo setor, mas com produtos diferentes. Das sete, quatro têm mais de 250 colaboradores, duas de 50 a 249 colaboradores e uma de até 9 colaboradores. De acordo com Comissão Europeia (EU, 2003), temos que as empresas 1 e 2 são consideradas PMEs, pois possuem volume de negócios anual inferior a 50 milhões de euros e menos de 250 colaboradores, e as outras consideradas grandes empresas. Por fim temos que as empresas 3 e 5 não possuem chão de fábrica, e, portanto, as dimensões de Produtos Inteligentes e Fábrica Inteligente não serão consideradas na avaliação do nível de maturidade destas empresas.

Todas as empresas respondentes conhecem, pelo menos superficialmente o conceito de I4.0, com 29% possuindo domínio do conceito e o aplicam, 43% conhecendo o suficiente e com alguns

projetos a decorrer e por fim 28% conhecendo superficialmente e considerando avaliar os benefícios e custos potenciais para a empresa, conforme demonstrado na figura 10.

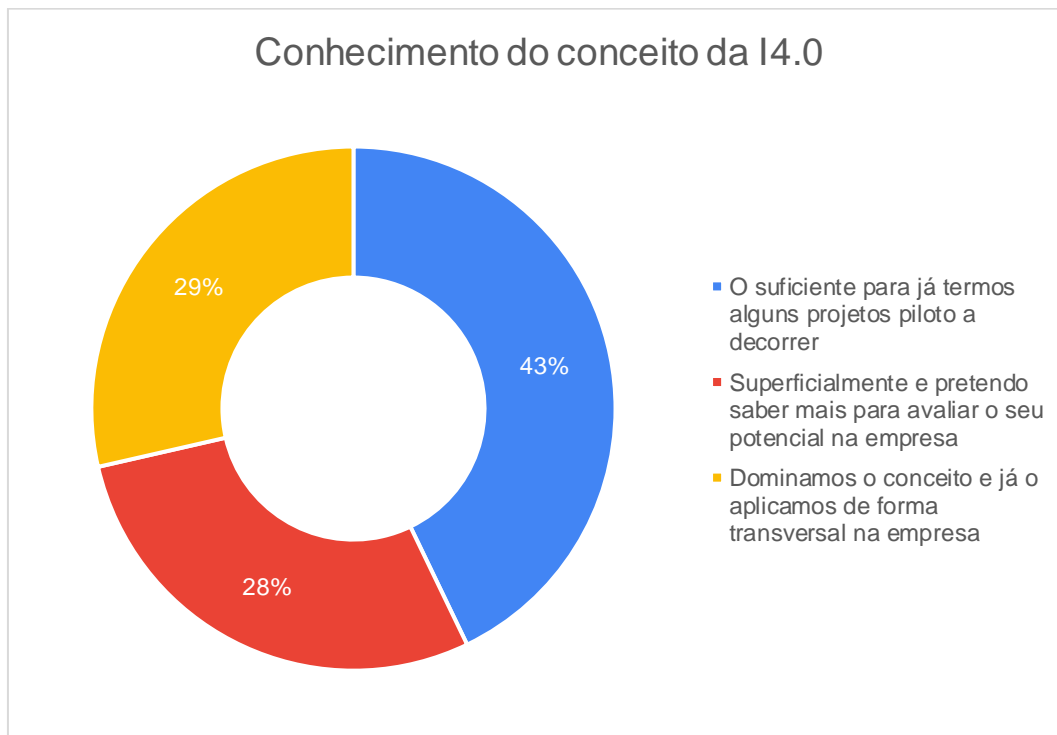


Figura 10 - Nível de conhecimento do conceito I4.0 das empresas respondentes. O autor (2020).

As empresas da amostra consideram a I4.0 como algo positivo, como motivação para adotar o conceito temos que 71% consideram os requisitos do mercado e pressão competitiva como força motriz, em conjunto com a condição de líder de mercado, espírito inovador da empresa, e a oportunidade de diferenciação frente ao mercado, todos com a mesma proporção de resposta de 43%, conforme demonstrado na figura 11. Isto é, as empresas veem com bons olhos a adoção da I4.0, mas sentem que a procura do mercado e competição superam as outras motivações.

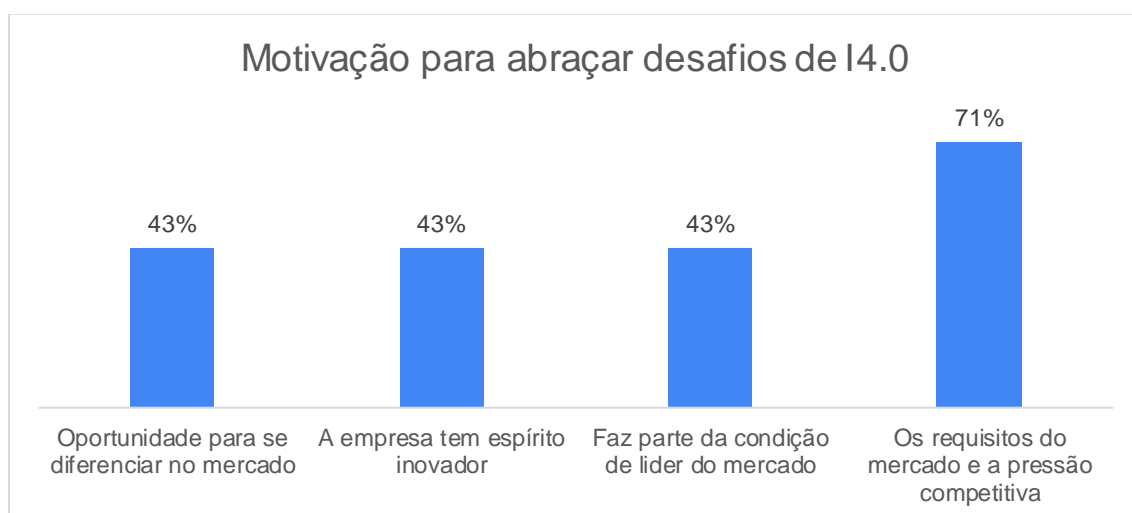


Figura 11 - Motivação para abraçar os desafios da I4.0. O autor (2020).

Na questão dos objetivos a serem atingidos com a adoção da I4.0, como demonstrado na figura 12, 86% responderam que têm como objetivo um aumento na eficiência do sistema de gestão,

seja este alcançado por uma maior transparência da gestão como um todo, otimização dos processos de gestão, otimização do sistema de compras e vendas, por exemplo. Em segundo lugar tem-se o aumento da eficiência do sistema de produção, com 57%, que pode ser alcançado pela automação, e/ou automação, de seções do processo produtivo, melhor coleta e análise de dados, utilização de gêmeos digitais (*Digital Twins*) entre outras tecnologias e conceitos associados a I4.0. Por fim temos o aumento de proveitos com 29% de respostas, o que de maneira geral pode ser considerado como um objetivo constante em qualquer projeto de uma empresa privada, e além do mais está intimamente relacionado com os outros dois objetivos citados, isto é, pode ser considerado como consequência dos outros.

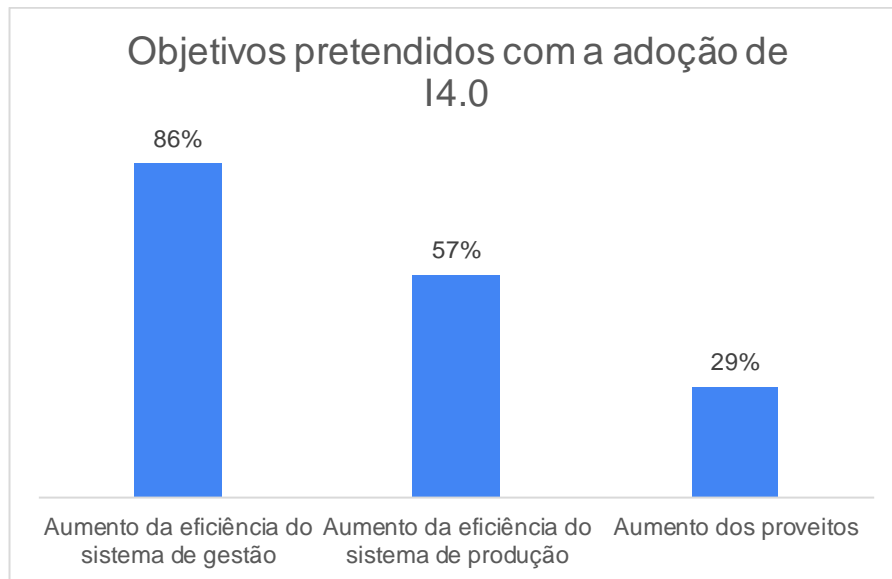


Figura 12 - Objetivos pretendidos com a adoção de I4.0. O autor (2020).

Além do impacto nos produtos e processos através da utilização de tecnologias e conceitos, a I4.0 também é relevante para o desenvolvimento de novos modelos de negócio, e para a adoção com sucesso da I4.0 é necessária uma estratégia bem definida. Tal estratégia é analisada pela dimensão Estratégia e Organização do modelo, e observando a figura 13, temos que em 29% das empresas a estratégia está definida e em implementação, 14% têm a estratégia formulada mas não implementada, 29% estão a desenvolver tal estratégia, 14% possuem algumas iniciativas piloto e por fim em 14% das empresas não existe uma estratégia, ou seja, estas possuem nível de maturidade desta dimensão nulo.

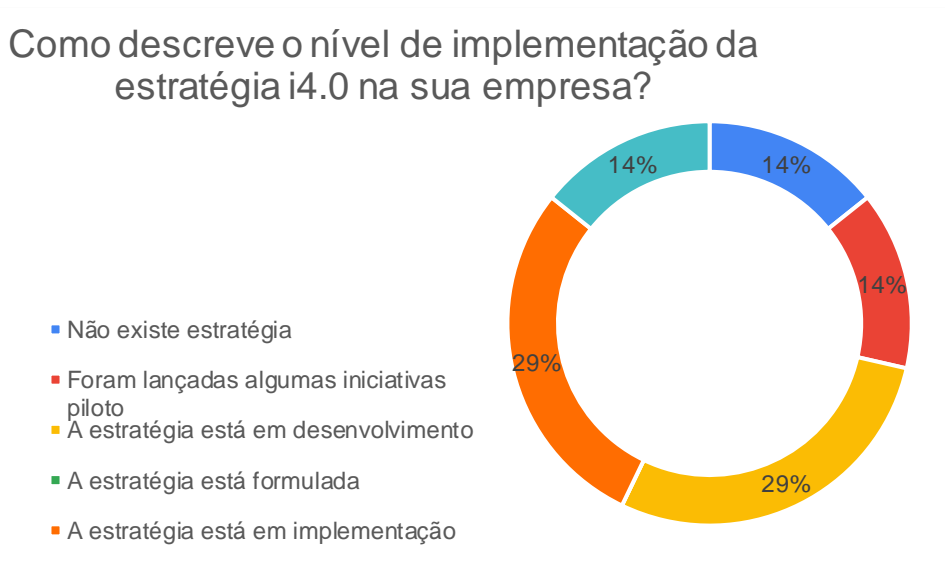


Figura 13 - Nível de implementação da estratégia para I4.0. O autor (2020)

Como o conceito de I4.0 está fortemente relacionado com a utilização de novas tecnologias, é de grande importância a existência de investimentos relacionados a esta utilização, para garantir a adoção com sucesso. A figura 14 indica que grande parte das empresas da amostra, nos últimos dois anos, investimentos principalmente nas áreas de TI e Serviços, o que reflete o caráter altamente tecnológico da I4.0. E nos próximos 5 anos, conforme demonstrado na figura 15 o investimento em TI se torna o foco. Além deste, temos maiores investimentos nas áreas de Serviços, Produção e, Investigação & Desenvolvimento, o que pode ser justificado pela preocupação destas frente à procura do mercado e a competição e também pela aplicação das estratégias de adoção da I4.0 das empresas.

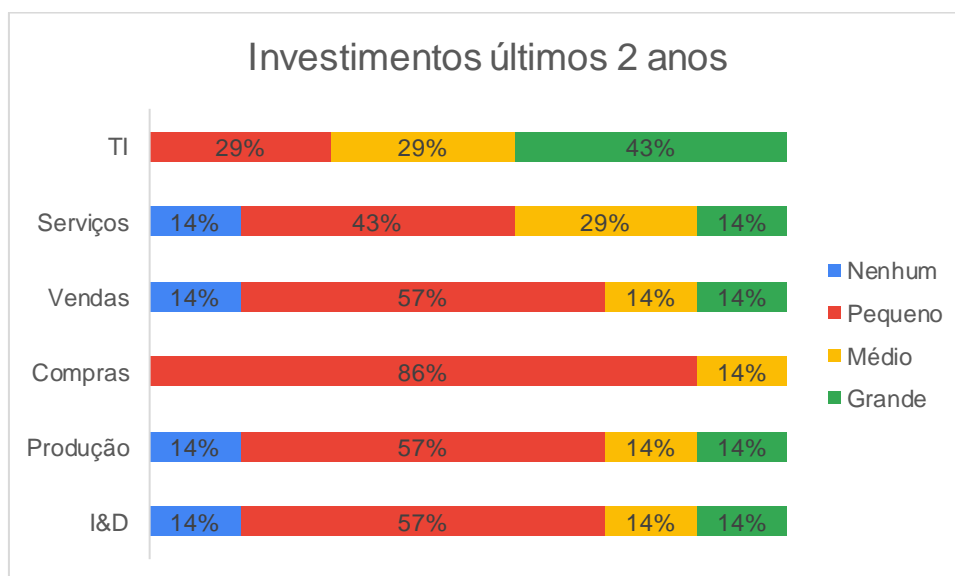


Figura 14 - Investimentos por área da empresa nos últimos 2 anos. O autor (2020)

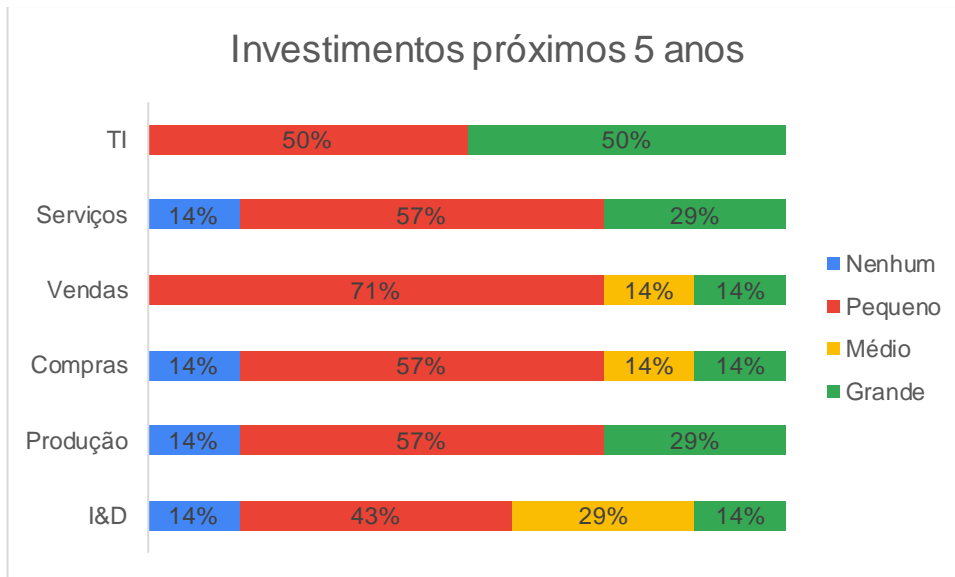


Figura 15 - Investimentos por área da empresa nos próximos 5 anos. O autor (2020)

A I4.0 tem como um dos pré-requisitos a digitalização dos processos, equipamentos, e até certo nível das pessoas, conseguindo até gerar um gêmeo digital (*Digital Twin*) destes ou da fábrica como um todo. E para conseguir realizar tal digitalização o primeiro passo é a recolha dos dados relevantes, na figura 16 é exposto que, na produção, 20% das empresas da amostra não recolhem nenhum dado de máquinas ou processos, 40% coletam alguns dados e 40% coletam todos os dados. Vale salientar que esta pergunta é da dimensão de Fábrica Inteligente, e consequentemente as empresas 3 e 5 não responderam.

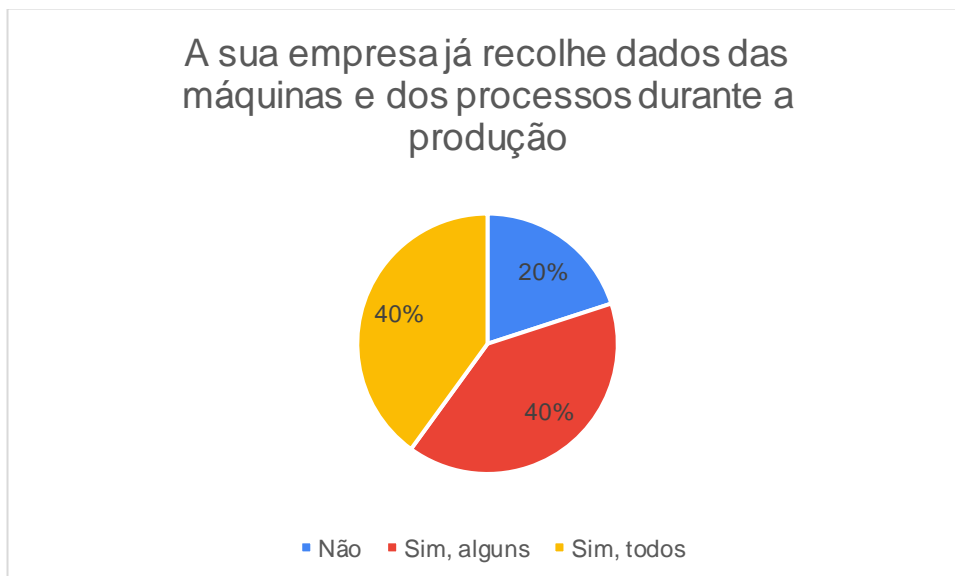


Figura 16 - Nível de recolha de dados na produção. O autor (2020)

Para tais dados recolhidos gerarem algum valor para a empresa é necessária a sua efetiva utilização, nesse contexto e conforme a figura 17, 100% das empresas da amostra apontaram a otimização de recursos (material, energia) e a gestão da qualidade como principal uso. Também relevantes são as utilizações para a otimização de processo logístico e a criação de transparência no processo produtivo e por fim em menor relevância a utilização para manutenção preditiva dos

equipamentos, o que requer um alto nível de conhecimento e coleta de dados, e o controle automático da produção, este último necessita de um nível alto de automação no processo produtivo e nas TIC (Tecnologias da Informação e Comunicação) da empresa.

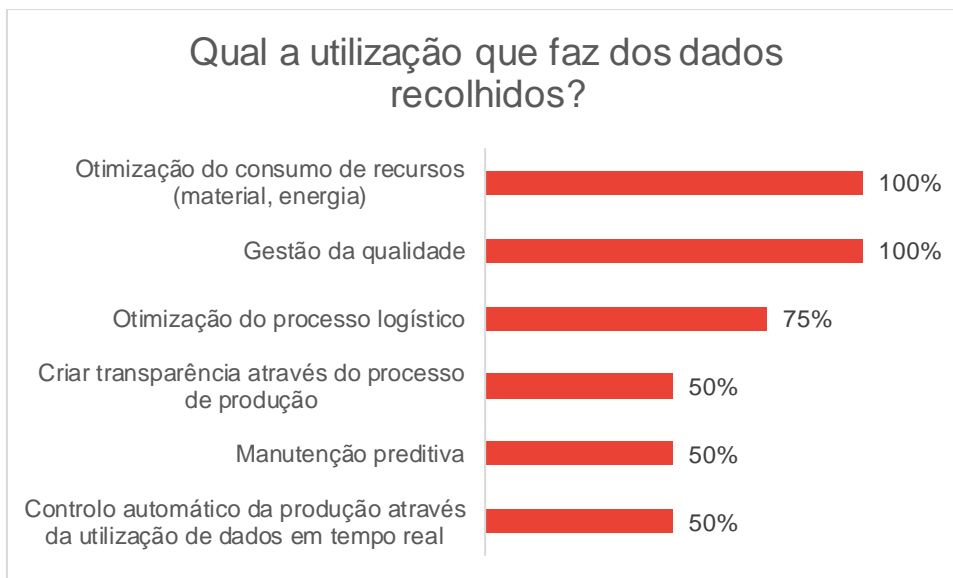


Figura 17 - Utilização dos dados recolhidos na produção. O autor (2020)

Ainda no âmbito de dados, de uma maneira generalizada englobando todas as áreas da empresa, temos que, de acordo com a figura 18, 71% das empresas da amostra utilizam mais de 50% dos dados que recolhem e 29% utilizam somente entre 0 e 20% dos dados recolhidos, e conforme dito acima, dados recolhidos mas não utilizados são dados que não geram valor a empresa, podendo ser considerado esforço inútil a sua recolha nestes casos.

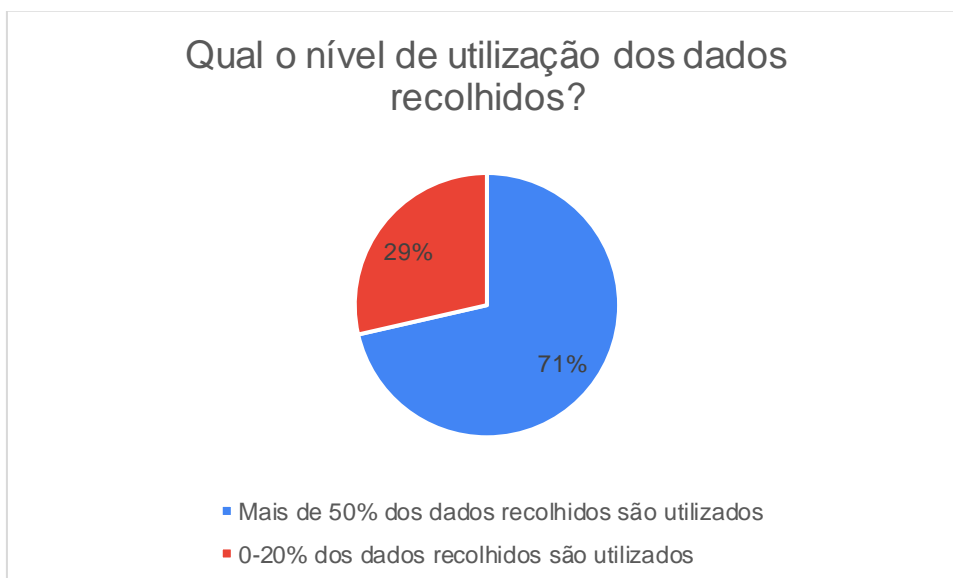


Figura 18 - Nível de utilização de dados recolhidos nas áreas das empresas. O autor (2020)

Como dito na seção 2.1 a I4.0 se baseia nas integrações verticais e horizontais de informações relevantes, isso se dá pelo fato do negócio como um todo não depender somente da empresa e seus departamentos, mas de toda uma cadeia envolvendo fornecedores, prestadores de serviço e clientes. E com essa integração a empresa possui visibilidade sobre o que está acontecendo dentro

e fora da fábrica, em tempo real, realizando uma melhor gestão de recursos e tempo, monitorando inventários, aumentando a eficiência da produção e por fim melhorando a satisfação dos clientes. No contexto da integração vertical através dos departamentos da empresa, 86% dos respondentes apontaram que os departamentos de Finanças e de Vendas partilham informações com o sistema de gestão central da empresa, 71% que esta partilha ocorre nos departamentos de TI, Serviços e Compras, sendo os departamentos de Produção I&D e Logística os menos integrados, conforme figura 19.

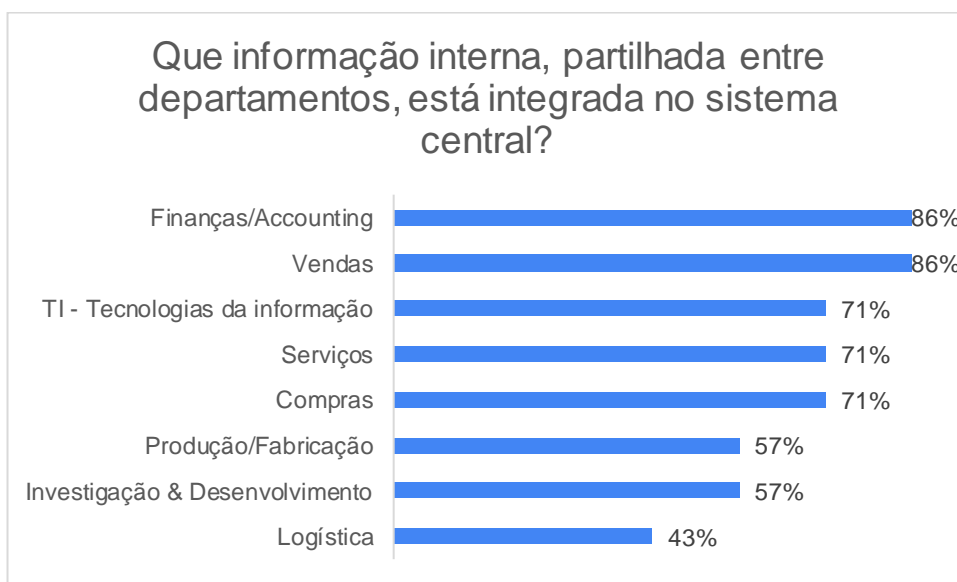


Figura 19 - Partilha de informações internas no sistema central de gestão. O autor (2020)

Já no contexto da integração horizontal, isto é a integração entre fornecedores, empresa e clientes, temos que 57% partilham informações de TI e Logística, 43% de Serviços e I&D, e as restantes áreas em menor valor, conforme a figura 20.

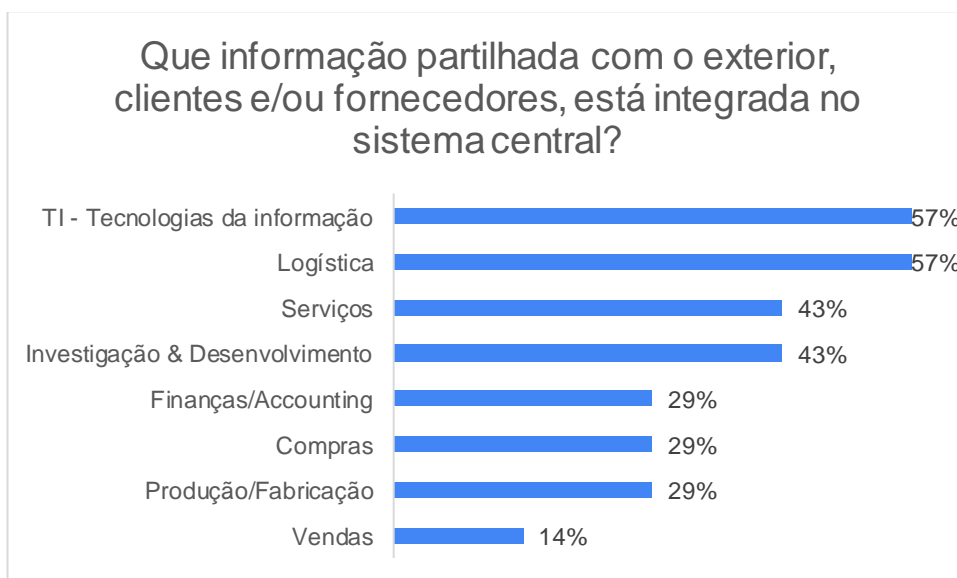


Figura 20 - Classificação da informação partilhada com o exterior. O autor (2020)

De maneira geral podemos falar que as empresas da amostra estão com boa integração vertical, ou seja, possuem uma boa comunicação entre departamentos, mas média integração horizontal, isto é, podem encontrar dificuldades em saber informações em tempo real, de por exemplo, fornecedores de matéria prima, serviços ou outros, o que torna mais difícil o planejamento estratégico da empresa com exatidão.

A transformação digital associada a I4.0 causa diversas alterações nas empresas, um grupo fortemente afetado é o dos colaboradores, alterando o ambiente de trabalho e criando a necessidade de novas capacidades e qualificações, neste contexto o estudo realizado indica, na figura 21, que em grande parte das empresas possuem as competências relevantes necessárias e, todas estão desenvolvendo esforços para a aquisição das competências em falta, figura 22.

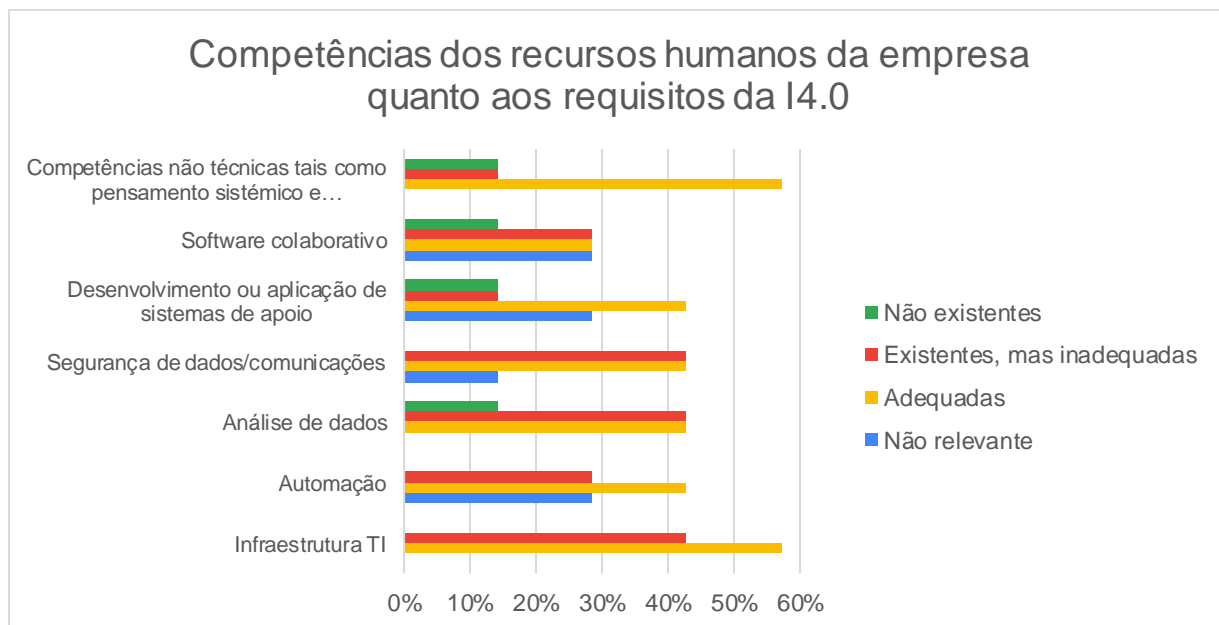


Figura 21 - Competências dos recursos humanos da empresa quanto aos requisitos da I4.0. O autor (2020).



Figura 22 - Aquisição de competências em falta. O autor (2020)

Em suma, com a utilização do modelo Shift to 4.0, foram obtidos os níveis de cada empresa tanto globais como por dimensão, expostos na tabela 15, o valor de Global Calculado é obtido pela ponderação das dimensões, mas sem realizar o arredondamento do nível global.

Tabela 15 - Níveis Globais e por Dimensão de cada empresa analisada. O autor (2020).

Empresa	1	2	3	4	5	6	7	Média
Estratégia e Organização	1	1	3	4	2	1	2	2,00
Fábrica Inteligente	2	0	-	2	-	3	3	2,00
Operações Inteligentes	3	0	3	3	2	5	2	2,57
Produtos Inteligentes	4	2	-	5	-	5	5	4,20
Serviços Baseados em Dados	5	0	3	0	5	5	0	2,57
Recursos Humanos	2	2	5	3	2	5	2	3,00
Global	2	0	3	3	2	3	2	2,14
Global Calculado	2,65	0,99	3,54	3,07	2,63	3,72	2,43	2,72

Como se pode notar o arredondamento é para baixo, o que influencia bastante no nível global, por exemplo a empresa 3 obteve nível global calculado de 0,99, mas pelo arredondamento obteve nível global igual a zero.

A figura mostra a média dos níveis das empresas da amostra e exibe que os maiores níveis de maturidade são nas dimensões de Produtos Inteligentes, Recursos Humanos, Operações Inteligentes e Serviços Baseados em Dados.

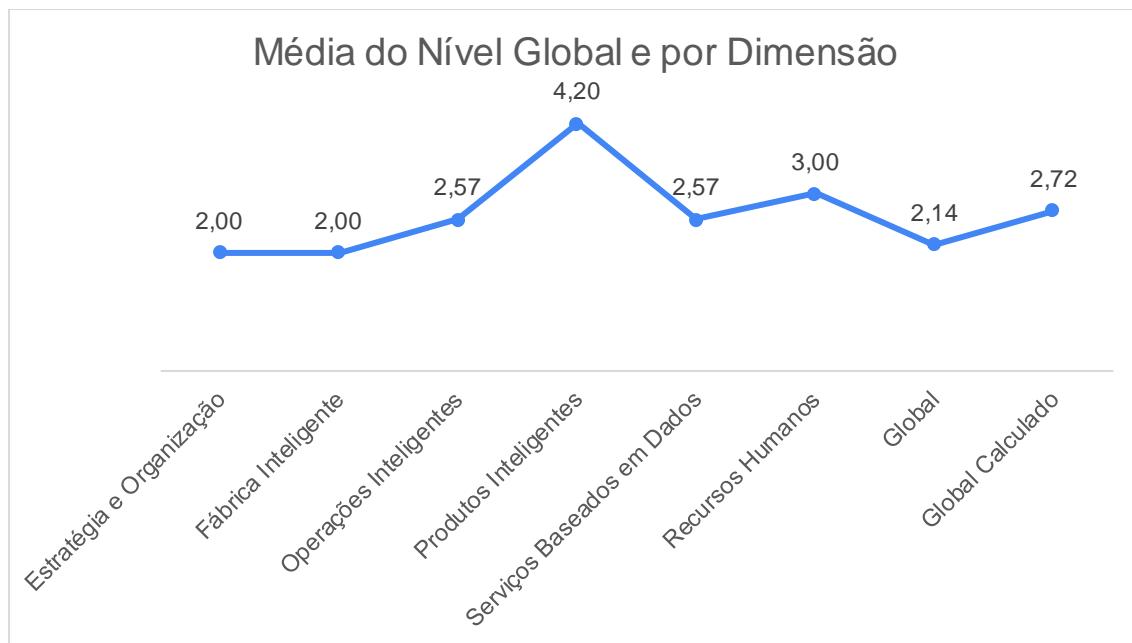


Figura 23 - Média do nível de maturidade global e por dimensão das empresas analisadas. O autor (2020)

A figura 24 mostra a frequência de cada nível, tanto global como para cada dimensão, sendo que no nível global temos a mesma frequência para os níveis de maturidade 2 e 3, os recursos humanos majoritariamente no nível 2, em serviços baseados em dados temos frequências iguais para os níveis 0 e 5 o demonstrando que ou a empresa têm domínio desta dimensão ou não a desenvolve de nenhuma maneira, em produtos inteligentes temos a maior frequência de níveis 5 demonstrando um alto nível tecnológico das empresas em que esta dimensão se aplica, para operações inteligentes a maior frequência é do nível 3 ou seja, já há algo feito mas as empresas ainda têm um caminho longo a percorrer, para fábrica inteligente temos níveis médios 2 e 3 e por fim temos estratégia e organização, a dimensão de maior valor ponderado para o cálculo do nível global e obteve a maior frequência de níveis 1 com 43%, realçando o demonstrado anteriormente onde a maioria das empresas possui uma estratégia mas esta não está implementada ou está em implementação, reforçado também pelos investimentos realizados nos últimos 2 anos e nos próximos 5 anos.

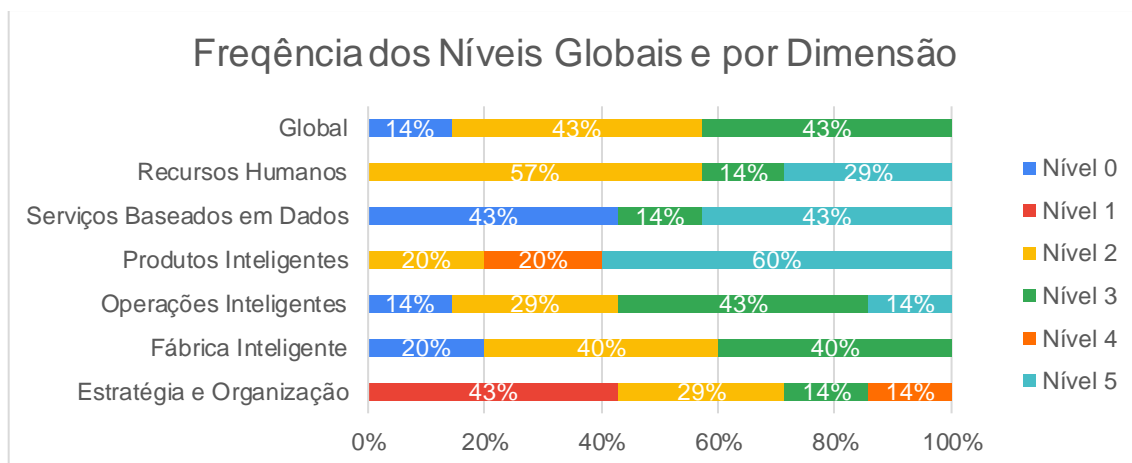


Figura 24 - Frequência dos Níveis Globais e por Dimensão. O autor (2020)

Pelos resultados podemos concluir que 14% das empresas são consideradas “Outsiders” por não possuir nenhum requisito de I4.0, 43% consideradas Aprendizes pois possuem uma estratégia e alguns investimentos para realizar a transformação e por fim 43% são consideradas Líderes pois já possuem uma estratégia, possivelmente implementada, mas vale salientar que nenhuma empresa possui nível 4 ou 5, somente nível 3 o menor nível possível na categoria. Em suma podemos concluir que a maioria das empresas da amostra considera a utilidade, relevância e benefícios possíveis da I4.0 e busca a sua implementação. Analisando individualmente cada dimensão conclui-se:

- **Estratégia e Organização:** apresenta os três grupos da classificação, Novatos, Aprendizes e Líderes, para o primeiro o papel da I4.0 é de pouca ou nenhuma importância, não possuindo uma estratégia firmada para desenvolver e implementar os conceitos da I4.0. O segundo grupo já possui alguma estratégia mas ainda não implementada ou somente com projetos piloto e por fim o terceiro, já possuem uma estratégia ou implementada ou com projetos piloto, consideram a I4.0 como imprescindível para o futuro e investem com o intuito de expandir este conceito pela empresa.
- **Fábrica Inteligente:** os dois grandes grupos presentes são os dos Aprendizes e Líderes, que já realizam a coleta dos dados de forma parcial ou total. A maior oportunidade de melhoria presente nesta dimensão cai na utilização dos dados recolhidos, pois estas empresas recolhem muitos dados, mas não os utilizam para algum fim, ou seja, não geram valor com estes.
- **Operações Inteligentes:** o grande grupo é o dos Líderes em grande parte pelo fato que as empresas da amostra possuem grande integração vertical dos sistemas, a maior oportunidade nesta dimensão está na integração horizontal, ou seja, as empresas devem focar na integração de seus sistemas e melhor comunicação com seus fornecedores, clientes ou outros atores relevantes para o negócio como um todo.
- **Produtos Inteligentes:** o grande grupo é o dos Líderes, as empresas analisadas possuem produtos de alta tecnologia e integração com TIC, sendo que somente 1 empresa está no grupo Aprendizes e deve analisar como pode integrar as tecnologias de informação e comunicação nos seus produtos a fim de beneficiar tanto a si como a seus clientes.

- **Serviços baseados em dados:** A recolha de dados de processos, máquinas e produtos inteligentes possibilitam a criação de novos serviços para as empresas, nesta dimensão temos uma divisão clara entre dois grupos, o dos “Newcomers” e o dos Líderes, e como já demonstrado anteriormente as empresas já coletam dados tanto internos na produção e externos por meio de produtos inteligentes, mas novamente falham na utilização de tais dados, sendo necessária uma análise forte a fim de perceber como gerar valor com os dados e possíveis novos serviços que possam ser gerados por estes.
- **Recursos Humanos:** os dois grandes grupos presentes são os dos Aprendizes e Líderes, o que condiz com o descrito anteriormente que a grande maioria das empresas considera as capacidades dos seus recursos humanos como adequadas e para as capacidades em falta estão buscando a sua aquisição. Tal pode ser realizado pelo pela contratação de colaboradores ou através de formações ou programas de desenvolvimento, sempre se baseando em uma análise das capacidades já existentes e o alinhamento entre a busca pelas novas capacidades e a estratégia da empresa.

Concluindo, o estudo revelou que as empresas da amostra têm um nível de implementação da I4.0 médio, com umas se sobressaindo perante as outras, mas ainda há um longo trajeto pela frente, pois, o desenvolvimento de novas tecnologias ocorre de maneira muito rápida e estas empresas devem sempre buscar a sua atualização e melhoria contínua a fim de aumentarem seu nível de maturidade tecnológico e se fixarem como Líderes e garantirem sua competitividade e quota de mercado.

3.3 Sugestão de melhorias ao modelo

Com base na revisão dos modelos de maturidade na seção 2.6, na aplicação do modelo Shift to 4.0 nas sete empresas e pelo feedback recebido dos respondentes do questionário, foram levantados alguns pontos de melhoria, em relação tanto ao questionário utilizado e no cálculo dos níveis de maturidade que, seguem abaixo:

1. **Critério mínimo:** no cálculo dos níveis de cada dimensão do modelo é utilizado um critério mínimo, ou seja, a nota da dimensão corresponde ao menor nível atingido das suas sub-dimensões, por exemplo as empresas 2 e 5 possuem nível 1 e 0, respectivamente, na dimensão de estratégia e organização devido a sub-dimensão de estratégia, mas possuem níveis 3 e 5, e 3 e 3 nas sub-dimensões de investimentos e gestão da inovação, demonstrando que apesar de não possuírem uma estratégia forte e definida para a I4.0 mas possuem investimentos e buscam inovar, principalmente para manter sua competitividade frente ao mercado. E considerando que a I4.0 engloba várias tecnologias e conceitos, não é errado pensar que estas empresas, ao procurar manter sua competitividade, estejam buscando as tecnologias da I4.0. Portanto a sugestão é a eliminação deste critério mínimo para melhor aferir o verdadeiro nível da empresa, tanto global quanto por dimensão ou sub-dimensão.

2. Ponderação: como descrito no item 2.6.4 o modelo Shift to 4.0 foi fortemente baseado no modelo IMPULS, descrito por sua vez no item 2.6.2, que foi desenvolvido a partir de uma pesquisa em empresas manufatureiras e mecânicas na Alemanha, e portanto a ponderação aplicada no cálculo do nível global não necessariamente seria a mesma para empresas de outros setores, como por exemplo o setor financeiro como é o caso da empresa 3, ou no setor de energia como na empresa 5. Portanto a sugestão neste caso seria a eliminar a ponderação, e após realizar uma quantidade boa de avaliações em empresas de um setor, fazer uma análise mais detalhada e criteriosa para que se gere uma ponderação das dimensões específica para cada setor.
3. Exemplos nas questões: pelo feedback recebido os respondentes tiveram dúvidas em relação a algumas questões, tais dúvidas segundo estes poderiam ser sanadas pela adição de exemplos práticos relevantes, por exemplo, na questão 6.1 que trata de serviços baseados em dados. Como exemplo pode-se tomar o modelo criado por Akdil et al (2018) e descrito na seção 2.6.3 que possui questões um pouco mais detalhadas.
4. Definição de produtos inteligentes: atualmente é difícil definir o que é um produto e o que é um serviço, sendo um utilizado se analisado por uma perspectiva e outro utilizado se analisado por outra. A definição atual considera somente produtos físicos e não os virtuais, como aplicações de telemóvel (*apps*) ou softwares, que podem realizar as mesmas funções de recolha de dados na utilização e comunicação entre clientes e fabricantes (ou desenvolvedores).

Se tratando dos pontos de melhoria 1 e 2, foi criado o modelo adaptado em comparação com o modelo Shift to 4.0 original, figura 25, onde pode-se notar um aumento no nível de maturidade, condizente com a eliminação do critério mínimo e ponderação das dimensões, sendo o cálculo do nível por dimensão e global realizado por meio de média aritmética simples.

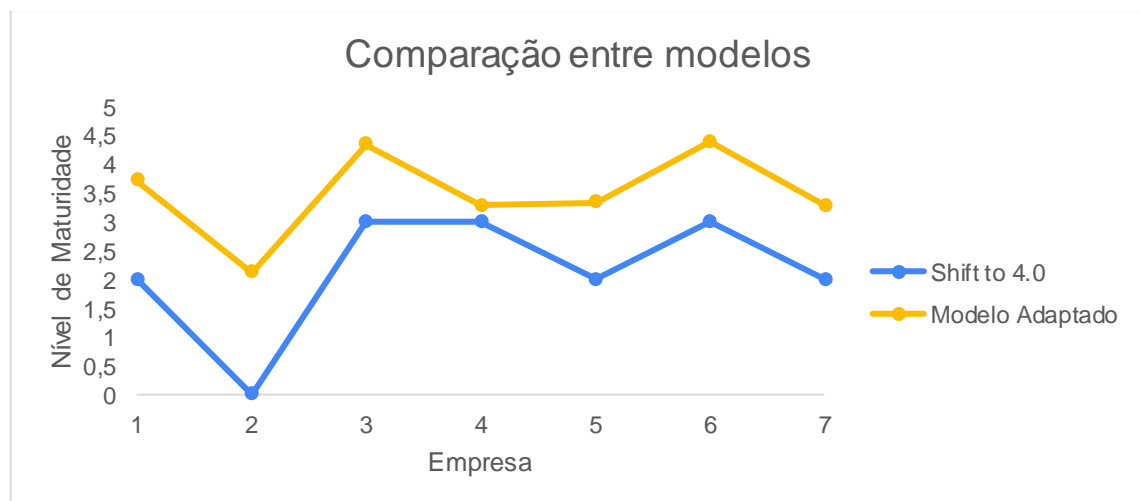


Figura 25 - Gráfico comparativo entre níveis globais de maturidade pelos modelos Shift to 4.0 e modelo adaptado, para cada empresa. O autor (2020)

Capítulo 4 – Conclusão

A quarta revolução industrial ou Indústria 4.0 repete a mesma linha das três revoluções industriais anteriores ao mudar o paradigma da produção, focando em otimização e tecnologia. Tal revolução não tem impacto somente na produção, como também nos produtos e serviços, nas pessoas, na organização, nos modelos de negócio e nos mercados. Pelo uso da tecnologia e da digitalização do mundo físico, a utilização de algoritmos e a inteligência artificial permitirá que as empresas reduzam custos, aumentem sua flexibilidade, produtividade, eficiência e aumentem ou no mínimo mantenham sua competitividade.

Dentre as tecnologias que estão possibilitando a I4.0 pode-se citar, análise e processamento de dados, realidade aumentada e virtual, internet das coisas, robôs autônomos, simulação, integração de sistemas, armazenamento e serviços da nuvem, produção aditiva e a cybersegurança. O nível de desenvolvimento atual em cada uma dessas tecnologias é diferente, variando de tecnologia para tecnologia, o importante ao considerar investir em alguma delas é levar em conta a estratégia, os objetivos e necessidades da empresa. Em conjunto com as tecnologias também surgiram e evoluíram diversos conceitos associados a I4.0 como individualização da procura, curtos períodos de produtos e serviços, flexibilidade, descentralização, e eficiência de recursos.

O caminho para a I4.0 varia de empresa para empresa, não existindo fórmula ou plano generalista que consiga englobar todas elas. Portanto, cada estratégia para este fim é única e o empresário deve avaliar, com base no cenário atual de sua empresa, quais investimentos realizar para concretizar a sua visão para a I4.0 dentro de sua empresa. Há, no entanto, algumas etapas que auxiliam o empresário a planejar a transformação para a I4.0, sendo estas: estudar intensivamente as tecnologias inovadoras, definir a estratégia para a I4.0, desenvolver um projeto-piloto, desenvolver as capacidades de análise de dados, transformar a empresa numa empresa digital, criar um ecossistema e melhoria contínua. Tais etapas auxiliam por clarear e detalhar a estratégia a ser tomada, diminuindo o risco associado a transformação.

Por se tratar de uma revolução com grande poder de ruptura e alteração dos paradigmas empresariais atuais, diversos países e blocos econômicos desenvolveram programas a fim de guiar e concretizar essa transformação nas empresas, como por exemplo na *Plattform Industrie 4.0* na Alemanha, Portugal i4.0 em Portugal e o Grupo de Trabalho para a Indústria 4.0 no Brasil.

Os objetivos específicos deste trabalho eram:

1. Identificar as características, tecnologias e conceitos inseridos na I4.0;
2. Identificar os modelos de maturidade existentes e inseridos no contexto da I4.0;
3. Analisar criteriosamente os modelos de maturidade identificados;
4. Aplicar um modelo de maturidade em diferentes empresas de diferentes setores;
5. Realizar uma análise do modelo após sua aplicação, visando melhorias e sugestões a este;
6. Gerar conclusões a respeito da I4.0, aplicação do modelo e melhorias sugeridas.

Em relação aos objetivos 1 e 2, estes foram atingidos no capítulo 2 por meio da revisão bibliográfica realizada, o objetivo 3 foi atingido pela tabela 4 e pela seção 3.1 e a partir deste a seção 3.2 realiza o objetivo 4 e a seção 3.3 o objetivo 5, por fim o objetivo 6 considera-se atingido por este capítulo final de conclusões.

Na análise das empresas, como o seu número não foi suficiente para possibilitar inferências estatísticas sobre a população como um todo, não é possível concluir se o que foi verificado na amostra analisada também é verificado no restante das empresas tanto portuguesas quanto brasileiras. Relativamente a amostra estudada conclui-se que o nível de penetração da I4.0 é médio, com umas mais avançadas que as outras. Há uma clara preocupação em relação a competitividade, o que leva a investimentos nas tecnologias da I4.0. Todas as empresas consideram a adoção de tecnologias da I4.0 como algo positivo e vantajoso, e a grande oportunidade de melhoria na maioria das empresas analisadas se dá pela utilização dos dados recolhidos, estas já realizam a recolha dos dados mas ainda não os trabalham de forma adequada, acabando por não agregar valor a estes e possivelmente perder análises e insights valiosos para o negócio. Em relação aos recursos humanos todas as empresas da amostra se apresentaram conscientes das habilidades atuais e buscam o treinamento visando suprir as habilidades em falta. Para além dos resultados e gráficos obtidos pela aplicação do modelo de maturidade Shift to 4.0, há também sugestões para alterações no modelo, pois este necessita de um carácter iterativo e em constante melhoria.

É da opinião deste autor que este modelo ainda não é próprio para a aplicação sem auxílio de consultores ou especialistas externos, por faltar robustez nas questões e uma ponderação que não condiz com o carácter generalista de sua aplicação. E, considerando modelos de maturidade em geral, se aplicados internamente sem o auxílio de consultores ou especialistas externos, devem ser adaptados à realidade da empresa em que serão aplicados, a fim de promover uma melhor compatibilidade com a realidade apresentada.

Por fim, como sugestão para trabalhos futuros temos:

- Aplicação do modelo, com as alterações propostas, em um maior número de empresas, a fim de possibilitar análises estatísticas pertinentes;
- Aplicação do modelo adaptado ao invés do modelo Shift to 4.0 original;
- Utilização de exemplos nas questões de menor entendimento por parte do respondente;
- Desenvolvimento de uma ponderação diferente para cada setor que o modelo for aplicado.

Referências Bibliográficas

- Aiman, M., Othman F., Azli N., Talib M. 2016. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, 78, pp. 137-143.
- Akdil, K. Y., Ustundag, A., Cevikcan, E. Maturity and Readiness Model for Industry 4.0 Strategy. Em: *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. Springer, Cham, 2018. p. 61-94.
- Albers, A., Gladysz, B., Pinner, T., Butenko, V., & Stürmlinger, T. (2016). Procedure for Defining the System of Objectives in the Initial Phase of an Industry 4.0 Project Focusing on Intelligent Quality Control Systems. *Procedia CIRP*, 52, 262–267.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.067>
- Bahrin, M., Othman, F., Azli, N. & Talib, M., 2016. Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi*, Vol. 78, pp. 137-143.
- Boston Consulting Group. The future of productivity and growth in manufacturing industries. Acessado em 29 de novembro de 2019 de 2015. Disponível em: http://www.inovasyon.org/pdf/bcg.perspectives_Industry.4.0_2015.pdf.
- Burke, Rick, Adam Mussomeli, Stephen Laaper, Marty Hartigan e Brenna Sniderman. 2017. "The Smart Factory". Deloitte University Press.
- Cevikan E, Ustundag A. 2018. *Industry 4.0: Managing The Digital Transformation*. DOI: 10.1007/978-3-319-57870-5.
- Cho, H.S. & Woo, T.H., 2017. Cyber security in nuclear industry – Analytic study from the terror incident in nuclear power plants (NPPs). *Annals of Nuclear Energy*, 99, pp.47–53.
- COTEC Portugal (2017). *Iniciativa Portugal i4.0*. Disponível em: http://www.industria4.0.cotec.pt/files/industria4_omeditas-pt.pdf>. Acesso em 20/04/2020
- COTEC Portugal (2019). *Iniciativa Portugal i4.0*. Disponível em: <<https://www.portugal.gov.pt/download-ficheiros/ficheiro.aspx?v=178423e7-fe69-4183-8b19-cdddf612de42>>. Acesso em 20/04/2020
- Cotteleer, Mark e Brenna Sniderman. 2017. "Forces of Change: Industry 4.0". Deloitte Insights.
- CNI - Confederação Nacional da Indústria. *Desafios para a indústria 4.0 no Brasil*. Brasília: CNI, 2016.
- Daudt, G. M.; Willcox, L. D. (2016). Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em produção avançada. *BNDES Setorial*, n. 44, p.[5]-45. Rio de Janeiro.
- Dombrowski U, Crespo I, Zahn T. 2010. Adaptive configuration of a lean production system in small and medium-sized enterprises. *Prod Eng* 4(4):341–8.

- De Souza, T. F., & Gomes, C. F. S. (2015). Assessment of maturity in project management: A bibliometric study of main models. *Procedia Computer Science*, 55, 92–101. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.07.012>.
- Donovan, P. O., Sullivan, D. T. J. O., & Bruton, K. (2016). IAMM: A Maturity Model for Measuring Industrial Analytics Capabilities in Large-scale Manufacturing Facilities. *International Journal of Prognostics and Health Management*, 7(32), 1–11.
- Dyerson R, Spinelli R, Harindranath G. 2016 Revisiting IT readiness: an approach for small firms. *Ind Manage Data Syst* ;116(3):546–63.
- EC (European Commission). 2003. Acessado 29 novembro, 2019. Disponível em: http://ec.europa.eu/growth/smes/business-friendly-environment/smedefinition_en
- EC (European Commission). Annual Report on European SMEs 2018/2019. 2019. Disponível em: https://ec.europa.eu/growth/smes/business-friendly-environment/performance-review_en#annual-report
- European Parliament (2015). Industry 4.0 Digitalisation for productivity and growth. Disponível em: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf). Acessado em: 21/04/2020
- Erol S, Schumacher A, Sihm W. 2016. Strategic guidance towards Industry 4.0—a three-stage process model. In *International conference on competitive manufacturing*.
- Esmailian B, Behdad S, Wang B. 2016. The evolution and future of manufacturing: A review. *J Manuf Syst* 39:79–100.
- Faller C, Feldmüller D. 2015. Industry 4.0 learning factory for regional SMEs. *Procedia CIRP* 32:88–91.
- FoF - Factories 4.0 and Beyond (2016). Disponível em: http://effra.eu/sites/default/files/factories40_beyond_v31_public.pdf. Acesso em 20/04/2020
- Frazier, W.E., 2014. Metal Additive Manufacturing: A Review. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 23(6), pp.1917–192.
- Ganzarain J, Errasti N. Three stage maturity model in SME's toward industry 4.0. *J Ind Eng Manage* 2016;9(5):1119–28.
- Geissbauer R, Vedso J, Schrauf S. industry 4.0: building the digital Enterprise: 2016 global industry 4.0: PricewaterhouseCoopers; 2016. Disponível em <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>. Acessado em 20/04/2020.
- Gökalp E, Şener U, Eren PE. Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM. *International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination* 2017:128–42

- Godinho, P., Costa, J. P., Fialho, J. and Afonso, R. (2011) 'Some issues about the application of the analytic hierarchy process to R&D project selection', *Global Business and Economics Review*, 13(1), pp. 26–41.
- Gunes, V., Peter, S., Givargis, T., & Vahid, F. (2014). A survey on concepts, applications, and challenges in cyber-physical systems. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 8(12), 4242–4268. <https://doi.org/10.3837/tiis.2014.12.001>
- Haug C., Kretschmer T., Strobel T. 2016. Cloud adaptiveness within industry sectors – Measurement and observations. *Telecommunications Policy*, 40(4), pp.291–306.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios. In 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) (Vol. 2016–March, pp. 3928–3937). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
- IERC (2011) Internet of things: strategic research roadmap. URL: http://www.internet-of-things-research.eu/about_iiot.htm. Acessado 29 novembro 2019.
- InfoDev Innovation & Entrepreneurship. Acessado 29 novembro 2019. Disponível em: <http://www.infodev.org/articles/issues-sme-financing>.
- Javanovski, B.; Seykova, D.; Boshnyaku A.; Fisher C.; 2019. The Impact of Industry 4.0 on the Competitiveness of SMES. *International Scientific Journal “Industry 4.0”* Vol. 4, Issue 5 pp. 250-255.
- Jung K, Kulvatunyou B, Choi S, Brundage MP. An overview of a smart manufacturing system readiness assessment. *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems 2016*:705–12.
- Kennedy J, Hyland P. 2003. A comparison of manufacturing technology adoption in SMEs and large companies. *Proceedings of 16th Annual Conference of Small Enterprise Association of Australia and New Zealand* pp 1–10.
- Kolberg, D., & Zühlke, D. (2015). Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies. *IFAC–PapersOnLine*, 48(3), 1870–1875. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>
- Kusiak, A. (2017). Smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 7543(August), 1–10. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.13516>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business and Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Lee, J., Kao, H. A., & Yang, S. (2014). Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. *Procedia CIRP*, 16, 3–8. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.02.001>
- Leyh, C., Schäffer, T., BLEY, K. and FORSTENHÄUSLER, S. 2016, “Assessing the IT and Software landscapes of Industry 4.0-enterprises: the maturity model SIMMI 4.0”, in Ziemba, E. (Ed.), *Information Technology for Management: New Ideas and Real Solutions*, Springer, Heidelberg, pp. 103-119.

- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. de F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal. *International Journal of Production Research*, 55(12), 3609–3629. <https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1308576>
- Lichtblau, K., Stich, V., Bertenrath, R., Blum, M., Bleider, M., Millack, A., ... Schröter, M. (2015). *IMPULS - Industrie 4.0 Readiness*. Aachen, Cologne: VDMA's IMPULS Foundation.
- Lu, Y., 2017. Industry 4.0: A Survey on Technologies, Applications and Open Research Issues. *Journal of Industrial Information Integration*. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452414X17300043>
- Maier A, Student D. 2015. *Industrie 4.0 - der große Selbstbetrug* [em alemão]. Acessado em 29 de novembro de 2019. <http://www.manager-magazin.de/magazin/artikel/digitalerevolution-industrie-4-0-ueberfordert-deutschen-mittelstand-a-1015724.html>
- Mckinsey Global Institute. *Unlocking the potencial of the internet of things*, 2015. Disponível em: <http://www.mckinsey.com/business-functions/business-technology/ourinsights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>
- Mettler, T. 2011. Maturity assessment models: A design science research approach. *Int J Soc Syst Sci* ;3(1-2):81–98
- Michael, R. et al., 2015. Michael, R. Markus, L. et al. 2015. *Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries*. Disponível em: https://www.bcgperspectives.com/content/articles/engineered_products_project_business_industry_40_future_productivity_growth_manufacturing_industries/#chapter1.
- Mittal S., Khan M., Purohit J., Menon K., Romero D. & Wuest T. 2019. A smart manufacturing adoption framework for SMEs, *International Journal of Production Research*, DOI: 10.1080/00207543.2019.1661540
- Mittal S, Khan MA, Romero D, Wuest T. 2017. Smart manufacturing: characteristics, technologies and enabling factors. *Proceedings of the institution of mechanical engineers, part B: journal of engineering manufacture*.
- Nikkhou S, Taghizadeh K, Hajiyakhchali S. 2016. Designing a portfolio management maturity model (Elena). *Procedia-Social and Behavioral Sci* 226:318–325.
- Porter, M. E., & Heppelmann, J. E. (2015). How smart, connected products are transforming companies. *Harvard Business Review*, 2015(October). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., de Amicis, R., ... Vallarino, I. (2015). Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 35(2), 26–40. <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45>
- Proença D, Borbinha J. 2016. Maturity models for information systems - A state of the art. *Procedia Comput Sci* 100:1042–1049.

- Rizzo, J.; Endeavor. Oportunidades da Indústria 4.0, 2016. Disponível em: <<http://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/saibao-que-e-a-industria-40-e-descubra-as-oportunidades-que-elagera,11e01bc9c86f8510VgnVCM1000004c00210aRCRD>>.
- Rockwell Automation. The connected enterprise maturity model. Rockwell Automation; 2014 http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/cie-wp002_en-p.pdf. Acessado em 20/04/2020
- Rüßmann M, Lorenz M, Gerbert P, Waldner M, Justus J, Engel P, Harnisch M. 2015. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries.
- Saaty, R. W. (1987) 'The analytic hierarchy process-what it is and how it is used', *Mathematical Modelling*, 9(3-5), pp. 161-176.
- Saaty, T. L. (1991). 'Método de Análise Hierárquica'. Tradução e Revisão por Wainer da Silveira Silva, São Paulo, McGraw-Hill.
- Saaty, T.L. (1994) 'Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process', RWS Publications.
- Saaty, T. L. (2004) 'Decision Making – The Analytic Hierarchy and Network Processes (AHP / ANP)', *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13(1), pp. 1-35.
- Santos, Reginaldo Carreiro. Proposta de modelo de avaliação de maturidade da indústria 4.0. 2018. Tese de Doutorado, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra.
- Singh RK, Garg SK, Deshmukh SG, Kumar M. 2007. Modelling of critical success factors for implementation of AMTs. *J Modell Manage* 2(3):232-50.
- Schiersch A. 2009. Inefficiency in the German mechanical engineering sector.
- Schuh, G., Anderl, R., Gausemeier, J., ten Hompel, M., & Wahlster, W. (2017). *Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies (acatech STUDY)*. Munich: Herbert Utl Verlag.
- Schuh, G., Potente, T., Wesch-Potente, C., Weber, A. R., & Prote, J. P. (2014). Collaboration mechanisms to increase productivity in the context of industrie 4.0. *Procedia CIRP*, 19(C), 51-56. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.05.016>
- Schumacher A, Erol S, Sihn W. 2016 A maturity model for assessing industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. *Procedia CIRP* 52:161-166.
- Schwab, K. *The fourth industrial Revolution*. Geneva: World Economic Forum, 2016.
- Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 40(Icc), 536-541. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.01.129>
- Thames, L.; Schaefer, D. 2016. Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, v. 52, p. 12-17.

- Tonelli, F., Demartini, M., Loleo, A., & Testa, C. (2016). A Novel Methodology for Manufacturing Firms Value Modeling and Mapping to Improve Operational Performance in the Industry 4.0 Era. *Procedia CIRP*, 57, 122–127. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.022>
- Trott P. 2001 The role of market research in the development of discontinuous new products. *Eur J Innov Manage* 4(3):117–26.
- Vogel-Heuser, B., & Hess, D. (2016). Guest Editorial Industry 4.0 - Prerequisites and Visions. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(2), 411–413. <https://doi.org/10.1109/TASE.2016.2523639>
- Wang, L., Törngren, M., & Onori, M. (2015). Current status and advancement of cyberphysical systems in manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 37, 517–527. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.04.008>
- Wang, S. Wan J., Zhang D., Li D., Zhang C. 2016. Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data-based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, pp.158–168.
- Wang, S., Wan, J., Li, D., & Zhang, C. 2016. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. *International Journal of Distributed Sensor Networks*. Vol. 12, Issue 1.
- WEG Institucional. 2019. As fábricas inteligentes da Indústria 4.0. Acessado em 29 de novembro de 2019. Disponível em: <https://www.weg.net/institucional/ES/pt/news/produtos-e-solucoes/as-fabricas-inteligentes-da-industria-4-0>.
- Weyer, S. Meyer, T., Ohmer M., Gorecky, D. Zühlke, D. 2016. Future Modeling and Simulation of CPS-based Factories: An Example from the Automotive Industry. *IFAC-PapersOnLine*, 49(31), pp.97–102.
- Wuest T, Thoben K. 2011. Information management for manufacturing SMEs IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems 2011:488–95.
- Xu, L. Da, He, W., & Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 10(4), 2233–2243. <https://doi.org/10.1109/TII.2014.2300753>

Anexo A – Questionário do modelo Shift to 4.0

Modelo de Maturidade i4.0

A presente ferramenta, visa o diagnóstico da sua empresa face aos desafios da indústria 4.0 (i4.0). O questionário da ferramenta permite perceber o seu grau de conhecimento nesta temática para poder traçar ações futuras. Tem por intuito ser uma ferramenta de diagnóstico e de suporte a decisões que visem a implementação de ações e a realização de investimentos no âmbito i4.0. A metodologia de estudo usada teve por base o inquérito desenvolvido pelo IW Consult da Cologne Institute for Economic Research e pela FIR da RWTH da Universidade de Aachen chamada IMPULS Industrie 4.0 readiness model.

* Required

QUESTÕES GERAIS RELATIVAS À SUA EMPRESA

1. Nome da Empresa:

2. Correio Electrónico

3. Respondente:

4. Cargo exercido *

5. Q1.1 - Qual o âmbito em que se insere a atividade da empresa? *

6. Q1.2 - Indique o número aproximado de trabalhadores da empresa. (No presente país). *

Mark only one oval.

- até 9 colaboradores
- de 10 a 49 colaboradores
- de 50 a 249 colaboradores
- 250 ou mais colaboradores

7. Q1.3 - Qual o valor aproximado do volume de negócios anual? *

Valor em R\$ calculado utilizando a cotação do dia 03/03/2020

Mark only one oval.

- abaixo de 2 milhões de euros (10 milhões de R\$)
- entre 2 e 10 milhões de euros (10 milhões a 50 milhões de R\$)
- entre 10 e 50 milhões de euros (50 milhões a 250 milhões de R\$)
- acima de 50 milhões de euros (250 milhões de R\$)
- Não especificado

8. Q1.4 - Conhece o conceito de i4.0 (Indústria 4.0, Quarta Revolução Industrial)? *

Mark only one oval.

- Não, nunca ouvi falar
- Vagamente e não é importante para a empresa
- Superficialmente e pretendo saber mais para avaliar o seu potencial na empresa
- O suficiente para já termos alguns projetos piloto a decorrer
- Dominamos o conceito e já o aplicamos de forma transversal na empresa

9. Q1.5 - O que motiva a sua empresa a abraçar os desafios i4.0? *

(Selecione as opções que mais se identifica)

Check all that apply.

- Oportunidade para se diferenciar no mercado
- A empresa tem espírito inovador, pelo que tem de experimentar novos conceitos
- Faz parte da sua condição de líder de mercado
- Os requisitos de mercado e a pressão competitiva
- Nenhuma das anteriores

10. Q1.6 - Que objetivos pretende atingir com a adoção dos conceitos i4.0? *

(Selecione as opções que mais se identifica)

Check all that apply.

- Aumento da eficiência do sistema de produção
- Aumento dos proveitos
- Aumento da eficiência do sistema de gestão
- Nenhuma das anteriores

11. Q1.7.1 - Tipifique atividades i4.0 planeadas/em curso/implementadas na sua empresa. Requisito digitalização de processos com a implementação de sistemas de informação

Mark only one oval.

- Não planeada
- Planeada
- Em curso
- Implementada
- Não relevante

12. Q1.7.2 - Tipifique atividades i4.0 planeadas/em curso/implementadas na sua empresa. Requisito integração entre sistemas e/ou equipamentos com recurso a IoT (internet das coisas)

Mark only one oval.

- Não planeada
- Planeada
- Em curso
- Implementada
- Não relevante

13. Q1.7.3 - Tipifique atividades i4.0 planeadas/em curso/implementadas na sua empresa. Requisito implementação de sistemas que permitam o controlo eficiente dos processos, produtos e serviços e a análise do desempenho em tempo real

Mark only one oval.

- Não planeada
- Planeada
- Em curso
- Implementada
- Não relevante

14. Q1.7.4 - Tipifique atividades i4.0 planeadas/em curso/implementadas na sua empresa. Requisito contratação de técnicos essenciais para a transformação digital

Mark only one oval.

- Não planeada
- Planeada
- Em curso
- Implementada
- Não relevante

15. Q1.7.5 - Tipifique atividades i4.0 planeadas/em curso/implementadas na sua empresa. Requisito reconversão de técnicos para dar resposta à transformação digital

Mark only one oval.

- Não planeada
- Planeada
- Em curso
- Implementada
- Não relevante

Estratégia e Organização

O conceito i4.0 vai muito além da melhoria de produtos, bens, serviços e processos por via da transformação digital. Na realidade, oferece a oportunidade de se desenvolverem novos modelos de negócio, razão pela qual, a sua implementação tem uma importância estratégica.

16. Q2.1 - Como descreve o nível de implementação da estratégia i4.0 na sua empresa?

Mark only one oval.

- Não existe estratégia
- Foram lançadas algumas iniciativas piloto
- A estratégia está em desenvolvimento
- A estratégia está formada
- A estratégia está em implementação
- A estratégia está implementada

17. Q2.2 - Existem indicadores para monitorizar o estado de implementação da estratégia i4.0?

Mark only one oval.

- Sim, possuímos um sistema de indicadores considerado adequado
- Sim, possuímos um sistema de indicadores que nos dá alguma orientação
- Não, a nossa abordagem ainda não está claramente definida

18. Q2.3 - Que tecnologias utiliza na sua empresa?

Check all that apply.

- Sensores
- Dispositivos móveis
- RFID - Identificação por radiofrequência
- Sistemas de localização em tempo real
- Grande volume de dados (big data) para armazenar e avaliar dados em tempo real
- Tecnologias em nuvem como infraestruturas escaláveis de TI (Tecnologias de informação))
- Sistemas TI integrados
- Comunicações M2M (Maquina à maquina)
- Outras

19. Q2.4 - Em que áreas da empresa existe uma gestão sistemática da tecnologia e inovação?

Check all that apply.

- TI - Tecnologias da informação
- Tecnologias da produção
- Desenvolvimento de produto
- Serviços
- Centralizada, em gestão integrada
- Não possuímos

20. 2.4.1 - Qual foi investimento anual em i4.0 nos últimos 2 anos na área de Investigação & Desenvolvimento?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
- Médio
- Pequeno
- Nenhum

21. 2.4.2 - Qual foi investimento anual em i4.0 nos últimos 2 anos na área de Produção/Fabricação?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
- Médio
- Pequeno
- Nenhum

22. 2.4.3 - Qual foi investimento anual em i4.0 nos últimos 2 anos na área de Compras?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
- Médio
- Pequeno
- Nenhum

23. 2.4.4 - Qual foi investimento anual em i4.0 nos últimos 2 anos na área de Vendas?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
- Médio
- Pequeno
- Nenhum

24. 2.4.5 - Qual foi investimento anual em i4.0 nos últimos 2 anos na área de Serviços?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
- Médio
- Pequeno
- Nenhum

25. 2.4.6 - Qual foi investimento anual em i4.0 nos últimos 2 anos na área de TI - tecnologias da informação?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
- Médio
- Pequeno
- Nenhum

26. 2.5.1 - Qual o investimento em i4.0 planeado na empresa está planeado nos próximos 5 anos na área de Investigação & Desenvolvimento?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
- Médio
- Pequeno
- Nenhum

27. 2.5.2 - Qual o investimento em i4.0 planeado na empresa está planeado nos próximos 5 anos na área de Produção/Fabricação?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
 Médio
 Pequeno
 Nenhum

28. 2.5.3 - Qual o investimento em i4.0 planeado na empresa está planeado nos próximos 5 anos na área de Compras?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
 Médio
 Pequeno
 Nenhum

29. 2.5.4 - Qual o investimento em i4.0 planeado na empresa está planeado nos próximos 5 anos na área de Vendas?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
 Médio
 Pequeno
 Nenhum

30. 2.5.5 - Qual o investimento em i4.0 planeado na empresa está planeado nos próximos 5 anos na área de Serviços?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
 Médio
 Pequeno
 Nenhum

31. 2.5.6 - Qual o investimento em i4.0 planeado na empresa está planeado nos próximos 5 anos na área de TI - tecnologia da informação?

Investimento anual Grande: >3% do volume de negócios; Médio: >1 e <3% do volume de negócios;
Pequeno: <1% do volume de negócios

Mark only one oval.

- Grande
 Médio
 Pequeno
 Nenhum

32. Q2.6 - Em que áreas da empresa existe uma gestão sistemática da tecnologia e inovação?

Check all that apply.

- TI - Tecnologias da informação
 Tecnologias da produção
 Desenvolvimento de produto
 Serviços
 Centralizada, em gestão integrada
 Não possuímos

Fábrica Inteligente

Uma fábrica inteligente é um ambiente no qual os sistemas de produção e logísticos têm a capacidade de, em grande parte, se auto organizarem sem intervenção humana. Este modelo é baseado na conexão dos sistemas ciberfísicos (CPS) à infraestrutura tecnológica da fábrica através da Internet das Coisas (IoT). A par dos sistemas físicos o conceito i4.0 envolve também a modelação digital através da recolha, armazenagem e tratamento inteligente de dados. Desta forma, o conceito de fábrica inteligente assegura que a informação é fornecida e os recursos são utilizados de forma mais eficiente. Isto requer uma colaboração através da empresa, em tempo real, entre os sistemas de produção, os sistemas de informação e as pessoas.

33. Q3.0 Sua empresa possui unidades produtivas (chão de fábrica)? *

Se não, avance para a Dimensão seguinte ao final da página.

Mark only one oval.

- Sim
- Não *Skip to question 44*

34. Q3.1.1 - Suas máquinas e sistemas podem ser controlados através de TI?

Mark only one oval.

- Não
- Sim, disponível para alguns equipamentos
- Sim, totalmente disponível

35. Q3.1.2 - Suas máquinas e equipamentos possuem comunicação M2M? (Comunicações Máquina para Máquina)

Mark only one oval.

- Não
- Sim, disponível para alguns equipamentos
- Sim, totalmente disponível

36. Q3.1.2 - Suas máquinas e equipamentos possuem interoperabilidade? (É possível a integração e colaboração com outras máquinas/sistemas)

Mark only one oval.

- Não
- Sim, disponível para alguns equipamentos
- Sim, totalmente disponível

37. Q3.2.1 - Como avalia a adaptabilidade das funcionalidades existentes na infraestrutura da sua empresa no requisito M2M?

Mark only one oval.

- Não relevante
- Relevante, mas não atualizável
- Relevante e com capacidade de atualização
- Elevada, pois a funcionalidade já está disponível

38. Q3.2.2 - Como avalia a adaptabilidade das funcionalidades existentes na infraestrutura da sua empresa no requisito interoperabilidade?

Mark only one oval.

- Não relevante
- Relevante, mas não atualizável
- Relevante e com capacidade de atualização
- Elevada, pois a funcionalidade já está disponível

39. Q3.3 - A digitalização de fábricas torna possível criar um modelo digital da fábrica. A sua empresa já recolhe dados das máquinas e dos processos durante a produção? (Em relação às máquinas considere apenas as que possuem a capacidade de comunicação.)

Mark only one oval.

- Não
- Sim, alguns
- Sim, todos

40. Q3.3.1 - De que forma realiza a recolha de dados?

Mark only one oval.

- Principalmente em modo manual
- Os dados relevantes são recolhidos digitalmente em pelo menos uma área
- Todos os dados são recolhidos digitalmente em diversas áreas
- Todos os dados são recolhidos digitalmente, de forma automática, em todas as áreas

41. Q3.3.2 - Qual a utilização que faz dos dados recolhidos?

Check all that apply.

- Criar transparência através do processo de produção
- Gestão da qualidade
- Otimização do processo logístico
- Otimização do consumo de recursos (material, energia)
- Manutenção preditiva
- Controlo automático da produção através da utilização de dados em tempo real

42. Q3.4 - Quais dos seguintes sistemas utiliza?

Check all that apply.

- MES - Sistema de execução da manufatura (Manufacturing execution system)
- ERP - Planejamento de recursos empresariais (Enterprise resource planning)
- PLM - Gestor do ciclo de vida do produto (Product lifecycle management)
- PDM - Gestor de dados de produto (Product data management)
- PPS - Sistema de gestão da produção (Production planning system)
- PDA - Aquisição de dados de produto (Production data acquisition)
- MDC - Aquisição de dados das máquinas (Machine data collection)
- CAD - Design auxiliado por computador (Computer aided design)
- SCM - Gestor da cadeia de suprimentos (Supply chain management)
- Nenhuma das opções acima

43. Q3.4.1 - Dos sistemas que utiliza, quais possuem alguma interface com o sistema central de armazenamento e tratamento de dados?

Check all that apply.

- MES - Sistema de execução da manufatura (Manufacturing execution system)
- ERP - Planejamento de recursos empresariais (Enterprise resource planning)
- PLM - Gestor do ciclo de vida do produto (Product lifecycle management)
- PDM - Gestor de dados de produto (Product data management)
- PPS - Sistema de gestão da produção (Production planning system)
- PDA - Aquisição de dados de produto (Production data acquisition)
- MDC - Aquisição de dados das máquinas (Machine data collection)
- CAD - Design auxiliado por computador (Computer aided design)
- SCM - Gestor da cadeia de suprimentos (Supply chain management)

**Operações
Inteligentes**

Uma das marcas da i4.0 é a integração dos mundos físico e digital na empresa e entre empresas na sua cadeia de abastecimento. O advento da digitalização e a infinidade de dados disponíveis tornou possível novas formas e abordagens de gestão dos Sistemas de Planejamento da Produção (PPS) e das Cadeias de Valor (SCM), aportando eficiência e conhecimento às operações.

44. Q4.1 - Que informação interna, partilhada entre departamentos, está integrada no sistema central?

Check all that apply.

- Investigação & Desenvolvimento
- Produção/Fabricação
- Compras
- Logística
- Vendas
- Finanças/Accounting
- Serviços
- TI - Tecnologias da informação
- Nenhuma das anteriores

45. Q4.2 - Que informação partilhada com o exterior, clientes e/ou fornecedores, está integrada no sistema central?

Check all that apply.

- Investigação & Desenvolvimento
- Produção/Fabricação
- Compras
- Logística
- Vendas
- Finanças/Accounting
- Serviços
- TI - Tecnologias da informação

46. Q4.3 - A sua empresa tem já experiência de casos de controlo autónomo de produtos através da cadeia de produção?

Mark only one oval.

- Sim, através de toda a empresa
- Sim, mas somente em áreas seleccionadas
- Sim, mas só em teste e fase piloto
- Não

47. Q4.4 - Na sua empresa existem processos de produção que consigam responder autonomamente, em tempo real, a mudanças nas condições de produção?

Mark only one oval.

- Sim, através de toda a empresa
- Sim, mas somente em áreas selecionadas
- Sim, mas só em teste e fase piloto
- Não

48. Q4.5 - Como está organizada a área das Tecnologias de Informação (TI) na sua empresa?

Mark only one oval.

- Não existe departamento de TI interno (recorre-se a um fornecedor de serviços)
- Existe departamento de TI central
- Existem departamentos locais de TI em cada área operacional (produção, desenvolvimento de produto, etc.)
- Existem especialistas em TI alocados em cada área operacional

49. Q4.6.1 - Qual o estado das suas soluções de segurança TI no quesito armazenamento interno de dados?

Mark only one oval.

- Solução implementada
- Solução em desenvolvimento
- Solução planeada
- Solução não planeada

50. Q4.6.2 - Qual o estado das suas soluções de segurança TI no quesito segurança dos dados através de serviços em nuvem?

Mark only one oval.

- Solução implementada
- Solução em desenvolvimento
- Solução planeada
- Solução não planeada

51. Q4.6.3 - Qual o estado das suas soluções de segurança TI no quesito segurança das comunicações para troca interna de dados?

Mark only one oval.

- Solução implementada
- Solução em desenvolvimento
- Solução planeada
- Solução não planeada

52. Q4.6.4 - Qual o estado das suas soluções de segurança TI no quesito segurança das comunicações para troca de dados com parceiros de negócio?

Mark only one oval.

- Solução implementada
- Solução em desenvolvimento
- Solução planeada
- Solução não planeada

53. Q4.7.1 - Já utiliza software baseado em nuvem? (Google Drive, OneDrive, etc.)

Mark only one oval.

- Sim
- Não, mas estamos a planear
- Não

54. Q4.7.2 - Utiliza serviços em nuvem para a análise de dados?

Mark only one oval.

- Sim
- Não, mas estamos a planear
- Não

55. Q4.7.2 - Utiliza serviços em nuvem para a armazenagem de dados?

Mark only one oval.

- Sim
- Não, mas estamos a planear
- Não

Produtos Inteligentes

Os produtos inteligentes são uma componente vital do conceito “fábrica inteligente” facilitando uma produção automática, flexível e eficiente. Estes produtos físicos estão equipados com componentes TIC (sensores, RFID, interfaces de comunicação, etc.) para recolha de dados do seu estado e de eficiências das operações que percorram. Torna-se também possível monitorar e otimizar a condição dos produtos individuais. Isto tem aplicações potenciais para além da produção. O uso de produtos inteligentes durante a fase de utilização, torna possível novos serviços – através de comunicação entre clientes e fabricantes, por exemplo.

56. Q5.0 Sua empresa possui unidades produtivas (chão de fábrica)?

Se não, avance para a Dimensão seguinte ao final da página.

Mark only one oval.

Sim

Não

57. Q5.1 - Indique os produtos da sua empresa que já vêm equipados com funcionalidades baseadas em tecnologia de informação e comunicação (TIC), abaixo descritas.

Check all that apply.

Produtos com memória

Auto-informativos

Integração

Localização

Serviços de apoio

Monitorização

Informação do objeto

TI - Tecnologias da informação

Identificação automática

Não temos nenhuma funcionalidade TIC

58. Q5.2- Os dados recolhidos na fase de utilização são analisados?

Mark only one oval.

Sim

Não. Recolhem dados mas não os analisamos nem utilizamos

Não. Não recolhemos dados na fase de utilização

59. Q5.3 - No caso de analisar os dados, com que fim o faz?

Check all that apply.

- Desenvolvimento de produto
- Apoio ao serviço de vendas
- Serviço pós venda (telecomunicação)
- Análise do comportamento dos utilizadores
- Outros serviços

Serviços Baseados em Dados

O objetivo dos serviços baseados em dados é o de alinhar os futuros modelos de negócio e melhorar o benefício para o cliente. Os serviços após venda serão cada vez mais baseados na avaliação e análise dos dados recolhidos e apoiar-se-ão na integração de dados através de toda a empresa. Os produtos devem ser suportados por sistemas TI de forma a poderem enviar, receber ou processar a informação necessária aos processos operacionais. Isto é a base para serviços digitalizados durante a fase de utilização dos produtos.

60. Q6.1 - Os dados de processo recolhidos nas fases de produção e de utilização permitem novos serviços. Oferece tais serviços?

Mark only one oval.

- Sim, e estamos integrados com os nossos clientes
- Sim, mas sem integração com os nossos clientes
- Não

61. Q6.2 - Qual a importância dos serviços baseados em dados nas receitas da empresa?

Mark only one oval.

- Nenhuma
- Contribuem menos de 1%
- Contribuem menos de 2.5%
- Contribuem menos de 7.5%
- Contribuição mais significativa, inferior a 10%
- Contribuição importante, superior a 10%

62. Q6.3 - Qual o nível de utilização dos dados recolhidos?

Mark only one oval.

- Dados não utilizados
- 0-20% dos dados recolhidos são utilizados
- 20-50% dos dados recolhidos são utilizados
- Mais de 50% dos dados recolhidos são utilizados

Recursos Humanos

As pessoas são a força motriz da transformação digital e são as mais afetados por este processo de mudança. O seu ambiente de trabalho direto é alterado, obrigando-as a adquirir novas competências e qualificações. Por isso, é cada vez mais crítico que as empresas preparem as pessoas para estas mudanças através de programas adequados de formação.

63. Q7.1.1 - Como avalia as competências dos seus recursos humanos quanto aos requisitos i4.0 - Infraestrutura TI?

Mark only one oval.

- Não relevante
- Não existentes
- Existentes, mas inadequadas
- Adequadas

64. Q7.1.2 - Como avalia as competências dos seus recursos humanos quanto aos requisitos i4.0 - Automação?

Mark only one oval.

- Não relevante
- Não existentes
- Existentes, mas inadequadas
- Adequadas

65. Q7.1.3 - Como avalia as competências dos seus recursos humanos quanto aos requisitos i4.0 - Análise de dados?

Mark only one oval.

- Não relevante
- Não existentes
- Existentes, mas inadequadas
- Adequadas

66. Q7.1.4 - Como avalia as competências dos seus recursos humanos quanto aos requisitos i4.0 - Segurança de dados/ segurança das comunicações?

Mark only one oval.

- Não relevante
- Não existentes
- Existentes, mas inadequadas
- Adequadas

67. Q7.1.5 - Como avalia as competências dos seus recursos humanos quanto aos requisitos i4.0 - Desenvolvimento ou aplicação de sistemas de apoio?

Mark only one oval.

- Não relevante
- Não existentes
- Existentes, mas inadequadas
- Adequadas

68. Q7.1.6 - Como avalia as competências dos seus recursos humanos quanto aos requisitos i4.0 - Software colaborativo?

Mark only one oval.

- Não relevante
- Não existentes
- Existentes, mas inadequadas
- Adequadas

69. Q7.1.7 - Como avalia as competências dos seus recursos humanos quanto aos requisitos i4.0 - Competências não técnicas tais como pensamento sistémico e entendimento do processo?

Mark only one oval.

- Não relevante
- Não existentes
- Existentes, mas inadequadas
- Adequadas

70. Q7.2 - Está a desenvolver esforços na aquisição das competências em falta?
Através de ações de formação, seminários, transferência de conhecimento, coaching, etc.

Mark only one oval.

- Não
- Sim, em algumas competências
- Sim, em todas as competências

**Seção
Final**

Muito obrigado por responder a este questionário. Todos os dados obtidos são confidenciais e com o único objetivo de gerar informação científica.

71. Gostaria de receber os resultados deste estudo por correio electrónico?

Mark only one oval.

Sim

Não

72. Se sim, digite seu correio electrónico:

73. Comentários

This content is neither created nor endorsed by Google.

Google Forms