



ANÁLISE DO NÍVEL DE MATURIDADE DAS OPERAÇÕES LOGÍSTICAS DE
EMPRESAS BRASILEIRAS SOB O CONTEXTO DA QUARTA REVOLUÇÃO
INDUSTRIAL

Gabriel Marques de Souza

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador(es): Marcio de Almeida D'Agosto

Suzana Kahn Ribeiro

Rio de Janeiro

Março de 2023

ANÁLISE DO NÍVEL DE MATURIDADE DAS OPERAÇÕES LOGÍSTICAS DE
EMPRESAS BRASILEIRAS SOB O CONTEXTO DA QUARTA REVOLUÇÃO
INDUSTRIAL

Gabriel Marques de Souza

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Orientadores: Marcio de Almeida D'Agosto

Suzana Kahn Ribeiro

Aprovado por: Prof. Marcio de Almeida D'Agosto

Prof. Suzana Kahn Ribeiro

Prof. Elton Fernandes

Prof. Lino Guimarães Marujo

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

MARÇO DE 2023

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

ANÁLISE DO NÍVEL DE MATURIDADE DAS OPERAÇÕES LOGÍSTICAS DE
EMPRESAS BRASILEIRAS SOB O CONTEXTO DA QUARTA REVOLUÇÃO
INDUSTRIAL

Gabriel Marques de Souza

Março/2023

Orientadores: Márcio de Almeida D'Agosto

Suzana Kahn Ribeiro

Programa: Engenharia de Transportes

Com o surgimento da Quarta Revolução Industrial, também chamada de Indústria 4.0, os principais processos industriais passam a sofrer influência de tecnologias inteligentes, capazes de operar de modo independente, autônomo e em tempo real. Tendo em vista a importância operacional e financeira da logística, faz-se necessário avaliar de modo objetivo seu grau de maturidade sob o contexto da Indústria 4.0 e assim auxiliar a indústria nacional a desenvolver seus principais processos para garantir sua adequação à nova realidade.

Este trabalho aplicou o método *Delivery Process Maturity Model* (DPMM) 4.0, escolhido através da revisão da literatura disponível, para avaliar as atividades de transporte de distribuição de 7 empresas manufactureiras localizadas no Brasil, através da aplicação de questionários aplicados a especialistas da área de logística em cargos de média administração. A partir da análise dos dados verificou-se que a indústria brasileira ainda se encontra em estágios iniciais de implementação da metodologia da Indústria 4.0 e demonstram pouca percepção sobre as oportunidades de benefícios que a Indústria 4.0 é capaz de gerar à cadeia de suprimentos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

MATURITY LEVEL ANALYSIS OF LOGISTICS OPERATIONS IN BRAZILIAN COMPANIES UNDER THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION CONTEXT

Gabriel Marques de Souza

March/2023

Advisors: Márcio de Almeida D'Agosto

Suzana Kahn Ribeiro

Department: Transportation Engineering

Due to the emergence of the Fourth Industrial Revolution, also called Industry 4.0, the main industrial processes are now influenced by intelligent technologies, capable of operating independently, autonomously and in real time. Owing to the operational and financial importance of logistics, it is necessary to objectively assess its degree of maturity in the context of Industry 4.0 and thus help the national industry to develop its main processes to ensure its adaptation to the new reality.

This work applied the Delivery Process Maturity Model (DPMM) 4.0 method, chosen through the review of the available literature, to evaluate the distribution transport activities of 7 manufacturing companies located in Brazil, through the application of questionnaires applied to specialists in the field of logistics in middle management positions. From the analysis of the data, it was found that the Brazilian industry is still in the early stages of implementing the Industry 4.0 methodology and shows little perception of the opportunities for benefits that Industry 4.0 is capable of generating to the supply chain.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Descrição do problema	2
1.2 Justificativa.....	3
1.3 Objetivos geral e específicos	3
1.4 Delimitação da pesquisa	4
1.5 Metodologia.....	4
1.6 Estrutura do trabalho	5
2. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS.....	7
2.1 Indústria 4.0.....	8
2.1.1 Internet das coisas	11
2.1.2 Computação em nuvem	14
2.1.3 <i>Big data analytics</i>	15
2.1.4 <i>Blockchain</i>	16
2.1.5 Impressão 3D	18
2.2 Logística 4.0	19
3. MODELOS DE MATURIDADE.....	21
3.1 Modelos de maturidade em operações logísticas	22

3.1.1	Modelo <i>Logistics 4.0 maturity model</i> – Modelo de maturidade Logística 4.0	22
3.1.2	Modelo <i>Maturity levels for logistics 4.0 based on nrw's industry 4.0 maturity model</i> – Níveis de maturidade para Logística 4.0 com base no modelo de maturidade da Indústria 4.0 da NRW	23
3.1.3	Modelo <i>Logistics 4.0 maturity in service industry</i> – Maturidade Logística 4.0 no setor de serviços	24
3.1.4	Modelo <i>Toolbox workforce management 4.0 (WM4.0)</i> – Gestão de mão-de-obra 4.0	25
3.1.5	Modelo <i>Industry 4.0 maturity</i> – Maturidade da Indústria 4.0	26
3.1.6	Modelo de maturidade da Indústria 4.0 aplicado na cadeia de suprimentos no setor automotivo	26
3.2	Modelo de maturidade escolhido	27
3.3	Dimensões avaliadas	30
3.3.1	Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos	30
3.3.2	Alocação das rotas de entrega	32
3.3.3	Seleção da transportadora e custos de transporte	33
3.3.4	Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte	34
3.3.5	Transporte	36
3.3.6	Recebimento e conferência do produto por parte do cliente	37
3.3.7	Instalação do produto	39
4	RESULTADOS	41
4.1	Empresa Alimentos	42
4.2	Empresa Alimentos 2	44

4.3	Empresa Metalurgia.....	46
4.4	Empresa Cerâmica.....	48
4.5	Empresa Tabaco	50
4.6	Empresa Têxtil.....	51
4.7	Empresa Medicamentos.....	53
4.8	Empresa Energia.....	55
4.9	Análise geral	57
4.10	Oportunidades e desafios.....	65
4.10.1	Oportunidades	65
4.10.2	Desafios	67
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de pergunta do questionário sobre o nível de maturidade na Logística 4.0	41
Figura 2 – Análise de Maturidade da Empresa Alimentos	43
Figura 3 - Análise de Maturidade da Empresa Alimentos 2	45
Figura 4 - Análise de Maturidade da Empresa Metalurgia.....	47
Figura 5 - Análise de Maturidade da Empresa Cerâmica.....	49
Figura 6 - Análise de Maturidade da Empresa Tabaco	50
Figura 7 - Análise de Maturidade da Empresa Têxtil.....	52
Figura 8 - Análise de Maturidade da Empresa Medicamentos.....	54
Figura 9 - Análise de Maturidade da Empresa Energia.....	56
Figura 10 – Análise geral da dimensão 1 - Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos.....	58
Figura 11 - Análise geral da dimensão 2 - Alocação das rotas de entrega	59
Figura 12 - Análise geral da dimensão 3 - Seleção da transportadora e custos de transporte	60
Figura 13 - Análise geral da dimensão 4 - Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte	61
Figura 14 - Análise geral da dimensão 5 - Transporte	62
Figura 15 - Análise geral da dimensão 6 - Recebimento e conferência do produto por parte do cliente	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais características das revoluções industriais	7
Tabela 2 – Estágios de maturidade do modelo Logistics 4.0 Maturity Model	23
Tabela 3 - Estágios de maturidade do modelo Delivery Process Maturity Model (DPMM) 4.0	27
Tabela 4 - Dimensões do modelo Delivery Process Maturity Model (DPMM) 4.0.....	29
Tabela 5 – Descrição da análise de maturidade da empresa Alimentos	43
Tabela 6 – Dimensões analisadas na empresa Alimentos	44
Tabela 7 - Descrição da análise de maturidade da empresa Alimentos 2.....	45
Tabela 8 - Dimensões analisadas na empresa Alimentos 2.....	45
Tabela 9 - Descrição da análise de maturidade da empresa Metalurgia.....	47
Tabela 10 - Dimensões analisadas na empresa Metalurgia	47
Tabela 11 - Descrição da análise de maturidade da empresa Cerâmica	49
Tabela 12 - Dimensões analisadas na empresa Cerâmica	49
Tabela 13 - Descrição da análise de maturidade da empresa Tabaco	51
Tabela 14 - Dimensões analisadas na empresa Tabaco	51
Tabela 15 - Descrição da análise de maturidade da empresa Têxtil.....	52
Tabela 16 - Dimensões analisadas na empresa Têxtil	52
Tabela 17 - Descrição da análise de maturidade da empresa Medicamentos.....	54
Tabela 18 - Dimensões analisadas na empresa Medicamentos	54
Tabela 19 - Descrição da análise de maturidade da empresa Energia.....	56

Tabela 20 - Dimensões analisadas na empresa Energia	56
Tabela 21 – Resultados consolidados das empresas analisadas	57
Tabela 22 – Resultados consolidados por dimensão	57
Tabela 23 – Nível de maturidade das empresas analisadas	64

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos séculos, o mundo passou por grandes revoluções industriais, tendo a primeira sido provocada pela invenção da máquina a vapor; a segunda, pelo advento da eletricidade e das linhas de produção e a terceira impulsionada pela computação e pela *internet* (Schwab, 2018). Hoje, a Indústria 4.0, que traz como tendências a inteligência artificial, robótica, *Internet das Coisas* (IoT), veículos autônomos e computação quântica (Stock e Seliger, 2016), é tida como a quarta revolução industrial (Holubčík *et al.*, 2021). Porém, em contraste com as outras três grandes revoluções, a Indústria 4.0 não se limita aos processos de produção e à engenharia, mas também afeta a cadeia de valor como um todo, horizontal e verticalmente, incluindo os processos não mecanizados (Butzer *et al.*, 2016).

A transformação digital reinventa os modelos de negócio e os processos internos das organizações, bem como a maneira como estas se relacionam com clientes e fornecedores, tendo em vista que toda a estrutura e cultura das empresas tem sido afetada por essa transformação. Neste cenário, pessoas, máquinas e recursos podem se comunicar diretamente e em tempo real. Assim, as cadeias de suprimentos são cada vez mais dinâmicas e flexíveis, e o valor agregado é gerado numa sucessão de interações entre as partes envolvidas em constante comunicação (Singh *et al.*, 2015).

Por isso, a digitalização dos processos logísticos e na gestão da cadeia de suprimentos tem se mostrado cada vez mais presente e mais importante nas empresas ao redor do mundo, quebrando antigos padrões e ampliando as fronteiras da indústria (Cichosz *et al.*, 2020). Sendo assim, a importância da logística aumentou e os requisitos para sistemas logísticos cresceram (Biffl *et al.*, 2017).

A tarefa de alcançar eficiência e satisfação do cliente em uma rede de valor agregado de instituições interdependentes pode ser facilitada pelas tecnologias da informação e comunicação (TIC) (Masteika e Cepinskis, 2015). De acordo com Asdecker e Felch (2018), dois avanços recentes no campo das tecnologias da informação são de extrema importância para a integração das múltiplas partes de uma cadeia de suprimentos: a *Internet das Coisas* e os sistemas *cyber-físicos* (CPS).

Além disso, as grandes companhias manufactureiras estão enfrentando o desafio de mudar da produção em massa para a customização em massa, tornando ainda mais difícil a tarefa de adaptar a produção a uma quantidade crescente de variáveis enquanto buscam reduzir

os estoques. De acordo com Spath *et al.* (2013), não será mais possível lidar com essas questões utilizando as abordagens e estratégias convencionais, sendo inevitável a implementação das tecnologias da Indústria 4.0.

Apesar do alto nível tecnológico, é importante destacar que os humanos tem um papel fundamental na Indústria 4.0, já que possuem vantagens em relação às máquinas no que diz respeito à criatividade, experiência e capacidade de resolução de determinados problemas, devido às suas habilidades cognitivas e motoras. Assim, o papel humano é definir as regras para que os sistemas gerenciem e otimizem a si próprios (Issa *et al.*, 2014).

1.1 Descrição do problema

Como citado anteriormente, o surgimento de novas tecnologias na última década vem causando grandes mudanças na sociedade e, principalmente, em atividades industriais, da mesma maneira que as grandes revoluções industriais causaram em suas respectivas épocas, trazendo grandes mudanças também aos sistemas logísticos.

Como Kagermann *et al.* (2022) indicam que a adaptação da indústria a esse fenômeno é fundamental para o desenvolvimento econômico-financeiro dos países, os modelos de maturidade, que de acordo com Hynds *et al.* (2014) descrevem o desenvolvimento de capacidades específicas dentro de uma organização ao longo do tempo, se mostram uma importante ferramenta na análise dos processos, pois são, segundo Vivares *et al.* (2018) uma sequência de estágios que permitem avaliar processos e orientar possíveis melhorias.

Por isso, é importante compreender o estado em que os embarcadores logísticos brasileiros se encontram atualmente, por meio da análise dos níveis de maturidade dos processos das empresas locais.

Assim, o presente estudo visa responder as seguintes perguntas ao longo de seu desenvolvimento:

1 – Qual é o modelo de maturidade mais adequado para analisar as condições atuais dos processos logísticos de empresas brasileiras sob o contexto da quarta revolução industrial?

2 – Em que estágio de desenvolvimento se encontram os processos dos embarcadores logísticos brasileiros em relação à digitalização e à Logística 4.0?

3 – Quais são os principais desafios e oportunidades para a digitalização dos processos de embarcadores logísticos no Brasil?

1.2 Justificativa

A logística compreende atividades de suporte essenciais às operações industriais e, segundo Engblom *et al.* (2012), é responsável por uma parcela significativa e relevante dos custos das empresas, chegando a representar 12,3% do PIB brasileiro e 7,6% da receita líquida das empresas no país (ILOS, 2017).

Beckers *et al.* (2022) afirmam também que devido à pandemia global do COVID-19 os hábitos de consumo da sociedade mudaram e causaram um aumento considerável nos canais de vendas *on-line*, impulsionado pelo período de quarentena. Szász *et al.* (2022) complementam ainda que esse aumento não foi temporário e que ainda há expectativa de crescimento para os próximos anos.

Já no cenário brasileiro, Cruz (2021) afirma que o *e-commerce* deixou de ser uma tendência e se tornou uma realidade, mas ainda possui muita capacidade de expansão, acarretando num possível aumento no volume de cargas transportadas e exigindo serviços cada vez mais eficientes.

Assim, tendo em vista a importância operacional e financeira da logística, é essencial que esta seja capaz de acompanhar o desenvolvimento das operações industriais, já que com a quarta revolução, o advento dos sistemas *cyber-físicos* desencadeou uma mudança de paradigma nas indústrias, em particular no setor de manufatura (Xu *et al.*, 2018). Por esse motivo, é fundamental conhecer e estudar os impactos positivos e negativos da aplicação de novas tecnologias nos processos logísticos atuais e os níveis de desenvolvimento desses processos.

1.3 Objetivos geral e específicos

O objetivo geral desta dissertação é aplicar um modelo de maturidade em empresas brasileiras a fim de analisar o quanto suas operações logísticas estão adaptadas às mudanças tecnológicas e sua percepção em relação à necessidade de adequação. Com isso, espera-se traçar um panorama nacional para que seja possível comparar com os de países onde as mudanças já estão em estágios avançados e verificar os possíveis efeitos dos resultados encontrados nas empresas nacionais.

Dentre os objetivos específicos estão:

- Determinar, por meio da revisão de literatura, o modelo de maturidade mais adequado ao estudo;
- Avaliar as etapas do processo de distribuição mais adaptadas às mudanças decorrentes das novas tecnologias;
- Levantar indicadores quantitativos e qualitativos de maturidade dos processos analisados, visando determinar o nível de maturidade das empresas analisadas.

1.4 Delimitação da pesquisa

A pesquisa se delimitou a embarcadores logísticos brasileiros. A delimitação geográfica compreende todo o território nacional, enquanto a abrangência temporal compreende os dados referentes aos questionários aplicados no primeiro semestre do ano de 2022.

Em relação ao perfil dos respondentes do questionário aplicado, a pesquisa delimitou-se a funcionários de cargos de coordenação e gerência que afirmaram conhecer os conceitos e definições da Logística 4.0.

1.5 Metodologia

A metodologia deste trabalho consiste em 4 etapas que, após finalizadas, permitem responder aos questionamentos propostos no presente trabalho e estão descritas a seguir.

A primeira etapa consistiu numa revisão bibliográfica descritiva a partir de artigos, relatórios técnicos e publicações nacionais e internacionais, sem restrições geográficas e sem restrições temporais, devido ao surgimento relativamente recente do tema explorado. Além disso, foram selecionados livros de referência e relatórios governamentais para reforçar conceitos já estabelecidos.

Nesta etapa, foram explorados os principais assuntos relacionados à Indústria 4.0 e sua aplicação em operações logísticas, bem como uma visão geral de modelos de maturidade e dos principais modelos referentes à Logística 4.0. Como resultado dessa revisão, determinou-se o método mais aderente ao trabalho, com base nas operações logísticas contempladas, na abrangência do método e na facilidade de aplicação.

Na segunda etapa, foram realizadas adaptações, descritas no Capítulo 3, no modelo original, necessárias para a viabilização da execução da pesquisa e, posteriormente, foi

aplicado um questionário para diversos profissionais de cargos de média administração empregados em empresas de manufatura no Brasil e que afirmaram possuir conhecimentos básicos sobre a Logística 4.0.

De posse dos dados informados pelos respondentes na segunda etapa, os resultados foram gerados e analisados na etapa posterior. Nesta fase, foi definido o nível de maturidade de cada dimensão por empresa analisada, o nível de maturidade geral de cada empresa e, por último, o nível de maturidade médio geral e por dimensão de toda a amostra, com a finalidade de descrever a visão geral das empresas estudadas.

A quarta e última etapa compreende uma análise geral do cenário logístico brasileiro, baseada nos resultados da etapa anterior, onde são discutidas as principais oportunidades e desafios do cenário, visando o desenvolvimento logístico e a viabilização do atingimento de níveis de maturidade mais evoluídos que os atuais.

1.6 Estrutura do trabalho

O estudo está dividido em cinco Capítulos, sendo o primeiro a presente introdução. Esse Capítulo apresenta o tema de maneira geral, além de descrever o problema, a justificativa da pesquisa, a metodologia utilizada e seus objetivos e delimitações.

O segundo Capítulo apresenta a revisão teórica, descrevendo brevemente o histórico das revoluções industriais e os impactos de cada uma delas na indústria e nos transportes. Nessa seção é apresentada também a fundamentação teórica das principais tecnologias da quarta revolução industrial e suas aplicações na logística.

No terceiro Capítulo é apresentada a fundamentação teórica de modelos de maturidade. Nele é detalhado o processo de escolha do modelo escolhido, a pesquisa bibliográfica e o questionário utilizado. Nesse Capítulo, são apresentadas as dimensões avaliadas e os requisitos esperados para alcançar a maturidade em relação à digitalização.

De modo complementar, no quarto Capítulo, os resultados dos questionários aplicados são discutidos. Inicialmente cada empresa foi avaliada individualmente, de acordo com os resultados de suas dimensões e, em seguida, foi realizada a análise de cada dimensão de maneira generalizada. Com base nesses resultados, discute-se ainda os principais desafios e oportunidades para o desenvolvimento do cenário logístico brasileiro frente à digitalização de processos.

Por fim, o quinto Capítulo apresenta a conclusão e considerações finais da pesquisa, assim como suas limitações e recomendações para futuros estudos.

2. REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

Neste Capítulo apresenta-se um breve resumo das três grandes revoluções industriais e seus efeitos técnicos e econômicos. Também é apresentada uma visão geral do fenômeno conhecido como “Indústria 4.0”, e seus impactos tecnológicos, organizacionais e financeiros nas operações logísticas são discutidos ao fim da sessão.

O conceito de revolução industrial surgiu na Inglaterra, no final do século XVIII, devido ao surgimento das primeiras máquinas a vapor, que proporcionaram grandes avanços tecnológicos no setor industrial e de transportes, resultando em profundas mudanças sociais e econômicas. Apesar de utilizadas inicialmente na indústria têxtil, substituindo a mão de obra utilizada e automatizando a operação, posteriormente as máquinas a vapor foram disseminadas para diversos usos, inclusive fora do ambiente industrial (Trew, 2014; Clark e Jacks, 2007).

Já a segunda revolução, teve início nos Estados Unidos, em meados do século XIX, e se espalhou rapidamente por todo o mundo industrializado. A energia elétrica, o petróleo e o motor a combustão foram os principais responsáveis por essa nova etapa de desenvolvimento (Mohajan, 2019). Como principais resultados desse período destacam-se a produção industrial em série, a produção em massa, a divisão do trabalho por linhas de montagem e o surgimento dos veículos com motor a combustão interna (Bottomley, 2014).

A terceira revolução industrial, iniciada no século XX nos Estados Unidos, dá início aos avanços na área da informática e robótica, e, conseqüentemente, à automação de processos industriais (Stearns, 2020). Além disso, na terceira revolução, a preocupação com a sustentabilidade e o meio ambiente é superior às revoluções anteriores. Nesse processo, são popularizadas as matérias-primas e as fontes de energia renováveis (Melnyk, et. al, 2019). Nesse aspecto, Rifkin (2013) afirma que a terceira revolução industrial envolve também a formação de uma economia verde, que busca harmonizar os interesses da economia com as necessidade ambientais.

A Tabela 1 mostra, de forma resumida, as principais características de cada uma das três grandes revoluções industriais em relação a tecnologias, fontes de energia e transportes e comunicação:

Tabela 1 – Principais características das revoluções industriais

Evento	1ª Revolução Industrial (Século XVIII)	2ª Revolução Industrial (Século XIX)	3ª Revolução Industrial (Século XX)
Tecnologia dominante e matérias-primas	<ul style="list-style-type: none"> - Máquinas a vapor - Tear mecânico - Ferro processado 	<ul style="list-style-type: none"> - Eletricidade - Química - Motor a combustão - Linha de montagem - Materiais sintéticos 	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnologias da informação - Microeletrônica - Novos materiais - Matérias primas renováveis - Tecnologia limpa - Biotecnologia - Reciclagem
Principais fontes de energia	<ul style="list-style-type: none"> - Carvão 	<ul style="list-style-type: none"> - Carvão - Petróleo - Energia nuclear 	<ul style="list-style-type: none"> - Energias renováveis - Eficiência energética
Transportes e comunicações	<ul style="list-style-type: none"> - Ferrovias - Telégrafo 	<ul style="list-style-type: none"> - Carros - Aviões - Rádio - Televisão 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas ferroviários de alta velocidade - <i>Internet</i> - Sistemas de telefonia móvel
Países impulsionadores	<ul style="list-style-type: none"> - Reino Unido - Bélgica - Alemanha - França 	<ul style="list-style-type: none"> - Estados Unidos - Japão - Alemanha 	<ul style="list-style-type: none"> - União Europeia - China - Estados Unidos - Japão

Fonte: Siebenhüner *et al.*, (2013)

De acordo com Popkova *et al.* (2018), todas as revoluções industriais possuem pontos em comum que as caracterizam como revoluções, e não apenas evoluções na indústria. Para os autores, a pré-condição para uma revolução industrial é o acúmulo de um volume suficiente de tecnologias completamente novas de produção industrial, sua implementação em massa e o conseqüente desenvolvimento evolutivo do setor econômico.

2.1 Indústria 4.0

O governo alemão, conhecido por seus altos investimentos no setor de manufatura, lançou no ano de 2011 o programa “Indústria 4.0”, que tinha como objetivo o desenvolvimento de uma indústria totalmente integrada (Brettel *et al.*, 2014). A partir daí, o tema vem ganhando relevância mundial e chegou, inclusive, à agenda do Fórum Econômico Mundial de 2016 (Schwab, 2018).

A Indústria 4.0 tem como princípios a interoperabilidade, a virtualização, a descentralização, atuação em tempo real, orientação ao serviço e a modularidade. Como resultado, em termos de recursos, a Indústria 4.0 pode oferecer mais flexibilidade, reduzir os *lead times*, diminuir os tamanhos dos lotes de produção e reduzir os custos operacionais (Shafiq *et al.*, 2016).

Na última década, diversos países criaram programas locais visando o desenvolvimento e a adoção das tecnologias da Indústria 4.0., como Alemanha, responsável pela criação do programa (Kagermann *et al.*, 2015), Estados Unidos, com o projeto “*High-Tech Strategy 2020*” (Reif *et al.*, 2014), e China, que criou o projeto “*Made in China 2025*” (Li, 2018).

Além dos países já citados, no Brasil, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), em conjunto com o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), criou o programa “Rumo à Indústria 4.0”, com o objetivo de auxiliar as empresas brasileiras a inovarem e aumentarem sua competitividade (ABDI, 2017).

Thames e Schaefer (2016) afirmam que dentre os objetivos da Indústria 4.0 estão o atingimento de eficiência operacional e produtividade, bem como um maior nível de automação. Lu (2017) afirma ainda que a Indústria 4.0 não é apenas altamente correlacionada com tecnologias de *internet* e algoritmos avançados, mas também é um processo industrial de agregação de valor e gestão do conhecimento.

Jazdi (2014) assume que o principal expoente da Indústria 4.0 é o surgimento da manufatura digital, também chamada *smart factory*, expressão em inglês que significa “fábrica inteligente”. Esse conceito engloba redes inteligentes, mobilidade, flexibilidade e interoperabilidade de operações industriais, e faz com que surjam novos modelos de negócio nas organizações atuais. Nesse contexto, Chen *et al.* (2017) definem a *smart factory* como um sistema de produção inteligente que integra processos de comunicação, processos de computação e processos de controle nos processos de fabricação para atender às demandas industriais, enquanto Sjödin *et al.* (2018) a definem como um sistema de manufatura conectado e flexível que usa um fluxo contínuo de dados de operações e sistemas de produção integrado para aprender e se adaptar a novas demandas, evidenciando a grande importância da integração.

A Indústria 4.0 baseia-se, inicialmente, em duas dimensões de integração, chamadas de integração horizontal e integração vertical (Thoben *et al.*, 2017). A integração horizontal

diz respeito à integração entre diferentes companhias (Suri *et al.*, 2017) e utiliza os sistemas de informação para enriquecer o ciclo de vida de produtos (Salkin *et al.*, 2018), criando um ecossistema interconectado dentro da mesma rede de criação de valor (Tupa *et al.*, 2017). Para isso, é necessária uma plataforma que garanta a interoperabilidade e possibilite a troca de informações entre todos os agentes da cadeia (Suri *et al.*, 2017).

Já a integração vertical se refere à integração de setores dentro de uma mesma organização e é a base para a troca de informações entre diversos níveis hierárquicos da empresa (Tupa *et al.*, 2017). A integração vertical “digitaliza” todo o processo de dentro da organização, considerando todos os dados disponíveis dos processos operacionais e administrativos, em tempo real (Alcácer & Cruz-Machado, 2019). Suri *et al.* (2017) afirmam ainda que para atingir a integração vertical, a padronização dos processos é uma etapa primordial. Salkin *et al.* (2018) complementam que a integração vertical é o principal aspecto de transição para uma *smart factory* e Mabkhot *et al.* (2018) definem as *smart factories* como o coração da Indústria 4.0.

Alguns autores, como Bag *et al.* (2018), Posada *et al.* (2015) e Wang *et al.* (2016), afirmam que a Indústria 4.0 desenvolveu um novo tipo de integração, chamado de *end-to-end*, que considera todo o ciclo de vida de um produto. De acordo com Alcácer & Cruz-Machado (2019), na integração *end-to-end* todas as etapas, desde o projeto até a possível remanufatura do produto já consumido estão interconectadas, permitindo a criação de produtos e serviços customizados ao longo da cadeia de valor (Stock e Seliger, 2016).

Com base em todos esses conceitos, Barreto *et al.* (2017) concluem que a principal característica associada à quarta revolução industrial são as redes inteligentes baseadas em sistemas *cyber*-físicos, necessários para promover toda essa integração. Por sua vez, Lu (2017) mostra um crescimento das publicações relacionando os sistemas *cyber*-físicos na década, corroborando com a afirmação.

De acordo com Liu *et al.* (2018), um CPS pode monitorar e criar uma cópia virtual dos processos da vida real e, assim, pode-se saber o status de cada um desses, controlar e tomar as decisões adequadas em tempo real. Assim, os CPS podem reunir os mundos físico e virtual para construir uma realidade inteiramente interconectada. Para que essa integração seja possível, são necessários diversos componentes, como sensores, atuadores, unidades de processamento de controle e dispositivos de comunicação (Rajkumar *et al.*, 2010).

Além dos componentes físicos citados anteriormente, a *Internet* das Coisas também tem contribuído consideravelmente com o avanço dos CPS. A IoT é uma rede de informações composta por vários dispositivos que dependem de tecnologias sensoriais, de comunicação, de rede e de processamento de informações (Tan e Wang, 2010). Como resultado de suas aplicações, a IoT é capaz de facilitar a integração de processos e sistemas e contribuir para a comunicação entre eles, revolucionando a produção, prestação de serviços, logística e planejamento de recursos, de forma mais eficaz e econômica (Barreto *et al.*, 2017).

De acordo com Hofmann *et al.* (2019), uma empresa de manufatura digitalizada não é apenas interconectada, mas também comunica, analisa e utiliza dados para direcionar ainda mais ações no mundo físico de forma inteligente. Assim, os processos decisórios são majoritariamente descentralizados e os próprios elementos do sistema (como plantas de produção ou veículos de transporte) são capazes de tomar decisões autônomas e direcionadas.

Para que os conceitos de interoperabilidade e automatização expostos sejam postos em prática, é necessária a aplicação de diversas tecnologias, consideradas disruptivas, desenvolvidas nas últimas décadas. Segundo Witkowski (2017) e Hermann *et al.* (2016), as principais tecnologias são a *Internet* das Coisas, a computação em nuvem, o *big data analytics*, o *blockchain* e a impressão 3D. Estas serão exploradas a seguir.

2.1.1 Internet das coisas

A *Internet* das Coisas representa uma rede onde “coisas” ou dispositivos embarcados providos de sensores são interconectados através de uma rede, que pode ser pública ou privada (Atzori *et al.*, 2010). De acordo com Kahn e Salah (2018), os dispositivos em IoT podem ser controlados remotamente para realizar a funcionalidade desejada, além de serem processados em tempo real, aumentando ainda mais sua eficiência.

A tecnologia da *Internet* das Coisas permite que microchips transmitam informações para leitores remotos utilizando redes de *internet* sem fio (Alyahya *et al.*, 2016), ou ainda que os usuários sejam capazes de distinguir, rastrear e monitorar qualquer tipo de objeto automaticamente e em tempo real (Jia *et al.*, 2012).

Inicialmente, o conceito de *Internet* das Coisas se referia apenas a objetos conectados interoperáveis exclusivamente identificáveis usando a tecnologia de identificação por

radiofrequência (Xu *et al.*, 2014), porém o conceito se desenvolveu e, hoje, compreende diversas aplicações nas mais variadas áreas, como agricultura (Liu *et al.*, 2015), logística (Verdouw *et al.*, 2015) e até mesmo no monitoramento de condições de saúde de pacientes (Singh *et al.*, 2020).

Mesmo com diversas possibilidades de aplicação, de acordo com Kim e Kim (2016), a aplicação da *Internet* das Coisas à logística é o seu uso mais promissor, devido ao seu forte potencial de mercado e à promessa de uma melhoria considerável em sistemas logísticos de cadeias de suprimentos empresariais. Nesse sentido, algumas das aplicações são discutidas a seguir:

- Gestão de estoques: A utilização da *Internet* das Coisas pode fornecer uma plataforma de armazenamento colaborativo para facilitar o compartilhamento de espaço físico e informações logísticas entre várias empresas, ajudando-as a rastrear o estoque com eficiência, melhorando a rastreabilidade e a transparência das operações (Goldsby e Zinn, 2016). Lu *et al.* (2018) afirmam que esse é um dos principais avanços recentes relacionados à logística e à gestão da cadeia de suprimentos.

- Monitoramento de frotas: O monitoramento de frotas pode ser realizado por meio de dispositivos rastreadores com sistemas de posicionamento global (GPS) instalados em veículos e em constante comunicação via rede de dispositivos IoT (Zanella *et al.* 2014).

- Gestão de frotas: Macaulay *et al.* (2015) afirmam que a gestão de frotas é uma parte crítica dos setores de logística e transportes, pois envolve a movimentação de ativos e equipamentos. Ao implementar aplicativos IoT para manter e gerenciar frotas, os custos podem ser reduzidos e o tempo economizado, pois os dispositivos IoT fornecem informações em tempo real sobre as condições da frota e dos veículos individualmente

- Visibilidade: De acordo com Tu (2018), a gestão de transportes e logística depende da gestão adequada e oportuna da cadeia de suprimentos. Correa *et al.* (2020) afirmam que A tecnologia IoT pode sincronizar informações existentes e fluxos de produtos em uma cadeia de suprimentos, integrando dados dos membros da cadeia de suprimentos para fornecer informações completas e transparentes, melhorando a visibilidade e a eficiência de todos os membros da cadeia de suprimentos. Bag *et al.* (2020) afirmam ainda que a *Internet* das Coisas pode auxiliar também o planejamento logístico e suportar, indiretamente, atividades como o *order picking* e o *packaging*.

Devido aos esforços de desenvolvimento tecnológico de diversos países, visando a competitividade das indústrias locais, uma ampla gama de aplicativos IoT foi desenvolvida e implantada, oferecendo oportunidades promissoras para resolver problemas nas indústrias (Zhang *et al.*, 2018). Dentre as novas descobertas, estão os CPS.

CPS são sistemas físicos e de engenharia para os quais um núcleo de computação e comunicação monitora, coordena, controla e integra todas as operações, podendo ser desenvolvidos para gerenciar um grande volume de dados e fornecer serviços em tempo real (Han *et al.*, 2016).

Os CPS prometem integrar recursos e atividades produtivos em toda a cadeia de suprimentos de manufatura, sincronizando informações entre os mundos cibernético e físico e compartilhando informações de produção entre diferentes partes interessadas em diferentes locais em uma cadeia de suprimentos distribuída e colaborativa (WANG *et al.*, 2015).

Zhang *et al.* (2018) afirmam ainda que em escala industrial, a maioria das empresas é independente e as informações não são compartilhadas. Como consequência, a falta de integração logística em apoio a produção pode desperdiçar recursos de fabricação devido a uma baixa taxa de uso, o que causa mais custos de fabricação, tempo de fabricação e consumo de energia. Os autores concluem que os CPS podem aumentar a integração entre produção e logística, implementando a configuração auto-organizada dos recursos de fabricação não apenas dentro de células de produção, mas também entre empresas cooperativas, o que pode aumentar a utilização de recursos, eliminar desperdícios e melhorar a produtividade na indústria manufatureira.

Além de possibilitar a integração de informações de diferentes agentes envolvidos no processo produtivo, quando os objetos em um ambiente de fabricação são dotados de capacidades *cyber*-físicas e conectados à mesma rede, as possibilidades de automação do sistema são estendidas além dos limites dos sistemas tradicionais de controle (Rojas e Rauch, 2019). De fato, em contraste com os sistemas de controle autônomos comuns, será possível, com a Indústria 4.0, projetar sistemas autônomos colaborativos que se auto-regulam, graças à capacidade de cada entidade de recuperar informações de seus pares e de si mesma. Este tipo de sistema de controle é chamado de sistema de controle em rede (NCS, do inglês *networked control system*) (Gupta e Chow, 2010).

2.1.2 Computação em nuvem

De acordo com Dai *et al.* (2015), a computação em nuvem é um paradigma computacional no qual tarefas são atribuídas a uma combinação de conexões, *softwares* e serviços acessados em uma rede. Na computação em nuvem, os recursos estão localizados em ambientes virtualizados e distribuídos de forma geograficamente dispersa (Buyya *et al.*, 2009), e podem ser acessados em qualquer lugar, mesmo remotamente, no local de trabalho ou fora dele. Bhoir e Principal (2014) complementam que a nuvem permite que os usuários acessem recursos conforme necessário e que sua arquitetura pode gerenciar uma variedade de cargas de trabalho diferentes.

De acordo com Liu *et al.* (2013), a computação em nuvem se mostra uma importante ferramenta para a gestão da cadeia de suprimentos, tendo em vista que é de extrema importância manter a comunicação de dados em tempo real entre as partes envolvidas para monitorar a rede da cadeia de suprimentos.

As soluções de computação em nuvem podem influenciar as capacidades dos agentes logísticos para organizar e executar adequadamente o processamento de pedidos, design de rede logística, transporte de entrada e saída, gerenciamento de estoque, gerenciamento de frete e frota, gerenciamento de comércio global, desembaraço aduaneiro, armazenamento, distribuição e outros serviços valores agregados (Oliveira *et al.* 2013).

Vemula e Zsifkovits (2016) afirmam que com soluções em nuvem é possível realizar a transferência de dados precisos em tempo real, contribuindo com a melhoria da gestão logística daqueles que utilizam a tecnologia em questão.

Flynn *et al.* (2010) afirmam que a computação em nuvem é capaz de levar as cadeias de suprimentos a um grau de integração em que uma empresa colabora com seus parceiros da cadeia de suprimentos e gerencia de forma colaborativa os processos “intraorganizacionais” e “interorganizacionais”, a fim de alcançar uma integração eficaz e eficiente dos fluxos físicos, de informação e financeiros. Essa integração envolve o alinhamento estratégico de funções e processos dentro de uma organização e entre os membros da cadeia de suprimentos (Kumar *et al.*, 2017).

Correa *et al.* (2020) afirmam que a utilização da computação em nuvem na gestão da cadeia de suprimentos permite a otimização dos processos, promovendo o atendimento às demandas com menor custo e menor tempo de resposta. Vemula e Zsifkovits (2016)

citam como exemplos as soluções de rastreamento de veículos em tempo real e a possibilidade de integração entre provedores de serviços de logística terceirizados e clientes, permitindo, respectivamente melhoras significativas na velocidade de entrega e redução de gastos com gerenciamento de transporte, e o gerenciamento global das operações.

Ivanov *et al.* (2022) sintetizam os conceitos discutidos anteriormente e apresentam o conceito de *cloud supply chain*, definido pelos autores como a combinação de todos os processos operacionais (logística, armazenamento, fabricação, compras, vendas e devoluções), todos os fluxos (material, informacional e financeiro), e todos os atores da cadeia de suprimentos (fornecedores, fabricantes, distribuidores e clientes) dentro de plataformas e ecossistemas digitais.

2.1.3 *Big data analytics*

Com os avanços das tecnologias de informação e comunicação, a quantidade de dados gerados constantemente em todo o mundo é cada vez maior. Bughin *et al.* (2010) afirmam que os dados são identificados em diversos ambientes em volumes nunca vistos antes, dobrando a cada 18 meses como resultado de diversos tipos de bancos de dados.

Manyika *et al.* (2011) consideram que *big data* se refere a conjuntos de dados cujo tamanho vai além de bancos de dados típicos que podem ser criados, armazenados, gerenciados e analisados por ferramentas existentes. Já Fisher *et al.* (2012), consideram que na maioria das vezes *big data* se refere à concepção de que o volume de dados não pode ser tratado, processado e analisado de forma simplificada, exigindo tecnologias muito mais robustas, técnicas e pessoas com novas habilidades para gerenciar esses grandes conjuntos de dados.

Com base nas definições anteriores, Wamba *et al.* (2015) introduziram o modelo dos 5 “V”. Nesse modelo, o *big data* é definido por “volume”, “velocidade”, “variedade”, “valor” e “veracidade”. Em suma, os autores definem o *big data* como um grande volume de dados, gerado em alta velocidade e com grande variedade de informações, que condizem com a realidade daquele momento e cuja análise é capaz de gerar benefícios para o negócio (Vesset *et al.*, 2014; Schroeck *et al.*, 2012; Wamba *et al.*, 2015).

Ao processo de análise desses dados, dá-se o nome de *big data analytics*, que envolve o processamento de dados de diferentes fontes em diferentes formatos. Por exemplo, os

dados podem vir da *web*, mídias sociais, sistemas ERP e plataformas em nuvem, e podem ser fornecidos em formatos de texto, gráficos, áudio e vídeo (Hu *et al.*, 2014). Dentre as técnicas utilizadas para a análise de dados, Choi *et al.* (2018) citam como principais as ferramentas estatísticas em geral, o *machine learning*, o *data mining* e a otimização.

Diversos autores acreditam que a análise de dados pode trazer grandes impactos à gestão das cadeias de suprimentos. Li *et al.* (2015) afirmam que o *big data analytics* pode mudar o gerenciamento do ciclo de vida do produto na cadeia de suprimentos, enquanto Boone *et al.* (2018) apresentam como benefício a otimização de peças de serviço no gerenciamento de operações pós-venda. Já Waller e Fawcett (2013) afirmam que o *big data analytics* pode mudar todo o gerenciamento tradicional do ciclo de vida do produto na cadeia de suprimentos.

De acordo com Ittmann (2015), a convergência de certos fatores aumentou o desejo de usar a análise de dados nas cadeias de suprimentos. São eles: 1) o grande volume de dados gerados nas cadeias de suprimentos; 2) o custo mais baixo de armazenamento de dados em relação ao passado; 3) *hardwares* poderosos que podem acelerar a análise de dados; 4) acesso contínuo a partir de dados móveis; 5) ferramentas poderosas que simplificam o trabalho com dados e 6) métodos que podem mostrar graficamente uma grande quantidade de dados.

O uso do *big data analytics* mostrou ser útil para melhorar os processos de logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos (Arunachalam *et al.*, 2018; Brinch *et al.*, 2018; Dubey *et al.*, 2019; El-Kassar e Singh, 2019). De acordo com Ghalekhondabi *et al.* (2020), o uso de *big data* na logística representa a modelagem e análise de sistemas logísticos usando conjuntos de *big data* que foram gerados por dispositivos GPS, telefones celulares e operações das empresas de logística. Considerando a tendência atual de aplicações de *big data* no setor de logística, pode-se dizer com segurança que o setor de logística está em uma fase de transição de serviços baseados em produtos para serviços baseados em informações (Mehmood e Graham, 2015).

2.1.4 Blockchain

Segurança e preservação de privacidade são preocupações importantes para aplicativos da Indústria 4.0 (Makhdoom, 2019), já que de acordo com Bodkhe *et al.* (2020), com uma crescente taxa de automação na Indústria 4.0., a probabilidade de violação de regras de segurança e a incidência de novos tipos de ataques cibernéticos também está aumentando.

Morkunas *et al.* (2019) pontuam que para mitigar as ameaças de ataques virtuais, as soluções atuais do setor estão usando a arquitetura centralizada, baseada em cliente-servidor, na qual a autoridade centralizada detém todos os privilégios. Mas, se a autoridade centralizada for comprometida, todo o sistema poderá falhar. Em resposta a esses problemas, foi criado o *blockchain*, que vem sendo usado para lidar com questões de privacidade e segurança na Indústria 4.0 (Feng *et al.*, 2019).

A tecnologia *blockchain* tem o potencial de dificultar os ataques cibernéticos, pois elimina a necessidade da autoridade centralizada realizar várias operações (Lu, 2019), já que na tecnologia *blockchain*, vários usuários participam da verificação e validação de transações (Wang *et al.*, 2019). Para isso, a tecnologia *blockchain* utiliza bancos de dados estruturais distribuídos, de forma criptografada, cujas transações são sempre vinculadas a chaves criptográficas e livros-razão imutáveis, dificultando a manipulação ou exclusão de informações gravadas por invasores (Muzammal *et al.*, 2019). Dessa forma, os dados são sempre armazenados de forma imutável usando *timestamps*, auditoria pública e mecanismos de consenso (Bodkhe *et al.*, 2020). Assim, de acordo com Hirsh *et al.* (2018), o uso desses mecanismos torna a arquitetura de segurança robusta e garante a integridade e privacidade dos dados.

Dentre as diversas possibilidades de aplicação do *blockchain*, alguns autores, como Al-Jaroodi e Mohamed (2019), Wang *et al.* (2019), Pilkington (2016) e Zheng *et al.* (2018), citam os benefícios da utilização dessa tecnologia na gestão de cadeias de suprimentos. Laaper *et al.* (2017) afirmam que a introdução do *blockchain* nas cadeias de suprimentos as torna mais transparentes, autênticas e confiáveis. Para isso, Christidis e Devetsikiotis (2016) mostram que existem duas características principais da tecnologia *blockchain* que são importantes para sua implementação e uso significativo em logística e cadeias de suprimentos. São elas:

- Troca de informações segura, verificada e confiável por meio de *blockchain* em tempo real, que torna os dados acessíveis a todos os membros da rede de fornecimento ou a qualquer outra pessoa (dependendo do tipo de *blockchain*);
- Possibilidade de verificação automática e execução de transações acordadas quando certos requisitos são atendidos por meio de contratos inteligentes.

Com base nessas características, Dujak e Sajter (2018) afirmam que algumas das áreas de implementação mais importantes de *blockchain* em logística e cadeia de suprimentos são

rastreamento da origem do produto, bem como rastreamento do fluxo do produto através da rede de fornecimento, previsão de demanda, diminuição do risco de falsificação e fraude e acesso aberto a informações na cadeia de suprimentos, possibilitando a redução de impactos negativos no meio ambiente e automatizando transações por meio de contratos inteligentes.

Tijan *et al.* (2019) afirmam que o *blockchain* é considerado uma solução para conectar e gerenciar dispositivos IoT de forma confiável e que, por isso, a logística pode ser um dos campos de aplicação mais promissores, dada a grande quantidade de objetos IoT possíveis em um ambiente logístico. Os autores citam ainda que com a tecnologia *blockchain* na cadeia de suprimentos toda vez que um produto é trocado entre os lados, a transação pode ser documentada, criando um histórico permanente do produto em particular, desde a fabricação até a venda.

2.1.5 Impressão 3D

Por fim, a última das tecnologias apresentadas é a impressão 3D, que se configura como a confecção de objetos sólidos em 3D criados a partir de um desenho computacional. Durante o processo de confecção dessas peças, o material escolhido é adicionado em camadas, a fim de garantir que a matéria prima seja aproveitada ao máximo (Florêncio *et al.*, 2016)

A tecnologia de impressão 3D tem o potencial de revolucionar as indústrias e organizações produtivas, pois a adoção dessa tecnologia possibilita a redução de estoques e estreitamento de *lead times* (Holmström e Partanen, 2014), agregando valor nos processos de armazenamento, produção e distribuição de produtos (Cunico, 2015; Schwab, 2018). Ao mesmo tempo, a demanda do consumidor terá mais influência sobre a produção, já que esses têm maior participação no produto final e podem solicitar que ele seja produzido de acordo com suas especificações (Abdulhameed *et al.*, 2019).

É possível afirmar também que a impressão 3D pode, potencialmente, tornar as cadeias de suprimentos mais enxutas e ágeis (Rogers *et al.*, 2016; Kietzmann *et al.*, 2017). A tecnologia possibilita que as instalações da empresa estejam localizadas mais próximas do consumidor, e, por isso, Rajan *et al.* (2016) afirmam que ao usar a tecnologia de impressão 3D, a necessidade de transporte global diminui significativamente, porque nesse caso os locais de fabricação ficam mais próximos do destino final, economizando energia e tempo.

2.2 Logística 4.0

Segundo Ballou (2005), o conceito de logística está associado às atividades de movimentação e armazenagem que geram o fluxo de produtos e de informações desde o ponto de aquisição de matérias-primas até o ponto de consumo final, com o propósito de ampliar os níveis de serviço ao cliente a um menor custo possível.

Smit *et al.* (2016) afirmam que a digitalização tem sido o principal impulsionador das mudanças em toda a cadeia de valor e que as empresas precisam impulsionar a transformação digital de seus negócios para ter sucesso no novo ambiente. Por isso, a integração *end-to-end* é fundamental para a gestão logística nos novos modelos de negócio, já que a visibilidade completa de toda a cadeia de abastecimento permite um planejamento orientado pela demanda, permitindo respostas eficientes às mudanças na origem, oferta, capacidade e demanda (Oleśków-Szlapka e Lubiński, 2016).

As transformações decorrentes da Indústria 4.0, que incluem as dimensões operacional, tecnológica e social, afetam não apenas as indústrias de manufatura, mas também elementos de toda a cadeia de suprimentos (Luthra e Mangla, 2018). A logística vem sendo afetada por tecnologias como IoT, CPS, *big data* e sensores inteligentes (Horenberg, 2017), que possibilitam a integração *end-to-end*. Esse processo é chamado de Logística 4.0 e pode ser definido como a conexão de toda a cadeia de suprimentos por meio de tecnologias da informação, onde sensores de alta tecnologia e robótica avançada são utilizados nas operações (Jahn *et al.*, 2018).

De maneira geral, a Logística 4.0 pode ser caracterizada como um sistema que usa os avanços tecnológicos para melhorar a flexibilidade das operações e aumentar a satisfação dos clientes, otimizar as atividades logísticas e se adaptar às mudanças globais sob o escopo da Indústria 4.0 (Domingo Galindo, 2016). Segundo Kayikci (2018), as principais características da digitalização da logística são:

- **Cooperação:** A digitalização permite a criação de associações virtuais (*clusters*), através dos quais as companhias podem compartilhar dados e informações;
- **Conectividade:** A digitalização promove a integração horizontal e vertical nas cadeias de suprimentos e facilita a visualização das informações em todos os elos da cadeia;

- Adaptabilidade: O sistema de recursos digitais conectados é flexível e pode responder às diferentes mudanças no mercado, sejam estas causadas por fatores internos ou externos;
- Integração: No mundo digital, a integração de sistemas logísticos é o processo de conectar diferentes sistemas computacionais e aplicativos de *software*, física ou funcionalmente, a fim de fornecer coordenação de fluxos logísticos;
- Objetos autônomos: Objetos inteligentes, capazes de se comunicar e tomar decisões independentes com base em dados próprios e em características do ambiente, estão cada vez mais presentes nos sistemas logísticos.
- Cognição: Aplicação de dispositivos e sistemas para automação de tarefas que requerem habilidades humanas, conhecimento, percepção e habilidades cognitivas (planejamento, raciocínio e aprendizagem).

Entretanto, de acordo com Oleśków-Szlapka *et al.* (2019), apesar dos inúmeros benefícios que se esperam obter da digitalização dos processos logísticos, também existem desafios no processo. Dentre alguns dos desafios encontrados na literatura existente estão a necessidade de qualificação da mão de obra (Erol *et al.*, 2016; Shamim *et al.*, 2016), os riscos da segurança das informações em ambientes digitais (Cimini *et al.*, 2017; Kiel *et al.*, 2017), a necessidade de integração de diferentes tecnologias (Sung, 2018; Zhou *et al.*, 2015) e o aporte financeiro necessário para a implantação de novos sistemas e tecnologias (Erol *et al.*, 2016; Kiel *et al.*, 2017). Por fim, Barreto *et al.* (2017) complementam que para se atingir um sistema robusto e eficiente de Logística 4.0 é necessário investir em sistemas de planejamento de recursos, de gestão de armazenagem e de gestão de transportes, além da segurança de informações.

Devido a esses desafios, muitas empresas tem incertezas, tanto quanto ao esforço necessário para a implementação das tecnologias, quanto ao impacto em seus modelos de negócio (Nagy *et al.*, 2018). Então, de acordo com Facchini *et al.* (2019), é necessário avaliar se as empresas estão preparadas para entrar na Indústria 4.0 ou não, dependendo de suas capacidades de compreender a ideia geral do projeto e mudar seus modelos de negócio de acordo com as novas tendências. Por isso, para superar a crescente incerteza e insatisfação das empresas na implementação da Indústria 4.0, novos métodos e ferramentas tem sido desenvolvidos para fornecer orientação e suporte para alinhar as estratégias de negócio e operações das empresas (Schumacher *et al.*, 2016).

3. MODELOS DE MATURIDADE

O conceito de maturidade pode ser descrito como um estado em que uma organização está em perfeitas condições para atingir seus objetivos (Klötzer e Pflaum, 2017). Outra definição, em linha com a anterior, diz que a maturidade é o estado de ser completo, perfeito ou pronto (Schumacher *et al.*, 2016). Já os modelos de maturidade dizem respeito a *frameworks* concebidos para avaliar a maturidade de uma organização por meio da definição de um conjunto de níveis estruturados que descrevem como o comportamento, as práticas e os processos podem produzir os resultados necessários de forma confiável e sustentável (Battista e Schiraldi, 2013).

Os modelos são compostos por níveis e dimensões (Donovan *et al.*, 2016), onde os níveis são rótulos ordinais que significam estágios de maturidade, enquanto as dimensões representam capacidades específicas de um domínio de interesse. Um nível de maturidade consiste na consolidação de práticas gerais e específicas relacionadas a um conjunto de processos predefinidos que aumentam o desempenho geral de uma organização, ou um objetivo específico (De Souza e Gomes, 2015).

Os modelos de maturidade fornecem uma abordagem estruturada para iniciar e acompanhar projetos operacionais de curto prazo, mudanças táticas de médio prazo ou mudanças estratégicas de longo prazo. Todos os modelos são construídos sobre a hipótese de que a evolução organizacional segue um padrão linear previsível de estágio por estágio (Isoherranen *et al.*, 2015). Felch *et al.* (2019) afirmam que esses modelos podem contribuir para a transformação organizacional e a renovação de competências nas organizações ao iniciar um processo de mudança. Já Becker *et al.* (2009) afirmam que essa é uma ferramenta essencial para ajudar as organizações a estabelecer um roteiro de mudanças para se posicionarem melhor.

Em relação a quantidade de estágios de maturidade, De Bruin *et al.* (2005) observam que a quantidade pode variar de modelo para modelo, mas o importante é que os estágios sejam distintos e bem definidos, e que haja uma progressão lógica de estágios. Ressaltam também a necessidade de fornecer um resumo dos principais requisitos e medidas das etapas, especialmente aqueles aspectos que não foram incluídos como elementos de etapas anteriores, para facilitar análises detalhadas e a identificação de oportunidades específicas de melhorias

Em particular, os modelos de maturidade são ferramentas adequadas para: 1) documentar o status quo; 2) desenvolver uma visão corporativa para a excelência do processo e fornecer orientação nesse caminho de desenvolvimento; e 3) comparar capacidades entre unidades de negócios e organizações (Felch *et al.*, 2018). Dessa forma, os modelos de maturidade podem assumir papéis descritivos, prescritivos ou comparativos (Röglinger *et al.*, 2012).

Carvalho *et al.* (2017) destacam que os modelos de maturidade surgiram nos anos 1970, mas à medida que as organizações enfrentam pressões constantes para alcançar e manter vantagem competitiva inventando e reinventando novos produtos e serviços, reduzindo custos e tempo de colocação no mercado, além de melhorar a qualidade ao mesmo tempo, há uma necessidade contínua de desenvolver novos modelos de maturidade, uma vez que ajudam os tomadores de decisão a atingir esses objetivos. Considerando o crescente interesse de pesquisa nesse tema, Werner-Lewandowska e Kosacka-Olejnik (2018) assumem que os modelos de maturidade se tornam uma área de pesquisa relevante.

3.1 Modelos de maturidade em operações logísticas

3.1.1 Modelo *Logistics 4.0 maturity model* – Modelo de maturidade Logística 4.0

Desenvolvido por Oleśków-Szłapka e Stachowiak (2018), o modelo promete ser útil não apenas em termos de diagnóstico, mas também em termos de gerenciamento. Para isso, são contempladas três grandes dimensões:

- Gestão: Nesta dimensão os autores avaliam as atividades de planejamento, implementação e controle de processos, com ênfase em investimentos, gestão de inovações e integração de cadeias de valor;
- Fluxo de materiais: Avalia a aplicação de tecnologias como *Internet* das coisas, impressão 3D, digitalização 3D, materiais avançados, realidade aumentada, produtos inteligentes e o grau de automação e robotização em armazéns e transportes;
- Fluxo de informações: Avalia a utilização de tecnologias orientadas a dados para a integração de processos logísticos, como *big data* (captura e uso de dados), RFID, RTLS (sistemas de localização em tempo real), sistemas de TI (ERP, WMS, sistemas em nuvem).

Neste modelo, as três dimensões analisadas podem ser classificadas em cinco diferentes estágios de maturidade, de acordo com o nível de desenvolvimento de cada uma delas. A seguir, são apresentados os cinco estágios de maturidade.

Tabela 2 – Estágios de maturidade do modelo *Logistics 4.0 Maturity Model*

Estágio	Estágio 1 <i>Ignoring</i>	Estágio 2 <i>Defining</i>	Estágio 3 <i>Adopting</i>	Estágio 4 <i>Managing</i>	Estágio 5 <i>Integrated</i>
Gestão	Não está ciente da necessidade de integração	Vê a necessidade de integração, mas não sabe como gerenciá-la	A integração é iniciada	Integração na maioria dos níveis	Integração total resultando em sinergia
Fluxo de materiais	Não conhece soluções avançadas que melhoram os fluxos de materiais	Conhece soluções avançadas que melhoram os fluxos de materiais, mas não as utiliza	Algumas soluções avançadas que melhoram os fluxos de materiais são implementadas	Muitas soluções avançadas que melhoram os fluxos de materiais são implementadas	Todas as soluções avançadas possíveis que melhoram os fluxos de materiais são implementadas
Fluxo de informações	Não conhece soluções avançadas que melhoram os fluxos de informação	Conhece soluções avançadas que melhoram os fluxos de informação, mas não as utiliza	Algumas soluções avançadas que melhoram os fluxos de informação são implementadas	Muitas soluções avançadas que melhoram os fluxos de informação são implementadas	Todas as soluções avançadas possíveis que melhoram os fluxos de informação são implementadas

Fonte: Oleśków-Szłapka e Stachowiak (2018)

3.1.2 Modelo *Maturity levels for logistics 4.0 based on nrw's industry 4.0 maturity model* – Níveis de maturidade para Logística 4.0 com base no modelo de maturidade da Indústria 4.0 da NRW

O segundo modelo analisado, desenvolvido por Sternad *et al.*, (2018), é baseado no *Kompetenzzentrum Mittelstand NRW Industry 4.0 Maturity Model*. Apesar do modelo original tratar de diversas áreas de desenvolvimento, no artigo analisado, os autores limitam o estudo à logística, distribuição e gestão de compras.

Os autores analisam a maturidade das empresas em relação à troca e armazenagem de dados e de materiais com agentes internos e externos, ao processamento de pedidos e à

integração entre produção e logística. Para isso, o modelo da NRW define cinco níveis de maturidade da Indústria 4.0 que representam a transição da produção amplamente analógica para a produção automatizada em rede.

Ainda seguindo o modelo original, os autores classificam as atividades em quatro grandes áreas. São elas: 1) logística de compras; 2) logística interna; 3) logística de distribuição e 4) logística pós-venda. Dessa forma, cada nível de maturidade apresenta as características a seguir:

No nível de maturidade básico, não existem ferramentas específicas no sistema para gerenciar a troca de informações e materiais entre as diferentes áreas da empresa, como pastas de compartilhamento de arquivos para suportar especificamente a troca de informações e materiais entre diferentes áreas.

No segundo nível de maturidade, o acesso de informações de outras áreas e o controle de troca interna de materiais é viabilizado e facilitado pela utilização de sistemas de gestão.

No terceiro nível de maturidade é possível acessar todas as informações/dados relevantes de outras áreas em tempo real através do sistema de gestão e controlar a troca interna de materiais.

No quarto nível de maturidade, existe uma automação no fornecimento de dados de contexto entre departamentos para projetar a troca interna de materiais, que é possível acessar através de ferramentas como painéis de controle geral.

Por fim, no quinto nível ocorre a troca interna de informações sobre a funcionalidade integrada do sistema existente entre todos os domínios. Os dados não precisam ser revisados, são fornecidos com credibilidade e são usados automaticamente para projetar a troca de materiais.

Em suma, os autores contribuíram com a definição das características de cada nível de maturidade em relação as atividades logísticas, em adição ao modelo original, que aborda diversas áreas de atuação.

3.1.3 Modelo *Logistics 4.0 maturity in service industry* – Maturidade Logística 4.0 no setor de serviços

Neste modelo, desenvolvido por Werner-Lewandowska e Kosacka-Olejnuk (2019), o grau de maturidade de uma organização no contexto da Indústria 4.0 deve ser medido de

acordo com a quantidade de soluções de TI aplicadas pela empresa. O modelo de maturidade apresentado no artigo consiste em seis níveis, incluindo:

- Nível 0: a empresa é imatura no uso de soluções de TI (as ferramentas não estão adequadas ou não são conhecidas na empresa);
- Nível 1: o sistema MRP é utilizado na empresa;
- Nível 2: os sistemas MRP II, EDI e RFID são utilizados na empresa;
- Nível 3: os sistemas ERP e WMS são utilizados na empresa; a empresa usa tecnologia wi-fi; a empresa utiliza *e-procurement* na área de compras;
- Nível 4: a empresa utiliza apenas ferramentas de *Internet* das Coisas, que criam um ecossistema de troca de informações;
- Nível 5: a empresa utiliza tecnologias de nível 3 e nível 4 combinadas, alcançando o mais alto nível de maturidade.

Apesar de abordar diversas tecnologias relevantes para a implementação da Logística 4.0, o modelo considera apenas a quantidade de soluções utilizadas, negligenciando a análise da efetividade da utilização destas, pois não é capaz de garantir que há conhecimento e maturidade real por parte das empresas utilizadoras.

3.1.4 Modelo *Toolbox workforce management 4.0* (WM4.0) – Gestão de mão-de-obra 4.0

O modelo desenvolvido por Galaske *et al.* (2018) é baseado nos modelos *Guideline Industrie 4.0* (Anderl e Fleischer, 2015) e *Generic Procedure Model for Industrie 4.0* (Wang *et al.*, 2018). O modelo fornece um método para avaliar a maturidade das empresas em relação às competências da força de trabalho e condições de trabalho sob o contexto da Indústria 4.0.

Os elementos desse modelo são divididos em quatro dimensões, com três subdimensões cada: 1) habilidades difíceis (*hard skills*), subdividido em conhecimentos de TI, conhecimentos de processos de negócio e conhecimentos de processos de manufatura; 2) habilidades suaves (*soft skills*), subdividido em competências pessoais, competências sociais e competências metodológicas; 3) usabilidade e operabilidade (*usability & operability*), subdividido em sistemas de assistência, interação homem-máquina e suporte

à decisão e 4) ambiente de trabalho (*work environment*), subdividido em privacidade e segurança, flexibilidade organizacional e grau de automação de documentação. Nesse modelo, cada subdimensão é classificada em cinco níveis de maturidade do processo.

3.1.5 Modelo *Industry 4.0 maturity* – Maturidade da Indústria 4.0

Este modelo empírico, proposto por Schumacher *et al.* (2016), a fim de facilitar diferentes análises da maturidade da Indústria 4.0, inclui um total de 62 itens de maturidade que são agrupados em nove dimensões empresariais a saber: liderança, estratégia, cultura, pessoas, tecnologia, clientes e governança, operações e produtos.

O caminho de evolução de cada item passa por cinco níveis de maturidade, onde o nível 1 descreve uma completa falta de atributos que suportam os conceitos da Indústria 4.0 e o nível 5 representa o estado da arte dos atributos necessários. Entretanto, os autores indicam que nem todos os itens parecem ter a mesma importância para o desenvolvimento de uma empresa madura no sentido da Indústria 4.0. Portanto, avaliações de especialistas foram incluídas no procedimento de desenvolvimento para descobrir a contribuição de maturidade de cada item, atribuindo pesos diferentes a cada característica avaliada.

3.1.6 Modelo de maturidade da Indústria 4.0 aplicado na cadeia de suprimentos no setor automotivo

Este modelo, desenvolvido por Vasconcellos *et al.* (2021), permite a comparação de seis diferentes níveis de maturidade de empresas com seus fornecedores diretos, visando garantir a integração de todos os envolvidos na cadeia de suprimentos. Para isso, os autores dividem a análise em seis dimensões:

- Estratégia, estrutura e cultura organizacional: relacionada aos aportes financeiros e investimentos direcionados ao desenvolvimento tecnológico e à qualificação dos colaboradores;
- Força de trabalho: relacionada aos fatores humanos no contexto 4.0. Analisa o cenário da indústria relacionado às competências necessárias e às condições de trabalho para o desenvolvimento da fabricação digital na Indústria 4.0;
- Fábricas inteligentes: relacionada a operações fabris que ganharam agilidade, dinamismo, autonomia na tomada de decisões e flexibilidade;

- Processos inteligentes: relacionada às tecnologias responsáveis pelo processo de transformação dos produtos e aos recursos que serão utilizados na integração dos processos industriais;
- Produtos e serviços inteligentes: relacionada aos diversos recursos que agregam o desenvolvimento dos produtos e serviços;
- Tecnologia: relacionada a questões direcionadas à digitalização das informações.

Esse método apresenta como principal benefício a possibilidade de comparação do grau de homogeneidade e desbalanceamento da cadeia como um todo, e não apenas de uma única empresa focal. Por outro lado, o método se mostra mais complexo em relação à coleta de dados para análise, tendo em vista que depende da análise de uma série de organizações.

3.2 Modelo de maturidade escolhido

Apesar de haver diversos modelos disponíveis, tanto na literatura acadêmica, quanto em modelos empresariais de consultorias, a maioria não se mostra completamente aplicável usando apenas informações publicadas, pois alguns deles nem sequer fornecem uma descrição completa das capacidades esperadas em cada nível de maturidade, como no modelo proposto por Schumacher *et al.* (2016).

Devido à falta de documentação abrangente dos modelos de maturidade disponíveis na literatura, que de acordo com Albliwi *et al.* (2014), parece ser um problema geral dos modelos de maturidade, Asdecker e Felch (2018) propõe um modelo para o processo de distribuição na Indústria 4.0, com a finalidade de complementar as publicações disponíveis que enfocam o processo de fabricação.

O *Delivery Process Maturity Model* (DPMM) 4.0 proposto por Asdecker e Felch (2018) é aplicável em empresas de manufatura que atuam sob os regimes de produção *make-to-stock* ou *make-to-order*, que são, de acordo com os autores, os mais comuns em escala industrial. Já em relação aos níveis de maturidade, os autores baseiam-se em Leyh *et al.* (2016) e determinam a seguinte divisão:

Tabela 3 - Estágios de maturidade do modelo Delivery Process Maturity Model (DPMM) 4.0

Nível de maturidade	Descrição
----------------------------	------------------

Etapa 1 - Digitalização básica	<p>A organização não abordou a Indústria 4.0; O processo de entrega não é digitalizado; A disponibilidade contínua de dados não é assegurada; O sistema de TI empresarial disponível suporta apenas seu campo de aplicação. Consequentemente, várias ilhas de dados podem ser encontradas ao longo do processo.</p>
Etapa 2 - Digitalização entre departamentos	<p>A organização passa a abordar questões da Indústria 4.0 dentro dos departamentos que contribuem para o processo de entrega (logística, armazenamento e atendimento ao cliente); Os dados são totalmente integrados em um único sistema corporativo; Informações podem ser trocadas entre diferentes departamentos. No entanto, a troca de dados não é automatizada; A organização passa a seguir os princípios da Arquitetura Orientada a Serviços (SOA) e permite a conexão direta entre os sistemas de informação.</p>
Etapa 3 - Digitalização horizontal e vertical	<p>Dentro das fronteiras organizacionais, o processo de entrega é digitalizado; Os requisitos da Indústria 4.0 foram implementados dentro da organização; Fluxos de dados são automatizados em que as informações podem ser encaminhadas para as etapas do processo seguinte ou anterior; A troca de dados segue os princípios da nuvem; Os serviços estão disponíveis em toda a empresa e os funcionários podem acessar informações em qualquer lugar por meio de dispositivos móveis; Objetos (por exemplo, produtos, remessas) fornecem ativamente informações armazenadas assim que um leitor entra no alcance dos objetos.</p>
Etapa 4 - Digitalização completa	<p>A digitalização do processo de entrega é alcançada além das fronteiras corporativas; Os princípios da Indústria 4.0 são ativamente seguidos por todos os parceiros de negócios; A organização digitalizada colabora com clientes e provedores de serviços externos para desenvolver soluções de ponta a ponta; As informações de pedidos e entregas disponíveis são compartilhadas automaticamente com clientes e provedores de serviços; A plataforma orientada a serviços e baseada em nuvem está disponível em toda a cadeia de suprimentos; Técnicas apropriadas de criptografia e autenticação estão em vigor para garantir o acesso seguro aos dados.</p>
Etapa 5 - Digitalização otimizada	<p>A digitalização completa do processo de entrega interno e entre empresas, juntamente com uma forte colaboração com clientes e provedores de serviços externos, estabelecem a base para o desenvolvimento de recursos de autoajuste e autootimização que atuam de forma autônoma; Os dados disponíveis permitem a simulação em tempo real do processo de entrega, que pode ser utilizada em diagnósticos colaborativos e tomadas de decisão; Inteligência artificial e habilidades de autoaprendizagem são integradas nos sistemas de informação.</p>

Fonte: Asdecker e Felch (2018)

Já em relação às dimensões, os autores utilizam-se das normas do *Supply Chain Operations Reference* (SCOR), que é um modelo de referência de processos criado pelo *Supply Chain Council* que permite descrever cadeias de suprimentos utilizando uma terminologia comum e relacionamentos para ajudar em comparações e diagnósticos (SCOR, 2017). Ainda no que diz respeito às dimensões, destaca-se positivamente a utilização de diferentes pesos para cada uma delas, assim como no modelo proposto por Schumacher *et al.* (2016).

Este modelo apresenta como grande diferencial frente aos outros modelos disponíveis, o detalhamento de cada nível de maturidade para cada dimensão analisada, pois além de estruturar cada dimensão com base nas atividades descritas no SCOR (2017), os autores determinam os requisitos em cada nível de maturidade, exemplificando a aplicação das principais tecnologias utilizadas nos processos abordados, servindo como forma de padronização das análises e reduzindo a possibilidade de diferentes interpretações em diferentes empresas estudadas.

Para determinar as dimensões, os autores consideram inicialmente três grandes grupos, referentes às atividades primárias da logística: Transportes; Manutenção de Estoques; e Processamento de Pedidos. Esses grupos dividem-se nas seguintes atividades:

Tabela 4 - Dimensões do modelo *Delivery Process Maturity Model* (DPMM) 4.0

ID SCOR	Dimensão	Atividade Primária
sD1.1/sD2.1	Processo de consulta e cotação	Processamento de pedidos
sD1.2/sD2.2	Recebimento, (configuração), entrada e validação de pedidos	Processamento de pedidos
sD1.3/sD2.3	Reserva de estoque e determinação da data de entrega	Processamento de pedidos
sD1.4/sD2.4	Consolidação de pedidos	Processamento de pedidos
sD1.5/sD2.5	Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos	Transporte
sD1.6/sD2.6	Alocação das rotas de entrega	Transporte
sD1.7/sD2.7	Seleção da transportadora e custos de transporte	Transporte
sD1.8/sD2.8	Recebimento de produtos	Manutenção de Estoques
sD1.9/sD2.9	Separação de pedidos	Manutenção de Estoques
sD1.10/sD2.10	Embalagem da produto para envio	Manutenção de Estoques
sD1.11/sD2.11	Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte	Transporte
sD1.12/sD2.12	Transporte	Transporte
sD1.13/sD2.13	Recebimento e conferência do produto por parte do cliente	Transporte
sD1.14/sD2.14	Instalação do produto	Transporte

Ao fim do processo, o método permite determinar o nível de maturidade de cada dimensão avaliada, de cada atividade primária e da empresa analisada como um todo. Entretanto, esse estudo avalia apenas as dimensões caracterizadas na atividade primária de transporte, pois a análise completa tornaria inviável a aplicação do questionário aos respondentes devido a quantidade necessária de perguntas. Assim, as atividades de transporte foram selecionadas porque o transporte normalmente representa o elemento mais importante em termos de custos logísticos, absorvendo cerca de dois terços dos custos logísticos totais (Ballou, 2005). A seguir estão enumeradas e descritas as dimensões avaliadas e as principais características da maturidade total do processo.

3.3 Dimensões avaliadas

3.3.1 Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos

O primeiro processo analisado, referente à consolidação de cargas e agrupamento de pedidos corresponde, de acordo com o SCOR (2017), ao processo de selecionar os modos de transporte e consolidar os pedidos visando o melhor benefício/custo em relação a ocupação e aos custos de transporte.

Nesta etapa foi analisado o nível de digitalização e automatização do processo de escolha do modo de transporte mais eficiente. Foi analisada também a capacidade de integração do processo com diferentes bancos de dados em tempo real. Para isso, foram avaliados os seguintes critérios:

- Seleção automatizada em tempo real de modos de transporte no sistema operacional IoT baseado em nuvem;
- Acesso a dados e parâmetros específicos do pedido (por exemplo: critérios de transporte, destino do produto, tamanho do produto, data de entrega, custos);
- Acesso a informações da transportadora (por exemplo: capacidade da transportadora em tempo real);
- Acesso a solicitações do cliente (por exemplo: modos de transporte preferidos);

- Comparação de dados e tomada de decisão automatizadas referentes aos modos de transporte;
- Análise automatizada em tempo real de pedidos ou pacotes de pedidos (vários clientes) no sistema operacional IoT baseado em nuvem;
- Acesso a dados e parâmetros específicos do pedido (por exemplo: destino do produto, tamanho do produto, data de entrega) para pacotes de pedidos;
- Acesso a informações da transportadora (por exemplo: capacidade livre da transportadora em tempo real) para pacotes de pedidos;
- Acesso a solicitações de clientes (por exemplo: data de entrega preferencial) para pacotes de pedidos;
- Automatização da comparação de dados da tomada de decisão para um agrupamento de pedidos ideal e da resposta ao cliente sobre a variante mais favorável;
- Adaptação automatizada em tempo real de pacotes ou modo de transporte em caso de alterações de curto prazo (por exemplo: adiamento da data de entrega) e notificação, também automatizada, aos responsáveis e ao cliente;
- Introdução automatizada do respectivo reagendamento pelo sistema de TI cognitivo e sincronização com outros sistemas *cyber*-físicos;
- Análise automatizada de pacotes, bem como modo de transporte com base em diferentes critérios (por exemplo, economia de custos, atendimento de serviços, satisfação do cliente, acesso a parâmetros, informações da transportadora, solicitações do cliente);
- Análise automatizada de pacotes, modo de transporte ou transmissão de dados em caso de falha e habilidades de autoaprendizagem a partir de casos resolvidos de falha.

Dentre os critérios relacionados à integração com bancos de dados referentes ao processo, foi avaliada a capacidade de integrar ao processo decisório preferências do consumidor e fatores, internos e externos, que podem vir a ser limitantes. Estão incluídas, principalmente, limitações da transportadora, solicitações do cliente e questões referentes ao tipo de carga transportada.

Para atingir o nível máximo de maturidade nessa etapa, o sistema de informação utilizado no processo decisório deve ser capaz de atuar de maneira totalmente autônoma, com integração às informações de todas as partes envolvidas e possuir capacidades de análise de falhas, autoaprendizagem e realização de alterações em tempo real.

3.3.2 Alocação das rotas de entrega

O SCOR (2017) define a etapa de alocação das rotas de entrega como o processo de consolidar os pedidos e alocá-los por modo de transporte, rotas e destino final. Nesta etapa foi avaliado o nível de digitalização e automatização do processo de planejamento de rotas de entrega em tempo real. Foi analisada também a capacidade de integração do processo com diferentes bancos de dados em tempo real. Foram avaliados os seguintes critérios:

- Planejamento automatizado de rotas em tempo real no sistema operacional IoT baseado em nuvem;
- Acesso a dados e parâmetros específicos do pedido (por exemplo: agrupamento de pedidos, data de entrega, custos);
- Acesso a informações da transportadora (por exemplo: disponibilidade da transportadora em tempo real);
- Acesso a solicitações de clientes (por exemplo: rotas preferenciais);
- Automatização da comparação de dados, da tomada de decisão sobre planejamento de rotas e da resposta ao cliente sobre a rota mais favorável;
- Reprogramação automatizada em tempo real de rotas em caso de alterações de curto prazo (por exemplo: adiamento da data de entrega, alterações nos critérios de transporte, atraso da transportadora);
- Em caso de reprogramação, notificação automatizada em tempo real ao cliente e às partes responsáveis;
- Introdução automatizada do respectivo reagendamento pelo sistema de TI cognitivo e sincronização com outros sistemas *cyber*-físicos;

- Análise automatizada de rotas planejadas com base em diferentes critérios (por exemplo: cumprimento de serviço, satisfação do cliente, acesso a parâmetros, informações da transportadora e solicitações do cliente);

- Análise automatizada de rotas planejadas ou transmissão de dados em caso de falha e habilidades de autoaprendizagem de casos resolvidos de falha;

Foi avaliado, em relação à integração com diversas fontes de informações úteis para o processo, a capacidade do sistema de informações considerar, principalmente, solicitações dos clientes e restrições da transportadora.

Para atingir o nível máximo de maturidade nessa etapa, o principal requisito é a capacidade de planejamento totalmente automatizado e em tempo real das rotas, em consonância com os principais critérios do pedido e com as variáveis impostas pelas demais partes envolvidas. Além disso, deve possuir capacidades de análise de falhas, autoaprendizagem e realização de alterações em tempo real.

3.3.3 Seleção da transportadora e custos de transporte

Esta etapa corresponde ao processo de selecionar empresas transportadoras predefinidas com base no menor custo por rota e de avaliação de remessas (SCOR, 2017). Foram avaliados os seguintes critérios:

- Seleção automatizada de transportadora em tempo real no sistema operacional IoT baseado em nuvem;

- Acesso a diferentes parâmetros (por exemplo, destino do produto, preço, instalações técnicas para monitoramento do produto, confiabilidade da transportadora);

- Acesso a informações da transportadora (por exemplo, capacidade da transportadora em tempo real, *incoterms* específicos da empresa);

- Acesso a solicitações do cliente (por exemplo, modo de envio);

- Comparação automatizada de dados e tomada de decisão sobre a seleção e comissionamento da transportadora;

- Transmissão automatizada em tempo real dos dados necessários do produto, documentos e especificações de transporte específicas da empresa para a transportadora;

- Seleção automatizada em tempo real da transportadora em caso de alterações de curto prazo (por exemplo, atraso da transportadora) e notificação às partes responsáveis e ao cliente;
- Introdução automatizada do respectivo reagendamento pelo sistema de TI cognitivo e sincronização com outros sistemas *cyber*-físicos;
- Análise automatizada da seleção da transportadora com base em diferentes critérios (por exemplo, atendimento ao serviço);
- Análise automatizada de seleção de transportadora ou transmissão de dados em caso de falha e habilidades de autoaprendizagem de casos resolvidos de falha.

Para alcançar o nível máximo de maturidade é necessário que o sistema seja capaz de definir a melhor opção de empresa de transporte de modo completamente automatizado e em tempo real, além de enviar informações a todas as partes envolvidas, também de modo autônomo. Por fim, capacidades de análise de falhas, autoaprendizagem e realização de alterações em tempo real também são exigidas no último nível de maturidade.

Assim como nas etapas analisadas anteriormente, a integração de informações de diferentes bancos de dados no processo de seleção da transportadora é fundamental no processo de digitalização e automatização. Neste processo, a principal atividade é a comparação de dados, preferencialmente em tempo real, evidenciando a importância da integração de informações de diferentes elos da cadeia de suprimentos.

3.3.4 Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte

Nesta etapa, é avaliada uma série de atividades que inclui o carregamento de veículos selecionados e a geração da documentação, incluído a fatura, necessária para atender às necessidades internas, do cliente, da transportadora e do governo. Esta etapa pode incluir também a verificação de crédito do cliente (SCOR,2017). Para a avaliação deste processo, foram levados em consideração os seguintes aspectos:

- Conexão automatizada em tempo real das informações do veículo da transportadora com os dados de localização do produto e fornecimento de, por exemplo, informações do mapa sobre a área de carregamento para o dispositivo móvel do motorista;
- Execução automatizada de verificações de segurança (por exemplo, controle de identidade por meio de reconhecimento facial) por meio do dispositivo móvel do motorista;
- Exibição da estação de descarga final, incluindo horário de funcionamento do departamento de recebimento, rota calculada e requisitos específicos do cliente;
- Planejamento automatizado em tempo real da logística *outbound* no sistema operacional IoT baseado em nuvem;
- Reprogramação automatizada em tempo real da logística *outbound* em caso de desvios (por exemplo, atraso da transportadora) e notificação aos responsáveis;
- Transmissão automatizada de dados de produtos e documentos de acompanhamento via RFID ativo;
- Planejamento automatizado do carregamento do produto no modo de transporte e do equipamento de carregamento necessário (por exemplo, ferramentas de elevação);
- Carregamento automatizado de produtos no modo de transporte por contêineres inteligentes com função de auto descarregamento e documentação;
- Inspeção automatizada da lista de verificação de "normas de segurança legal" para segurança da cadeia de suprimentos e documentação de execução e de defeitos;
- Integração da transportadora no conceito de segurança (por exemplo, confirmação do motorista sobre o conceito de segurança via dispositivo móvel, informações sobre o conceito de segurança atual, notificação sobre alterações);
- Análise automatizada de transmissão de dados, planejamento de logística *outbound*, bem como carregamento de produtos ou processo de documentação em caso de falha e habilidades de autoaprendizagem a partir de casos de falha resolvidos.

Para este processo, no nível máximo de maturidade é esperada a capacidade de integração em tempo real de informações de clientes e de prestadores de serviço e as habilidades de

autoaprendizagem e autoanálise já citadas anteriormente, assim como nas etapas anteriormente. A partir desse ponto do processo de distribuição, diferentemente das descritas nas sessões anteriores, são realizadas atividades operacionais, e não apenas análises e tratamento de dados. Por isso, é esperada também a automatização de processos usualmente executados por uma grande quantidade de operadores em operações tradicionais, como o carregamento de veículos e verificação de produtos.

Mais uma vez a necessidade de integração de dados de todas as partes envolvidas se mostra presente no processo de digitalização e automatização do processo. Entretanto, devido à natureza da operação, além da integração dos dados já consolidados, se evidencia a necessidade de tecnologias cada vez mais robustas, como a IoT e os CPS, para integrar em tempo real atividades como o carregamento de veículos com os bancos de dados já utilizados tradicionalmente.

3.3.5 Transporte

Esta etapa corresponde, de acordo com SCOR (2017) ao processo de envio do produto ao local escolhido pelo cliente. Para a avaliação da maturidade desta etapa, foram considerados os seguintes aspectos:

- Rastreamento automatizado em tempo real do produto e de critérios de transporte específicos do produto durante o transporte por meio de sensores;
- Identificação automatizada de desvios de indicadores logísticos e envio de mensagens de alerta para o dispositivo móvel dos motoristas se as condições do produto se tornarem críticas;
- Derivação automatizada de medidas corretivas e notificação às partes responsáveis;
- Em caso de falhas, decisão automatizada sobre substituição do produto inicial, fornecimento de peças de reposição ou se um técnico de serviço pode resolver o problema no local e início das medidas necessárias;
- Alterações automatizadas em tempo real na rota inicial se mudanças rápidas de condições exigirem tais medidas sem aumentar os custos de envio;
- Envio automatizado de mensagens para a empresa contratante com possíveis alternativas de escolha caso os custos de envio mudem;

- Rastreamento em tempo real do status do produto pelo cliente, transportadora e empresa contratante por meio do sistema operacional IoT baseado em nuvem;
- Avaliação em tempo real do desempenho da transportadora e dos dados da estrutura de transporte e influência nos parâmetros da transportadora (por exemplo, fidelidade);
- Habilidades de autoaprendizagem baseadas na avaliação em tempo real de indicadores logísticos;
- Reprogramação automatizada em tempo real em caso de alterações de curto prazo (por exemplo, atraso);
- Análise automatizada de rotas em tempo real e otimização de rotas de envio;
- Análise automatizada de informações de rastreamento, transmissão de dados ou decisões automatizadas em caso de falha e habilidades de autoaprendizagem de casos resolvidos de falha.

Na etapa de transporte, para alcançar o nível máximo de maturidade é necessário o rastreamento em tempo real do veículo e o acompanhamento de condições da carga transportada com o auxílio de sensores. São necessárias também as capacidades de integração de dados e autoaprendizagem e autoanálise já citadas nas etapas anteriores. Com a combinação dos sensores e da análise automatizada de dados em tempo real, no nível máximo de digitalização é possível também reprogramar rotas em casos imprevistos ou, em casos de falhas, enviar automaticamente notificações e disparar, automaticamente, medidas iniciais de correção.

3.3.6 Recebimento e conferência do produto por parte do cliente

Nesta etapa a participação do cliente é mais evidente, pois de acordo com SCOR (2017), nesta fase ocorre o processo de recebimento da remessa pelo cliente (no endereço do cliente ou na área de remessa em caso de auto-coleta) e verificação de que o pedido foi enviado completo e que o produto atende aos prazos de entrega. Os seguintes aspectos foram avaliados:

- Envio automatizado de mensagens em tempo real para o cliente sobre o tempo de entrega (incluindo atrasos) e o destino;

- Transmissão automatizada em tempo real de dados reais do produto, documentos de acompanhamento, bem como dicas para descarga (por exemplo, equipamento de descarga necessário);
- Notificação automatizada em tempo real para o funcionário do departamento de recebimento na chegada (por exemplo, status do produto, entrega completa);
- Verificação automatizada quanto à entrega completa e cumprimento dos prazos de entrega por meio de RFID ativo e documentação de entrega;
- Automatização da documentação, da preparação de devolução de produtos em caso de danos e da transmissão de documentos necessários ao cliente;
- Análise automatizada de causa de reclamação, incluindo avaliação de dados do chip RFID (por exemplo, hora e local da produção, hora e local da embalagem do produto) e dados do sensor;
- Mensagem automatizada para a transportadora sobre sugestões de melhorias futuras com base na análise de causa;
- Habilidades de autoaprendizagem baseadas na avaliação em tempo real de indicadores logísticos;
- Dedução automatizada do potencial de melhoria e das medidas necessárias para reduzir os danos em trânsito e otimizar as embalagens;
- Implementação automatizada em tempo real de medidas corretivas;
- Intercâmbio automatizado do sistema de TI integrado com sistemas de TI de outras fábricas para uma identificação das melhores práticas viáveis;
- Busca automatizada de novos potenciais e tendências em soluções/melhorias em embalagens; sincronização via sistemas *cyber*-físicos das fábricas;
- Revisão automatizada do grau de melhoria e implementação de medidas (comparação real-alvo) pelo sistema de TI integrado;
- Análise automatizada de transmissão de dados ou decisões automatizadas em caso de falha e habilidades de autoaprendizagem de casos resolvidos de falha.

Na etapa de recebimento do produto, além das habilidades comuns a todas as etapas já citadas anteriormente, para atingir o nível máximo de maturidade, é necessário o acompanhamento do recebimento através de sistemas de identificação por radiofrequência que, assim como nos casos citados anteriormente, são integrados a diversos bancos de dados e atualizam as informações do processo e o status do pedido automaticamente e em tempo real.

3.3.7 Instalação do produto

A última etapa do processo de entrega compreende, segundo o SCOR (2017), quando necessário, o processo de preparação, teste e instalação do produto nas instalações do cliente. O produto deve estar totalmente funcional após a conclusão dessa atividade. Os seguintes critérios foram avaliados na análise dessa etapa:

- Agendamento automatizado em tempo real da data de instalação do produto no sistema operacional IoT baseado em nuvem;
- Acesso a parâmetros específicos da empresa (por exemplo, disponibilidade de técnico de serviço, prazo de entrega de peças de reposição);
- Acesso à experiência do técnico de serviço (por exemplo, tempo médio de instalação do produto);
- Acesso a dados ou solicitações específicas do cliente (por exemplo, horário de funcionamento do departamento de recebimento, data de instalação preferida);
- Transmissão automatizada da data de instalação do produto para o cliente via interface padronizada;
- Reprogramação automatizada em tempo real da data de instalação do produto em caso de alterações de curto prazo ou em caso de rejeição pelo cliente;
- Compilação automatizada e transmissão de documentos necessários, equipamentos para técnico de serviço, bem como peças de reposição (se necessário);
- Documentação automatizada da instalação do produto no sistema operacional IoT baseado em nuvem;
- Preparação automatizada de plano de ação em caso de produto não totalmente funcional;

- Se necessário, pedido automatizado de peças de reposição, reagendamento, também automatizado, da data de instalação do produto e notificação aos responsáveis;
- Introdução automatizada do respectivo reagendamento pelo sistema de TI cognitivo e sincronização com outros sistemas *cyber*-físicos;
- Análise automatizada do agendamento da data de instalação do produto, transmissão de dados ou documentação da instalação do produto em caso de falha e habilidades de autoaprendizagem de casos resolvidos de falha;

Na última etapa do processo de distribuição, é esperado que no nível máximo de maturidade, além da integração entre os bancos de dados e as capacidades de autoanálise e autoaprendizado, todas as questões documentais sejam digitalizadas e automatizadas, preferencialmente com a utilização de sistemas de *Internet* das Coisas. Com a integração da *Internet* das Coisas com os sistemas *cyber*-físicos esperados no processo, espera-se também que, em casos de falhas, o próprio sistema seja capaz de gerar planos de ação e, se necessário, até mesmo disparar ordens de solicitação de peças de reposição ou ordens de reagendamento da instalação, além da notificação automatizada e em tempo real a todas as partes envolvidas no processo.

4 RESULTADOS

Neste Capítulo, serão apresentados os resultados obtidos com o retorno dos questionários devidamente respondidos. Dessa forma, será possível iniciar as análises relacionadas ao nível de maturidade dos membros de uma cadeia de suprimentos. Os resultados serão apresentados na forma gráfica, por meio de gráficos de radar, e os resultados serão, inicialmente, analisados por empresa e, posteriormente serão analisados de maneira generalizada.

A avaliação das empresas foi realizada, com base nos itens de maturidade, por meio de um questionário constituído de perguntas fechadas, requerendo para cada uma delas uma resposta baseada em uma escala do tipo Likert, devidamente adaptada, indo de 1, “não implementado”, até 4, “totalmente implementado”. A figura 1, a seguir, demonstra a estruturação do questionário.

Seleção automatizada em tempo real de modos de transporte no sistema operacional IoT baseado em nuvem



Figura 1 – Exemplo de pergunta do questionário sobre o nível de maturidade na Logística 4.0
Fonte: Elaboração própria

Com base no modelo desenvolvido por Asdecker e Felch (2018), baseado em Leyh *et al.* (2016), foram analisados os níveis de maturidade das operações logísticas de empresas embarcadoras em relação à Indústria 4.0. As empresas foram avaliadas de acordo com essa estrutura, nas quais foram classificadas em cinco níveis a saber: digitalização básica, digitalização entre departamentos, digitalização horizontal e vertical, digitalização completa e digitalização completa otimizada.

No nível 1 (digitalização básica), a organização ainda não está diretamente direcionada à Indústria 4.0, os processos logísticos não são automatizados, a disponibilidade contínua de dados não é assegurada e os sistemas de TI suportam, na maioria das vezes, apenas seu próprio campo de aplicação.

No nível 2, a organização começa a direcionar seus processos à Indústria 4.0. Nesse nível, os dados são integrados em um único sistema corporativo e intercambiáveis entre diferentes departamentos, mas os processos, em sua maioria, ainda não são automatizados.

Ao atingir o terceiro nível, a organização já está direcionando seus esforços à Indústria 4.0 e garante a digitalização dos processos dentro das fronteiras organizacionais. Nesse estágio, espera-se que os serviços de dados estejam disponíveis em toda a empresa, armazenados em nuvem, e que os funcionários possam acessar informações em qualquer lugar por meio de dispositivos móveis.

O quarto nível de maturidade pressupõe que a digitalização dos processos é alcançada além das fronteiras corporativas e os princípios da Indústria 4.0 são ativamente seguidos por todos os parceiros de negócios. Nesse nível, as informações de pedidos e entregas disponíveis são compartilhadas automaticamente com clientes e provedores de serviços. A plataforma orientada a serviços e baseada em nuvem está disponível em toda a cadeia de suprimentos; técnicas apropriadas de criptografia e autenticação estão em vigor para garantir o acesso seguro aos dados.

No último nível, a digitalização completa do processo, juntamente com uma forte colaboração com clientes e provedores de serviços externos, estabelece as bases para o desenvolvimento de recursos de auto ajustes e auto otimização que atuam de forma autônoma.

4.1 Empresa Alimentos

A empresa Alimentos, de origem espanhola, possui uma fábrica no Brasil, localizada no estado de São Paulo. Com aproximadamente 1200 funcionários, a companhia atua no Brasil desde 2001.

A figura 2 mostra os resultados obtidos na análise da empresa Alimentos. O gráfico evidencia que, na visão dos respondentes, a atividade 1 (Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos) é a que representa maior nível de desenvolvimento no contexto da Indústria 4.0, atingindo a pontuação de 35,71, que representa o nível 2 de digitalização, apesar de estar bem próxima do terceiro nível. As atividades 3 (Seleção da transportadora e custos de transporte) e 2 (Alocação das rotas de entrega) também se destacam com pontuações de 33,33 e 26,67, respectivamente. Por outro lado, a dimensão 6

(Recebimento e conferência do produto por parte do cliente) destaca-se negativamente, ao atingir a pontuação de 4,76, assim como a dimensão 4 (Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte), com 6,06 pontos. Essas atividades mostram-se muito pouco evoluídas sob o contexto da Indústria 4.0, sendo alocadas assim no nível 1 de maturidade, bem como a dimensão 5 (Transporte), que com 13,89 pontos, ainda que mais desenvolvida que as dimensões 4 e 6, também se encontra no primeiro estágio de digitalização.

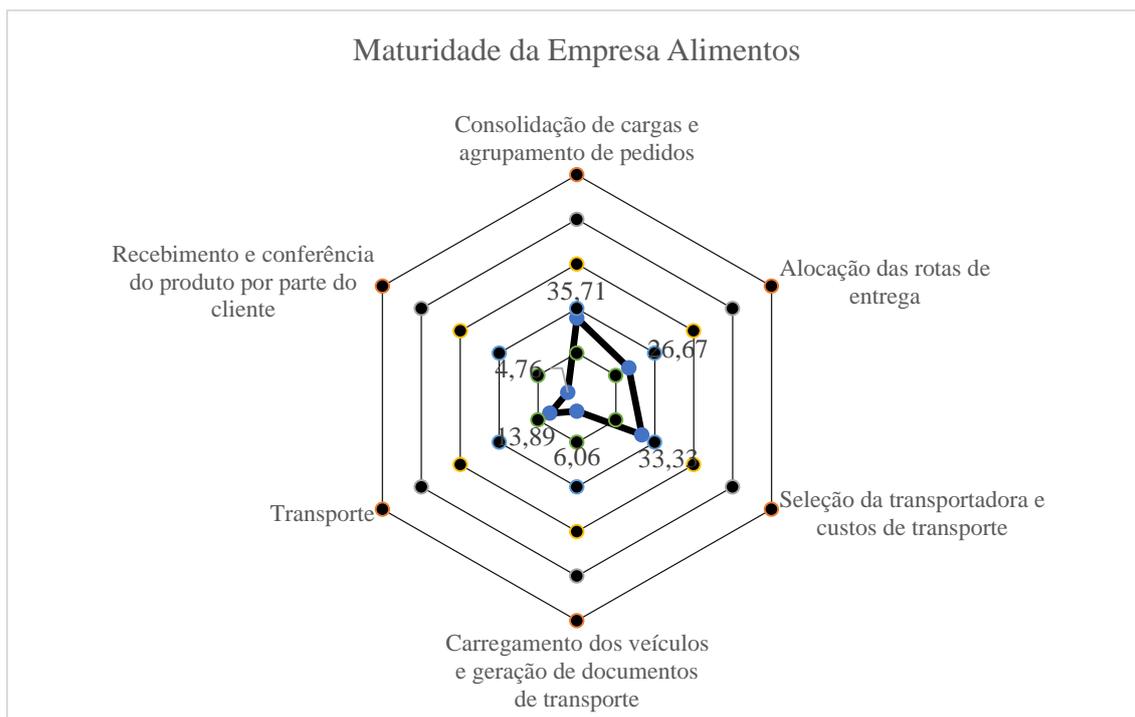


Figura 2 – Análise de Maturidade da Empresa Alimentos
Fonte: Elaboração própria

Tabela 5 – Descrição da análise de maturidade da empresa Alimentos

Dimensão	1	2	3	4	5	6
Nota máxima	100	100	100	100	100	100
Nota mínima	0	0	0	0	0	0
Avaliações	35,7	26,7	33,3	6,1	13,9	4,8
Nível de maturidade	2	2	2	1	1	1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 6 – Dimensões analisadas na empresa Alimentos

Dimensão 1	Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos
Dimensão 2	Alocação das rotas de entrega
Dimensão 3	Seleção da transportadora e custos de transporte
Dimensão 4	Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte
Dimensão 5	Transporte
Dimensão 6	Recebimento e conferência do produto por parte do cliente

Fonte: Elaboração própria

4.2 Empresa Alimentos 2

A empresa Alimentos 2 é uma fabricante brasileira de bens alimentícios fundada em 1936. Com sede no Ceará, possui 14 unidades industriais e 25 centros de distribuição espalhados nas cinco regiões do país e conta com aproximadamente 14.000 colaboradores.

A figura 3 demonstra os resultados com o questionário aplicado aos respondentes da empresa Alimentos 2. O gráfico mostra que a dimensão 5 (Transporte) é a que apresenta maior representatividade em relação à digitalização e automatização dos processos, ao atingir uma pontuação de 47,22, que coloca a dimensão no nível 3 de maturidade, digitalização horizontal e vertical. Esse resultado indica que, para esse processo, a empresa já direciona diretamente esforços à utilização de tecnologias da Indústria 4.0, integrando a atividade com outras dentro das fronteiras organizacionais e, de acordo com os respondentes do questionário, nesse processo são utilizados diversos mecanismos de avaliação e controle em tempo real para garantir o nível de serviço da atividade realizada, como rastreamento da frota, avaliação e otimização de rotas de entrega.

Ainda em relação à figura 3, observa-se que as dimensões 2 (Alocação das rotas de entrega) e 4 (Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte) se mostram mais desenvolvidas que as dimensões restantes, ao atingir 30,0 e 33,33 pontos, respectivamente. Para essas dimensões, apesar de não serem tão desenvolvidas quanto a dimensão 5, analisada anteriormente, percebe-se que já estão no segundo nível de maturidade, onde já existe um direcionamento, ainda que pequeno à digitalização e automatização de processos.

Em contrapartida, para a dimensão 3 (Seleção da transportadora e custos de transporte), a pontuação obtida foi de apenas 16,67 pontos, sendo assim classificada no primeiro nível de maturidade, assim como as dimensões 1, com média 11,9, e 6, com média 2,38, que representam um direcionamento praticamente inexistente por parte da empresa para a digitalização desses processos.

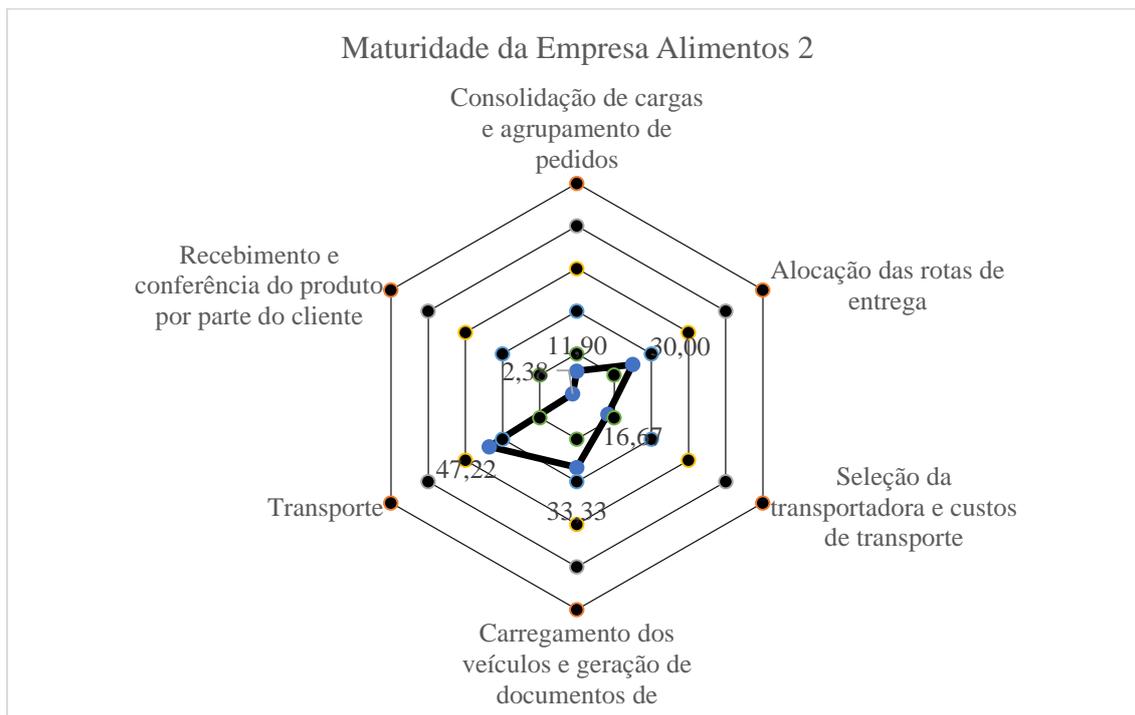


Figura 3 - Análise de Maturidade da Empresa Alimentos 2

Fonte: Elaboração própria

Tabela 7 - Descrição da análise de maturidade da empresa Alimentos 2

Dimensão	1	2	3	4	5	6
Nota máxima	100	100	100	100	100	100
Nota mínima	0	0	0	0	0	0
Avaliações	11,9	30,0	16,7	33,3	47,2	2,4
Nível de maturidade	1	2	1	2	3	1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 8 - Dimensões analisadas na empresa Alimentos 2

Dimensão 1	Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos
Dimensão 2	Alocação das rotas de entrega
Dimensão 3	Seleção da transportadora e custos de transporte
Dimensão 4	Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte
Dimensão 5	Transporte
Dimensão 6	Recebimento e conferência do produto por parte do cliente

Fonte: Elaboração própria

4.3 Empresa Metalurgia

Fundada em 2013, a empresa Metalurgia é uma empresa de pequeno porte localizada no estado do Rio de Janeiro. Atualmente possui apenas uma unidade produtiva e conta com aproximadamente 200 funcionários.

A empresa analisada, de porte menor que as demais envolvidas na pesquisa, apesar de demonstrar, por meio dos respondentes, possuir conhecimento das tecnologias da Indústria 4.0 e de reconhecer que estas podem garantir benefícios operacionais e financeiros à companhia, possui menor capacidade de investimentos, que acaba por afetar diretamente os resultados do processo de digitalização.

Apesar das limitações da companhia, as dimensões 1 (Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos), 2 (Alocação das rotas de entrega) e 3 (Seleção da transportadora e custos de transporte) possuem, de acordo com o método utilizado na pesquisa, médias de 26,19, 26,67 e 40,0 respectivamente, que fazem com que tais dimensões sejam classificadas no segundo nível de maturidade. Destaca-se a dimensão 3 que, com média 40,0, apresenta um nível de maturidade já bem próximo do terceiro estágio. Essas dimensões mostram que apesar da necessidade de grandes investimentos financeiros, atualmente inviáveis para a companhia, esta tem direcionado os recursos disponíveis ao desenvolvimento de seus processos logísticos visando a digitalização.

Já para as dimensões 4 (Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte), 5 (Transporte) e 6 (Recebimento e conferência do produto por parte do cliente), os investimentos se mostram praticamente inexistentes. Para essas dimensões, as médias obtidas foram 3,03, 0,0 e 7,1. Para essas atividades, apesar do interesse da empresa pelo tema, o custo elevado de implantação das tecnologias faz com que a empresa continue optando pelos métodos tradicionais de trabalho, sendo as tarefas realizadas de forma majoritariamente manual.

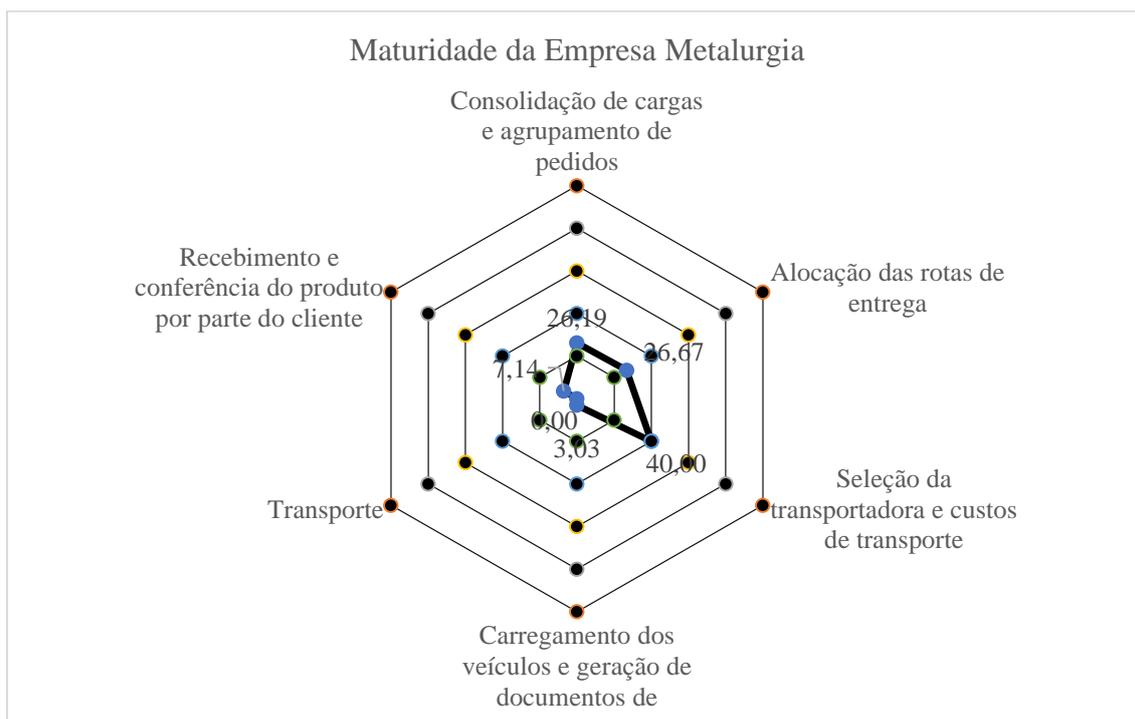


Figura 4 - Análise de Maturidade da Empresa Metalurgia
Fonte: Elaboração própria

Tabela 9 - Descrição da análise de maturidade da empresa Metalurgia

Dimensão	1	2	3	4	5	6
Nota máxima	100	100	100	100	100	100
Nota mínima	0	0	0	0	0	0
Avaliações	26,2	26,7	40,0	3,0	0,0	7,1
Nível de maturidade	2	2	2	1	1	1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 10 - Dimensões analisadas na empresa Metalurgia

Dimensão 1	Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos
Dimensão 2	Alocação das rotas de entrega
Dimensão 3	Seleção da transportadora e custos de transporte
Dimensão 4	Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte
Dimensão 5	Transporte
Dimensão 6	Recebimento e conferência do produto por parte do cliente

Fonte: Elaboração própria

4.4 Empresa Cerâmica

A empresa Cerâmica, que produz louças e metais sanitários, atualmente possui cerca de 3.000 funcionários e 7 unidades produtivas nas regiões Sudeste e Nordeste. A empresa foi fundada há 75 anos e desde a década de 1970 faz parte de um grupo que controla outras marcas e atua na América Latina, Estados Unidos e Europa.

Dentre as dimensões avaliadas, destaca-se a primeira, que de acordo com as respostas fornecidas no questionário atingiu média 33,33, representando o segundo estágio de maturidade de digitalização. Todas as outras dimensões avaliadas foram classificadas no primeiro estágio, pois atingiram média menor ou igual a 20.

Em relação às dimensões restantes, a terceira apresenta potencial para desenvolvimento em curto e médio prazo, pois ao atingir média 20 encontra-se num estágio de transição entre o primeiro e o segundo nível de desenvolvimento. Por outro lado, as dimensões 4 e 6, com médias muito próximas de zero (6,06 e 2,38 respectivamente), mostram-se muito pouco desenvolvidas, sem a utilização de métodos de automatização e digitalização de processos. Por fim, as dimensões 2 e 5, com médias 16,67 e 11,11, apesar de mais desenvolvidas que as dimensões 4 e 6, discutidas anteriormente, também estão em estágios primários de desenvolvimento, representados pelo primeiro nível de maturidade, de acordo com o método de pesquisa utilizado.

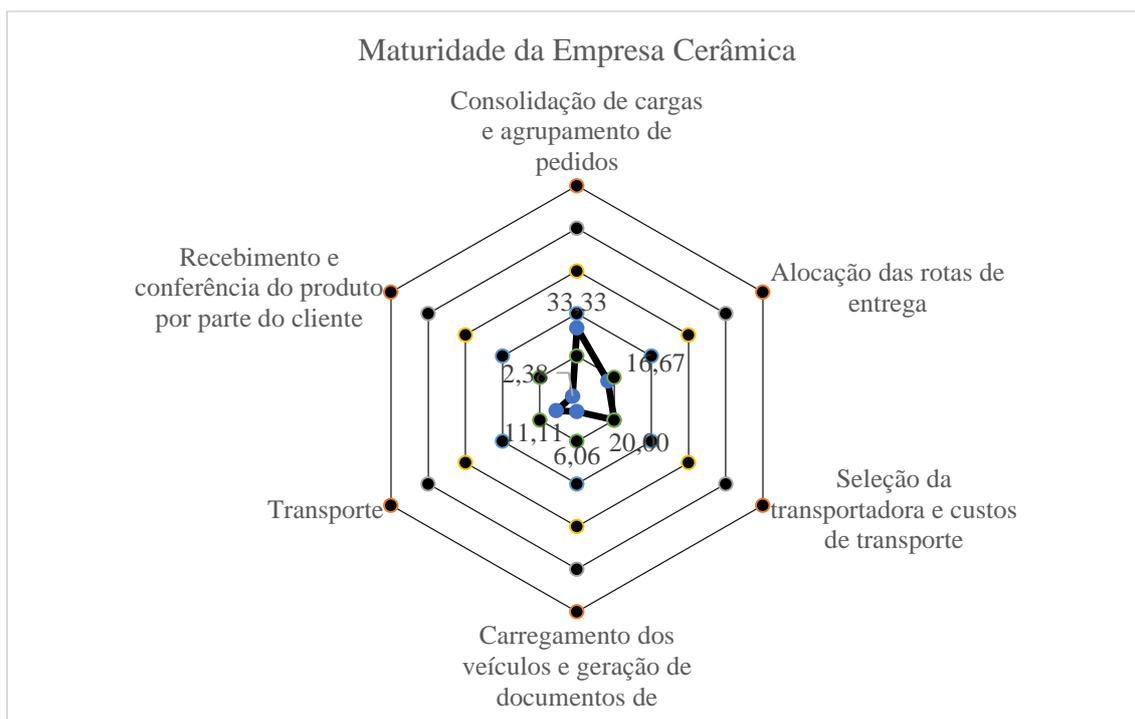


Figura 5 - Análise de Maturidade da Empresa Cerâmica
Fonte: Elaboração própria

Tabela 11 - Descrição da análise de maturidade da empresa Cerâmica

Dimensão	1	2	3	4	5	6
Nota máxima	100	100	100	100	100	100
Nota mínima	0	0	0	0	0	0
Avaliações	33,3	16,7	20,0	6,1	11,1	2,4
Nível de maturidade	2	1	1	1	1	1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 12 - Dimensões analisadas na empresa Cerâmica

Dimensão 1	Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos
Dimensão 2	Alocação das rotas de entrega
Dimensão 3	Seleção da transportadora e custos de transporte
Dimensão 4	Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte
Dimensão 5	Transporte
Dimensão 6	Recebimento e conferência do produto por parte do cliente

Fonte: Elaboração própria

4.5 Empresa Tabaco

A empresa Tabaco é uma organização americana produtora de tabaco e seus derivados que, atualmente, atua em mais de 180 países. Presente no Brasil há mais de 45 anos, a empresa possui 2.500 funcionários em suas unidades nacionais.

Para esta empresa, destacam-se as dimensões 1 e 3, com médias 33,33 e 40,00, classificadas no segundo nível de maturidade. Assim como na empresa Metalurgia, a dimensão 3, com média 40,0, está bem próxima do terceiro estágio de maturidade. Apesar disso, as demais dimensões analisadas apresentam médias muito baixas, representando pouco ou, no caso das dimensões 2 e 6, nenhum investimento na digitalização de tais dimensões.

As dimensões 4 e 5 mostram-se muito pouco maduras, com médias 3,03 e 8,33, que as colocam no primeiro nível de maturidade, onde não há direcionamento à Indústria 4.0. Já as dimensões 2 e 6, com média 0, não mostram qualquer tipo de investimento e desenvolvimento de digitalização desses processos, assim como a dimensão 5 da empresa Metalurgia, analisada anteriormente.

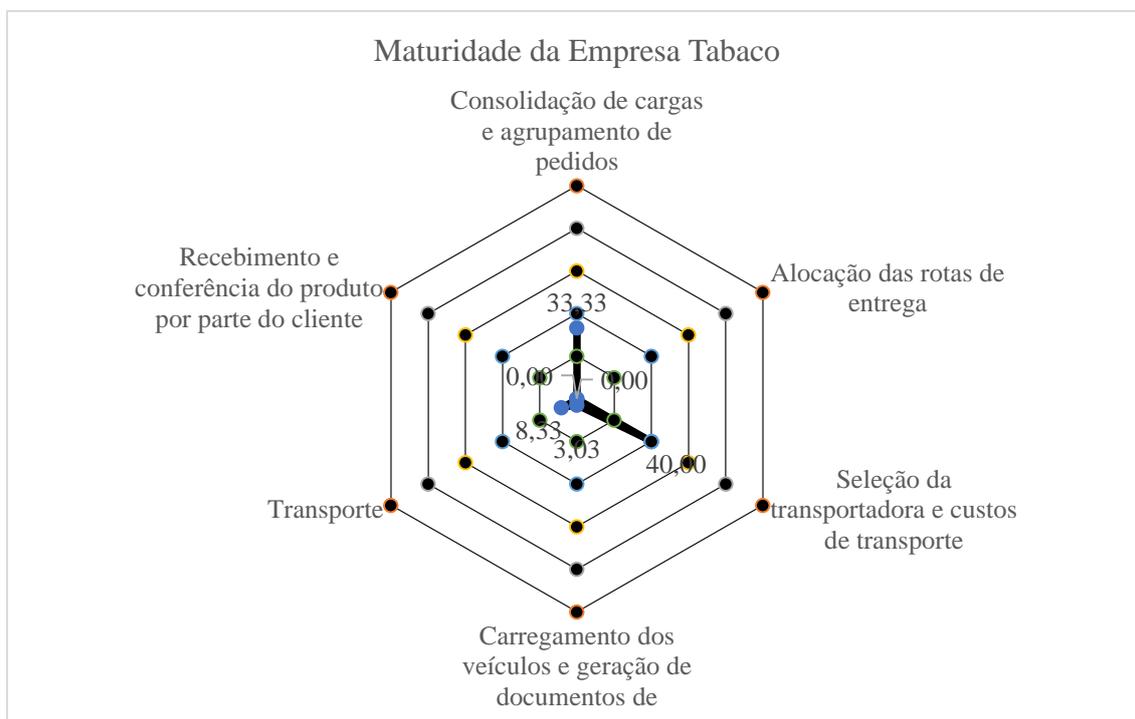


Figura 6 - Análise de Maturidade da Empresa Tabaco
Fonte: Elaboração própria

Tabela 13 - Descrição da análise de maturidade da empresa Tabaco

Dimensão	1	2	3	4	5	6
Nota máxima	100	100	100	100	100	100
Nota mínima	0	0	0	0	0	0
Avaliações	33,3	0,0	40,0	3,0	8,3	0,0
Nível de maturidade	2	1	2	1	1	1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 14 - Dimensões analisadas na empresa Tabaco

Dimensão 1	Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos
Dimensão 2	Alocação das rotas de entrega
Dimensão 3	Seleção da transportadora e custos de transporte
Dimensão 4	Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte
Dimensão 5	Transporte
Dimensão 6	Recebimento e conferência do produto por parte do cliente

Fonte: Elaboração própria

4.6 Empresa Têxtil

A empresa Têxtil é brasileira e foi fundada há 60 anos. A empresa fabrica, em duas fábricas localizadas no estado do Rio de Janeiro, produtos como panos e esponjas para limpeza doméstica. Atualmente a empresa atende 8 países da América Latina e está em processo de expansão, por meio da aquisição de novas marcas e produtos.

A empresa conta com 3 dimensões classificadas no segundo estágio de maturidade, sendo elas a dimensão 1, com média 28,57, a dimensão 4 com média 21,21 e a dimensão 6 com média 23,81. Já as dimensões 2 e 4, ambas com média 16,67, estão classificadas no primeiro estágio de maturidade, porém com médias bem próximas do limite entre o primeiro e o segundo estágio, necessitando ainda de investimentos nessas etapas. Já a dimensão 3, atingiu média 0, significando que não existe nenhum tipo de esforço ou investimento para digitalizar e automatizar o processo de seleção de transportadoras e de cálculo de custos de transporte, seja por falta de conhecimento ou de interesse por parte da empresa Têxtil.

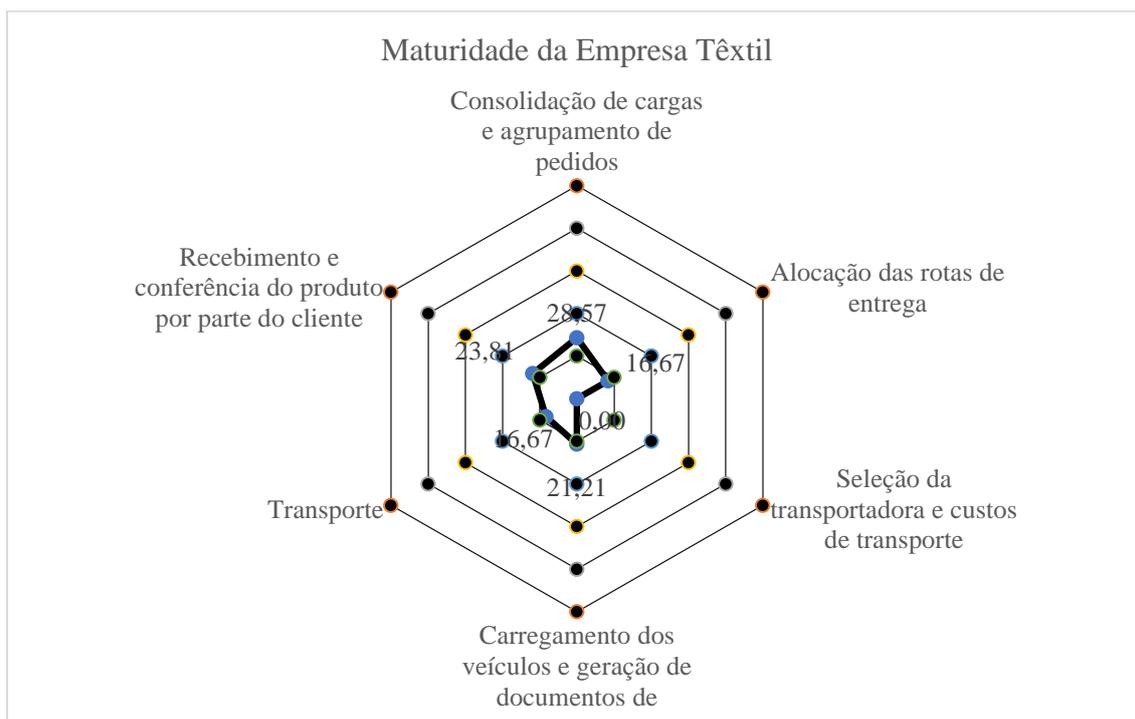


Figura 7 - Análise de Maturidade da Empresa Têxtil
Fonte: Elaboração própria

Tabela 15 - Descrição da análise de maturidade da empresa Têxtil

Dimensão	1	2	3	4	5	6
Nota máxima	100	100	100	100	100	100
Nota mínima	0	0	0	0	0	0
Avaliações	28,6	16,7	0,0	21,2	16,7	23,8
Nível de maturidade	2	1	1	2	1	2

Fonte: Elaboração própria

Tabela 16 - Dimensões analisadas na empresa Têxtil

Dimensão 1 Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos

Dimensão 2 Alocação das rotas de entrega

Dimensão 3 Seleção da transportadora e custos de transporte

Dimensão 4 Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte

Dimensão 5 Transporte

Dimensão 6 Recebimento e conferência do produto por parte do cliente

Fonte: Elaboração própria

4.7 Empresa Medicamentos

A sétima empresa avaliada é de origem britânica, presente no Brasil desde 1908 e possui uma fábrica e um centro de distribuição no estado do Rio de Janeiro. A empresa atua em mais de 130 países e, no Brasil, possui aproximadamente 2.000 funcionários.

É possível observar através da figura 8 que a empresa, que produz bens farmacêuticos, notoriamente de maior valor agregado que os produtos das empresas avaliadas anteriormente, está em um estágio de desenvolvimento tecnológico mais avançado que as outras.

Nesta empresa, destaca-se a dimensão 5, que, com média 41,67, é classificada no terceiro nível de maturidade, no qual pressupõe-se que já ocorre um direcionamento por parte da empresa à Indústria 4.0 e à digitalização das atividades, e que os dados referentes aos processos sejam integrados dentro de toda a fronteira organizacional. Destacam-se também as dimensões 1 e 2, com médias 35,71 e 33,33, respectivamente, representando o nível 2 de digitalização, porém já bem próximas do terceiro estágio, que se inicia a partir dos 40 pontos. Por fim, destacam-se negativamente as dimensões 3 e 6, que ainda estão no primeiro nível de maturidade de processos. No caso da dimensão 3, a média obtida foi de 20,00, que representa um estágio de transição do primeiro para o segundo nível. Porém a dimensão 6 apresenta média apenas 11,90, mostrando bem abaixo das demais em questão de desenvolvimento tecnológico.

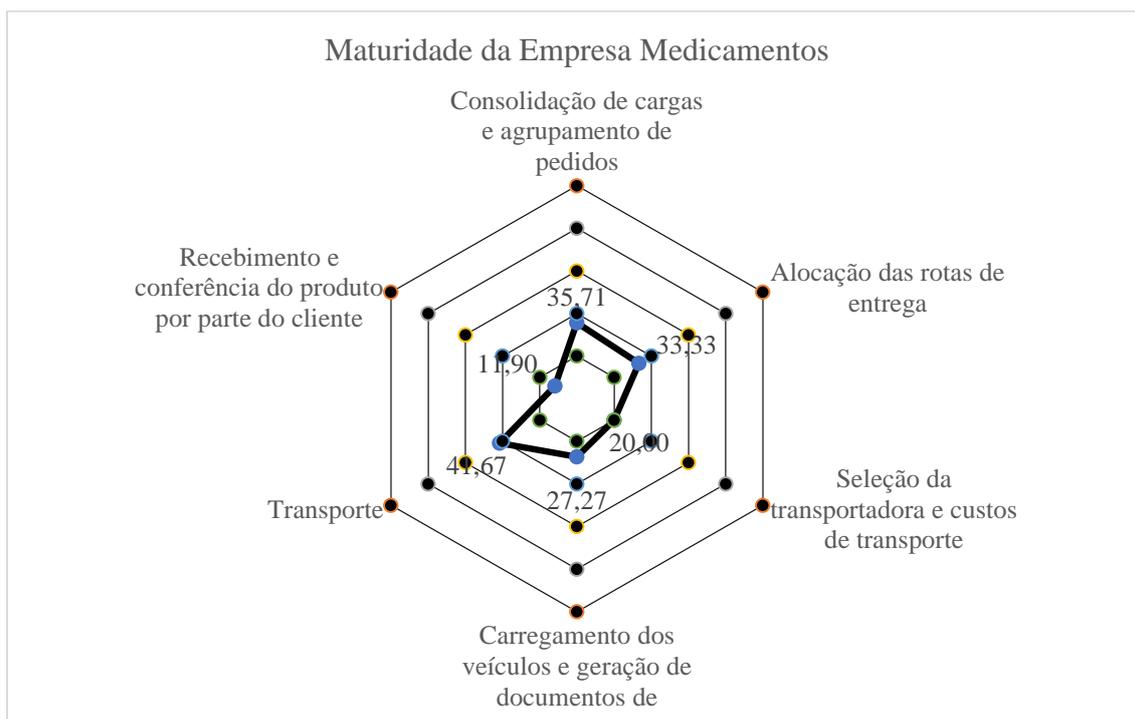


Figura 8 - Análise de Maturidade da Empresa Medicamentos
Fonte: Elaboração própria

Tabela 17 - Descrição da análise de maturidade da empresa Medicamentos

Dimensão	1	2	3	4	5	6
Nota máxima	100	100	100	100	100	100
Nota mínima	0	0	0	0	0	0
Avaliações	35,7	33,3	20,0	27,3	41,7	11,9
Nível de maturidade	2	2	1	2	3	1

Fonte: Elaboração própria

Tabela 18 - Dimensões analisadas na empresa Medicamentos

Dimensão 1	Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos
Dimensão 2	Alocação das rotas de entrega
Dimensão 3	Seleção da transportadora e custos de transporte
Dimensão 4	Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte
Dimensão 5	Transporte
Dimensão 6	Recebimento e conferência do produto por parte do cliente

Fonte: Elaboração própria

4.8 Empresa Energia

A empresa Energia, que atua no setor de combustíveis, foi fundada no Brasil em 1971. A empresa atua nos 26 estados e no Distrito Federal com um quadro de aproximadamente 3500 funcionários.

Dentre todas as empresas estudadas, a empresa Energia é a responsável pelos produtos de maior valor agregado, refletindo diretamente no resultado da maturidade dos processos envolvidos, como observado na figura 9. Inicialmente, é possível perceber um padrão gráfico diferente das demais empresas, pois essa companhia é a única dentre as envolvidas na pesquisa que desempenha a atividade descrita na dimensão 7. Essa dimensão atingiu, de acordo com o questionário utilizado, média 77,78, que a classifica no quarto estágio de maturidade.

Além das dimensão 7, outras três dimensões avaliadas também atingiram o quarto estágio de maturidade. A dimensão 1 com média 69,05, a dimensão 2 com 69,33 e a dimensão 6 com 66,67. Nesse nível de maturidade, a digitalização e integração dos processos rompe as fronteiras corporativas, integrando todos os parceiros de negócios. Além disso, é pressuposto que haja certo nível de automatização de compartilhamento de dados entre todas as partes envolvidas e um sistema robusto de segurança dos sistemas de informação.

Apesar dos altos níveis de maturidade apresentados pelos processos da empresa, destaca-se a dimensão 5, que, com média 83,33, foi a única dentre todas as empresas estudadas a atingir o último estágio de maturidade. Neste último nível, ocorre a digitalização completa do processo, integrada com as atividades de clientes e provedores de serviços externos, que juntas atuam buscando otimizações nos processos de modo autônomo.

Por fim, as dimensões 3 e 4, que apresentaram médias 43,33 e 51,52 respectivamente, são classificadas no terceiro nível de maturidade, sendo as menos desenvolvidas dentro da organização. Apesar disso, a empresa apresenta médias maiores nessas dimensões que as outras empresas avaliadas anteriormente, sendo a única que atingiu o terceiro estágio nessas atividades.

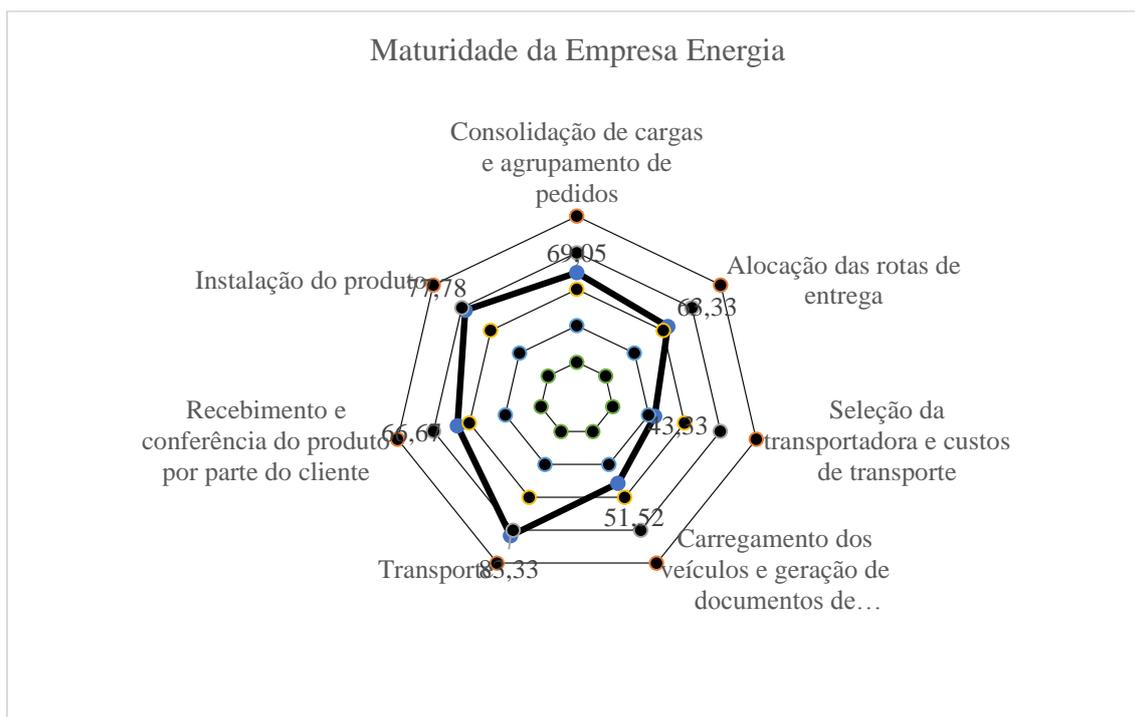


Figura 9 - Análise de Maturidade da Empresa Energia
Fonte: Elaboração própria

Tabela 19 - Descrição da análise de maturidade da empresa Energia

Dimensão	1	2	3	4	5	6	7
Nota máxima	100	100	100	100	100	100	100
Nota mínima	0	0	0	0	0	0	0
Avaliações	69,0	63,3	43,3	51,5	83,3	66,7	77,8
Nível de maturidade	4	4	3	3	5	4	4

Fonte: Elaboração própria

Tabela 20 - Dimensões analisadas na empresa Energia

Dimensão 1	Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos
Dimensão 2	Alocação das rotas de entrega
Dimensão 3	Seleção da transportadora e custos de transporte
Dimensão 4	Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte
Dimensão 5	Transporte
Dimensão 6	Recebimento e conferência do produto por parte do cliente
Dimensão 7	Instalação do produto

Fonte: Elaboração própria

4.9 Análise geral

A seguir, será realizada uma análise comparativa das empresas de acordo com cada dimensão avaliada. A tabela mostra, de maneira resumida, os resultados obtidos por cada empresa em cada dimensão avaliada. É importante ressaltar que apenas a empresa de Energia realiza as atividades da dimensão 7 e, por isso, o valor desta dimensão foi desconsiderado para as demais empresas.

Tabela 21 – Resultados consolidados das empresas analisadas

Dimensão	1	2	3	4	5	6	7
Alimentos	35,71	26,67	33,33	6,06	13,89	4,76	-
Alimentos 2	11,90	30,00	16,67	33,33	47,22	2,38	-
Metalurgia	26,19	26,67	40,00	3,03	0,00	7,14	-
Cerâmica	33,33	16,67	20,00	6,06	11,11	2,38	-
Tabaco	33,33	0,00	40,00	3,03	8,33	0,00	-
Têxtil	28,57	16,67	0,00	21,21	16,67	23,81	-
Medicamentos	35,71	33,33	20,00	27,27	41,67	11,90	-
Energia	69,05	63,33	43,33	51,52	83,33	66,67	77,78

Fonte: Elaboração própria

Legenda: Símbolo “-” indica ‘informação não apresentada’ ou ‘não se aplica’.

Inicialmente, com base nos resultados obtidos anteriormente, foi calculada a média aritmética simples dos resultados das empresas, dimensão a dimensão. A tabela 22 mostra, de maneira resumida, os resultados médios de cada dimensão avaliada na pesquisa:

Tabela 22 – Resultados consolidados por dimensão

Dimensão	1	2	3	4	5	6	7
Média	34,22	26,67	26,67	18,94	27,78	14,88	77,78

Fonte: Elaboração própria

A dimensão 1, de maneira geral, é a dimensão mais desenvolvida dentre as empresas avaliadas. Para esta dimensão, a média é 34,22, que a caracteriza no segundo estágio de maturidade. Além disso, dentre as sete empresas envolvidas na pesquisa, a dimensão 1 é a mais desenvolvida de três dessas (Alimentos – 35,71; Cerâmica – 33,33; Têxtil – 28,57) e, apenas a empresa Alimentos 2, com média 11,90 está abaixo do segundo nível de maturidade. Para as demais empresas estudadas, com exceção da empresa Energia, que com média 69,05 está no quarto nível de maturidade, todas as outras foram classificadas no segundo estágio de maturidade. A figura 10 representa a média obtida por cada empresa comparada com as demais e em relação à média geral das empresas estudadas.

No gráfico é possível observar que apesar da homogeneidade dos resultados para essa dimensão, destacam-se as empresas Alimentos 2, negativamente, e a empresa Energia, com a maior média na amostra. Observa-se também que apesar das empresas Alimentos e Alimentos 2, serem do mesmo ramo, apresentam níveis bem distintos de desenvolvimento, pois enquanto a primeira empresa já se encaminha para o terceiro nível de maturidade, com média 35,71, a segunda ainda se encontra em desenvolvimento no primeiro nível, com média 11,90. Destaca-se também que os maiores valores dessa dimensão são referentes à empresa Energia, sugerindo uma possível correlação entre o valor agregado dos bens produzidos e o investimento em tecnologias por parte das empresas.

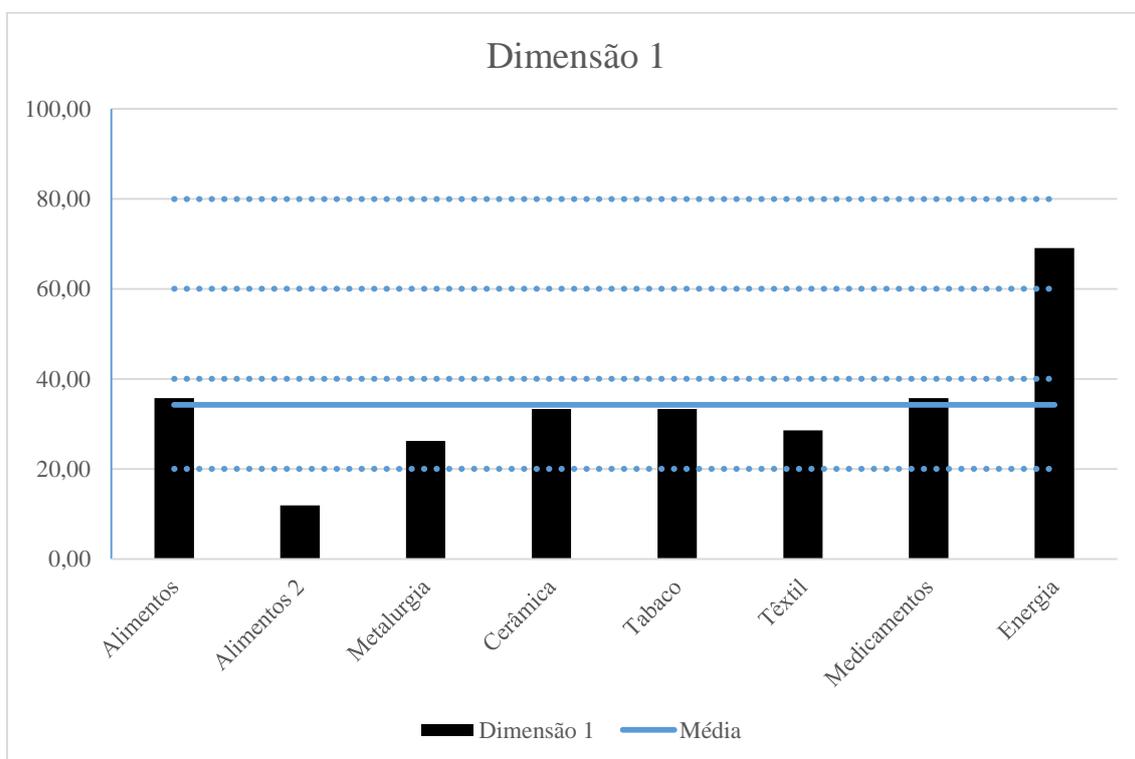


Figura 10 – Análise geral da dimensão 1 - Consolidação de cargas e agrupamento de pedidos
Fonte: Elaboração própria

Já a dimensão 2, apesar de ser, de acordo com a média geral, menos desenvolvida que a primeira dimensão, concentra quatro empresas no segundo nível de maturidade, além de uma no quarto nível. Entretanto, enquanto apenas uma empresa estava no primeiro nível de maturidade em relação à dimensão 1, para a dimensão 2, três empresas estão nesse estágio, sendo elas a empresa Cerâmica e a empresa Têxtil, ambas com média 16,67, e a empresa Tabaco, que não possui nenhum aspecto de maturidade nessa etapa. Inclusive,

para a de Tabaco, essa representa sua pior dimensão. A figura 11 mostra a comparação entre as empresas analisadas e em relação à média geral da dimensão.

Em relação às empresas Alimentos e Alimentos 2, que fazem parte do mesmo ramo, os valores apresentados são relativamente próximos, sendo 26,67 para a primeira e 30,00 para a segunda. Já as empresas que ainda estão no primeiro nível de maturidade, com exceção da Tabaco, que não possui qualquer tipo de desenvolvimento, apresentaram média 16,67, que as colocam próximas do segundo nível, indicando sinais de digitalização de processos básicos, mas ainda sem integração com outros departamentos da companhia ou ainda com empresas terceiras que tem participação nos processos. Por outro lado, novamente a Energia se destaca positivamente dentro da amostra, sendo a empresa mais desenvolvida, com média 63,33, que classifica o seu processo no quarto estágio de maturidade.

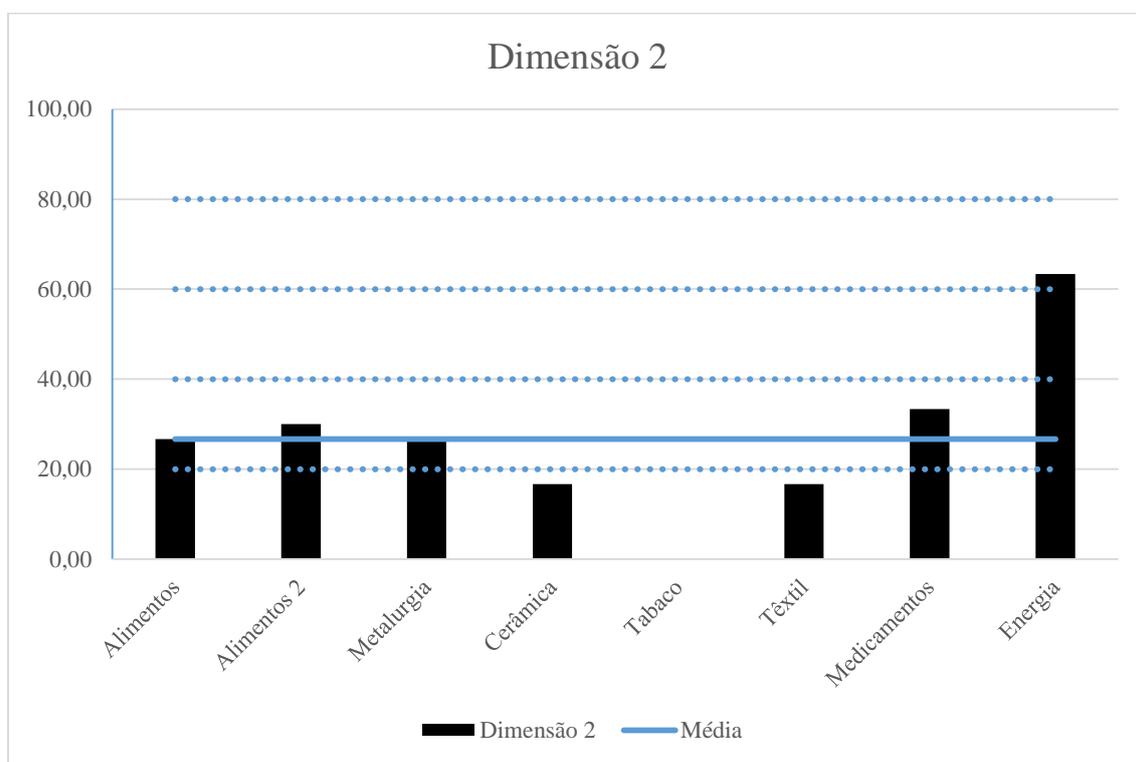


Figura 11 - Análise geral da dimensão 2 - Alocação das rotas de entrega
Fonte: Elaboração própria

Para a terceira dimensão, que representa a escolha das empresas transportadoras e o cálculo dos custos de transporte, novamente a empresa Energia é a que possui o processo mais maduro. Apesar disso, dentre todas as dimensões avaliadas, esta é a menos desenvolvida dessa empresa, com média 43,33, que a classifica no terceiro nível de

maturidade. Com resultados muito próximos da primeira empresa, as empresas Metalurgia e Tabaco, com média 40, apesar de estarem ainda no segundo nível de maturidade, já representam um estágio de transição para o terceiro nível, assim como acontece com as empresas Cerâmica e Medicamentos que, com média 20, estão num estágio de transição entre o primeiro e o segundo nível de maturidade.

Apesar do maior valor agregado dos bens, nessa dimensão a diferença da empresa Energia para as demais é menor do que nas dimensões anteriores. Ainda assim, a empresa continua possuindo a maior média. Já as empresas Alimentos e Alimentos 2, que são do mesmo ramo de atividades, novamente não apresentam médias similares. Enquanto a primeira tem média 33,33, a segunda possui média 16,67, representando, inclusive, diferentes níveis de maturidade. Nesse caso, enquanto a Alimentos já direciona esforços, ainda que básicos à Logística 4.0, a Alimentos 2 está em estágios iniciais de desenvolvimento, onde não há qualquer tipo de integração entre sistemas de informação. Por fim, destaca-se de forma negativa a empresa Têxtil, que possui média 0, representando total ausência de digitalização e automatização do processo de escolha de transportadoras.

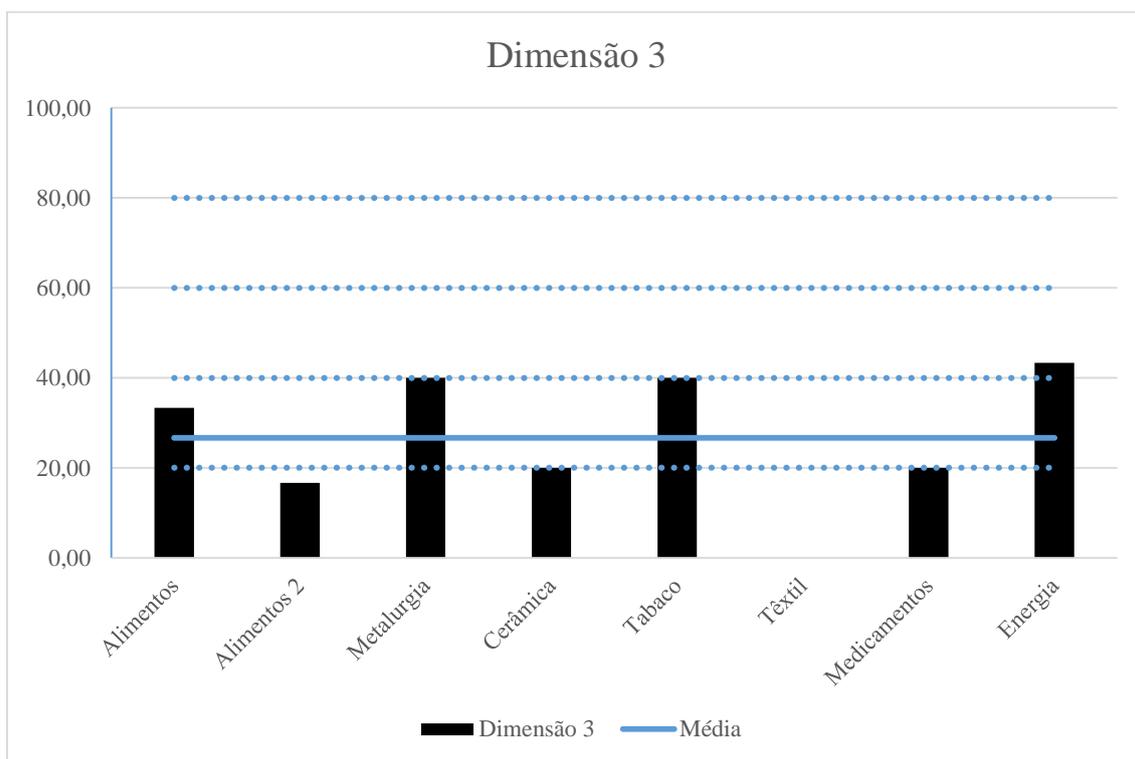


Figura 12 - Análise geral da dimensão 3 - Seleção da transportadora e custos de transporte
Fonte: Elaboração própria

A quarta dimensão, que diz respeito ao carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte, de maneira geral, apresenta valores baixos, representado um nível de desenvolvimento praticamente inexistente. Nessa dimensão, quatro empresas encontram-se no primeiro nível da maturidade, com médias entre 3,03 e 6,06.

Dentre as empresas restantes, as empresas Alimentos 2, Têxtil e Medicamentos encontram-se no segundo nível de maturidade, com médias 33,33, 21,21 e 27,27, respectivamente. A empresa Energia, que mais uma vez é a mais desenvolvida possui média 51,52, estando assim no terceiro nível de maturidade.

Para as empresas do ramo alimentício, novamente não há similaridade entre os valores, mas para essa dimensão, ao contrário da dimensão anterior, a empresa Alimentos 2 é mais desenvolvida que a Alimentos 1. Assim como na dimensão 3, uma está classificada no primeiro nível de maturidade, enquanto outra já está no segundo nível.

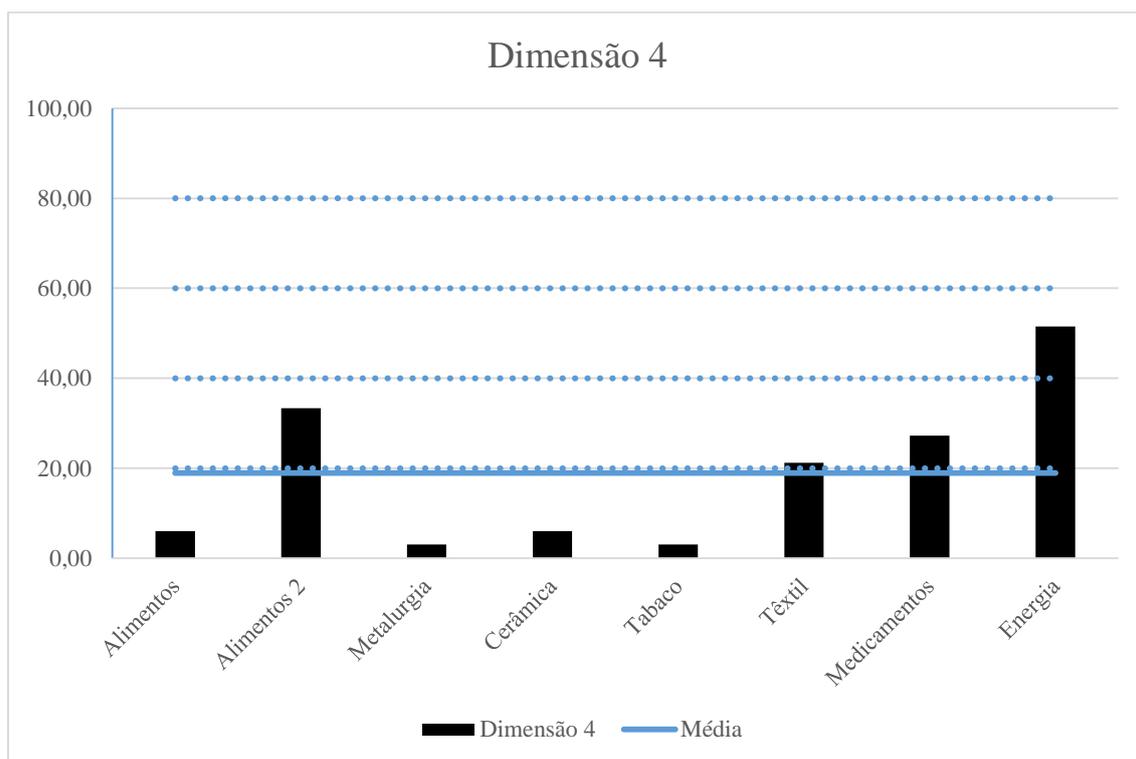


Figura 13 - Análise geral da dimensão 4 - Carregamento dos veículos e geração de documentos de transporte

Fonte: Elaboração própria

A dimensão 5, referente à etapa de transporte de bens, é a mais heterogênea dentre as sete dimensões consideradas. Nessa dimensão encontram-se os processos mais maduros das

empresas Alimentos 2, com média 47,22, da empresa Medicamentos, com média 41,67, e da empresa Energia, com média 83,33. Sendo, assim como a dimensão 1, a mais desenvolvida. Em contrapartida, a atividade de transporte para as 5 empresas restantes está classificada no primeiro nível de maturidade e, no caso da empresa Metalurgia, não há qualquer tipo de desenvolvimento ou mecanismo de controle, representado pela média 0.

No caso da empresa Energia, a média obtida na dimensão 5 classifica a atividade no quinto estágio de maturidade, sendo, dessa forma, a única que atingiu esse nível de maturidade na amostra. Nesse nível de maturidade, espera-se que exista total digitalização da atividade, além da integração com operações de clientes e fornecedores externos, possibilitando análises e ajustes autônomos em tempo real.

Para as demais empresas, o terceiro nível de maturidade atingido pela empresa Alimentos 2 e pela empresa Medicamentos representa, com exceção dos resultados da empresa Energia, os únicos que atingiram o terceiro estágio de maturidade na amostra, evidenciando a heterogeneidade dessa atividade em relação às empresas analisadas, uma vez que para as demais, o desenvolvimento é mínimo ou inexistente.

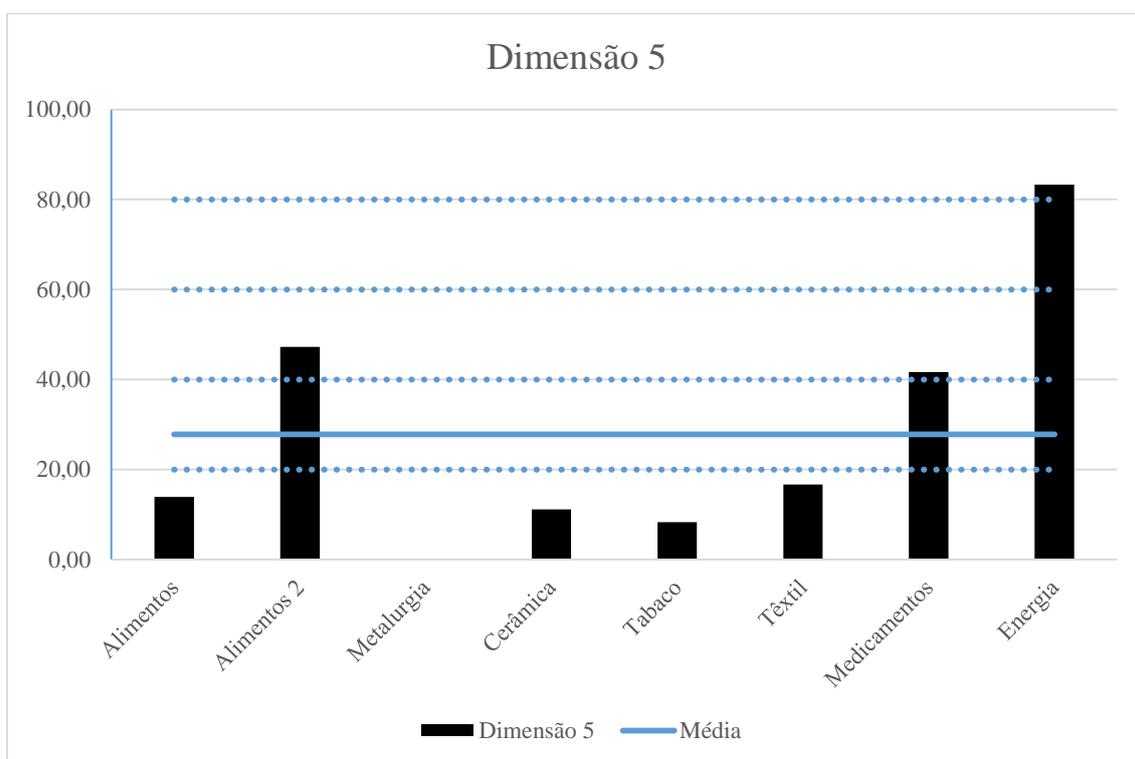


Figura 14 - Análise geral da dimensão 5 - Transporte

Fonte: Elaboração própria

A dimensão de recebimento e conferência do produto por parte do cliente é a menos desenvolvida, com média geral 14,88. Além disso, concentra os menores desempenhos de cinco das oito empresas envolvidas na pesquisa. Ademais, para a empresa Metalurgia, com média 7,14, representa o primeiro nível de maturidade. Para as duas empresas restantes, com média 23,81, a empresa Têxtil está no segundo estágio de maturidade, enquanto a empresa Energia, com média 66,67, está no quarto nível de maturidade.

Nessa dimensão, existe similaridade entre os resultados obtidos pelas duas empresas alimentícias, com médias 4,76 e 2,38, mas como as empresas de outras atividades também atingiram valores muito baixos e muito próximos, não é possível concluir que essa é uma tendência do setor e sim, uma possível tendência da dimensão. Porém, a empresa Energia, novamente apresenta o maior valor da amostra, indicando novamente uma possível correlação entre o valor agregado dos bens produzidos e do nível de maturidade dos processos.

É possível avaliar ainda que como essa dimensão diz respeito ao recebimento por parte dos clientes, o desenvolvimento dessa etapa envolve mais fatores externos que as etapas anteriores, exigindo para o seu desenvolvimento a integração de diferentes agentes, além dos investimentos financeiros necessários também nas etapas anteriores.

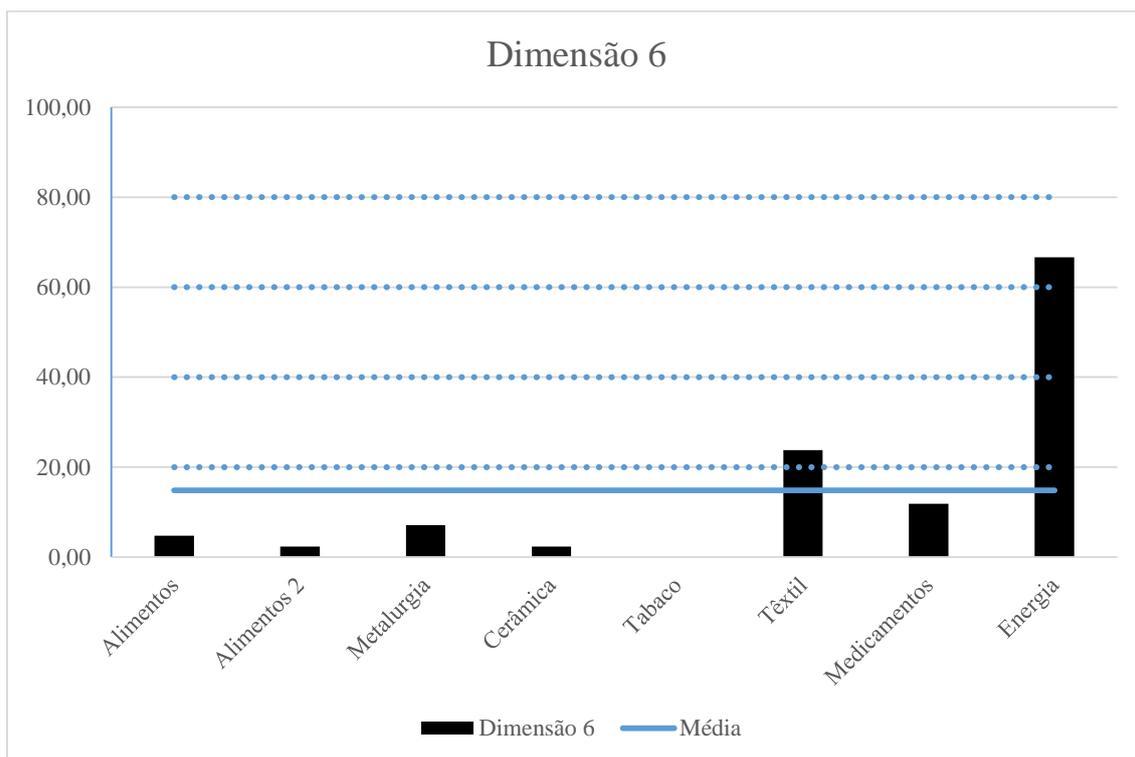


Figura 15 - Análise geral da dimensão 6 - Recebimento e conferência do produto por parte do cliente

Fonte: Elaboração própria

Por fim, a última dimensão, que se refere à instalação do produto, não pôde ser avaliada como as demais, pois apenas os respondentes da empresa Energia afirmaram executar essa atividade. Para a empresa supracitada, a média obtida foi 77,78, que classifica a dimensão no quarto nível de maturidade, entretanto não é possível afirmar a posição dessa empresa em relação às outras empresas presentes no estudo.

Foi calculada, finalmente, a média geral de cada empresa, dada pela média das dimensões, a fim de avaliar o estágio geral de maturidade de cada empresa. Os resultados estão expressos na tabela 23:

Tabela 23 – Nível de maturidade das empresas analisadas

Empresa	Média geral	Nível de maturidade
Alimentos	19,72	1
Alimentos 2	22,54	2
Metalurgia	16,43	1
Cerâmica	15,02	1
Tabaco	14,08	1
Têxtil	18,78	1

Medicamentos	28,17	2
Energia	65,86	4

Fonte: Elaboração própria

De modo geral, as empresas avaliadas concentram-se no primeiro nível de maturidade, ainda que a empresa Alimentos, com média geral 19,72, e a empresa Têxtil, com 18,78, já estejam bem próximas do segundo estágio. No segundo estágio, está a empresa Alimentos 2, que com média geral 22,54, ainda encontra-se bem próxima do primeiro nível de maturidade, e a empresa Medicamentos, com média geral 28,17. A empresa Energia, que é o grande destaque positivo, com média geral 65,86, está no quarto estágio de maturidade, com processos já bem desenvolvidos e automatizados.

4.10 Oportunidades e desafios

4.10.1 Oportunidades

As principais oportunidades do sistema logístico brasileiro como resultado das ações já implementadas ou em andamento, com base no cenário atual, estão descritas a seguir.

1 – A geografia brasileira permite a utilização de diversos modos de transporte e, de acordo com Nobrega *et al.* (2021), isso cria a possibilidade de integrar diversos modos, promovendo a otimização das cadeias logísticas como um todo. Behrends (2015), afirma ainda que a integração combina vantagens de custos e de serviço de diferentes modos para criar maior eficiência. Liedtke e Murillo (2012) afirmam também que o desenvolvimento e a utilização da intermodalidade diminui as externalidades negativas causadas pelo transporte rodoviário, como congestionamento, aumento das emissões de carbono e acidentes.

2 – A integração das atividades logísticas dentro das cadeias de suprimentos pode reduzir os custos de armazenagem, tendo em vista que os processos são executados de maneira sincronizada e simultânea, diminuindo a quantidade mínima necessária de produtos em estoque. De acordo com Wang (2016), o potencial de redução de custos é de aproximadamente 20%, podendo chegar até a 30% em determinadas operações. A redução de custos também pode ocorrer, de acordo com Nóbrega *et al.* (2021), através da identificação de atividades que não acrescentam valor ao cliente, que se tornam mais evidentes à medida que os processos se tornam digitalizados e integrados.

3 – A globalização do mercado tem criado novas demandas de consumo, onde a sociedade exige serviços ágeis e especializados, incluindo customização e rastreabilidade, que

podem ser potencializadas pela Logística 4.0 (Nóbrega *et al.*, 2021). Apesar dessa exigência por nível de serviço, o preço continua sendo um dos principais diferenciais de mercado. Nesse aspecto, a Logística 4.0 pode ser um fator importante, já que a digitalização possibilita uma gestão mais eficiente de mercadorias e passageiros, conseguindo assim transportar mais volume em conjunto, favorecido pelo fator de escala.

4 – Apesar dos altos custos de implementação das tecnologias da Indústria 4.0, os bens e serviços tem se popularizado em escala industrial e, de acordo com Gonzalez-Cancelas (2020), uma ampla gama de produtos e serviços já é oferecida às empresas com alto grau de imediatismo.

5 – A digitalização de processos possibilita a realização de atividades laborais remotamente, em qualquer lugar e a qualquer hora, flexibilizando a atuação dos trabalhadores, mas Gonzalez-Cancelas *et al.* (2020) afirmam que os novos empregos serão criados nos próximos anos irão demandar um nível mínimo de qualificação. Nesse sentido, Kane *et al.* (2015) e Schlechtendahl *et al.* (2015) afirmam que apesar da automatização de processos que requerem maior repetição de movimentos dos trabalhadores, as pessoas ainda terão que usar seus cérebros e o valor agregado será encontrado em novos produtos e novas soluções.

Como a indústria brasileira ainda se encontra em estágios iniciais de desenvolvimento perante à digitalização, existem inúmeras possibilidades de desenvolvimento até mesmo a curto prazo.

Algumas das oportunidades de desenvolvimento logístico, como a diversificação da matriz de transportes, estão diretamente relacionadas às políticas públicas e ações governamentais. Contudo, a globalização do mercado e a popularização das TIC têm facilitado o acesso das empresas às novas tecnologias, promovendo o avanço da digitalização nos processos.

Por isso, existe uma tendência de que movidas pelo aumento na demanda de serviços de transporte causado pelo advento do *e-commerce*, a indústria brasileira seja capaz de digitalizar seus principais processos logísticos, promovendo ganhos em eficiência e produtividade e otimizando o planejamento, controle e gestão de operações logísticas.

4.10.2 Desafios

Os desafios são os pontos negativos, problemas e situações prejudiciais que o sistema logístico brasileiro vai enfrentar durante e após a transição da logística tradicional para a Logística 4.0.

1 – A Logística 4.0 é um sistema complexo e responsável por atender problemas de grande complexidade na logística. Para isso, é necessária a utilização de diversos dispositivos tecnológicos, como sensores inteligentes, tecnologias de mineração de dados, *internet* móvel, dentre outros (WANG, 2016). Nobrega *et al.* (2021) indicam que o nível de desenvolvimento tecnológico no sistema logístico brasileiro ainda é muito baixo, exigindo grandes investimentos para atingir os padrões exigidos pela Logística 4.0 (Gonzales-Cancelas *et al.*, 2020). Ainda em relação às questões financeiras, Nóbrega *et al.* (2021) mostram que no Brasil as companhias que operam em atividades logísticas tem grandes dificuldades em obter crédito para implementações e/ou melhorias voltadas à tecnologia.

2 – A Indústria 4.0 e, conseqüentemente, a Logística 4.0 exige um grande volume de coleta, armazenamento e processamento de dados. Com isso, surge a necessidade de desenvolvimento de novas formas de tratamento dos dados para que a execução das atividades seja conforme o esperado. No entanto, Ilin *et al.* (2019) discorrem que apesar do desenvolvimento do setor, ainda há uma falta de regulamentação para o gerenciamento de dados. Como resultado, dados redundantes são armazenados em diferentes setores da empresa e custos adicionais são necessários para eliminá-los o máximo possível.

Ainda no que diz respeito à utilização de dados, os autores citam também a preocupação com a segurança destes, pois para a otimização dos processos é preciso compartilhar dados constantemente em tempo real. Aliada aos problemas referentes à baixa confiabilidade dos serviços de transmissão de dados expostos por Nobrega *et al.* (2021) e Gonzales-Cancelas *et al.* (2020), a falta de segurança dos dados pode causar perda de dados confidenciais, gerando atrasos no plano de produção e perda de confiança dos parceiros comerciais. Como consequência, as pequenas e médias empresas terão que se adaptar aos padrões da grande empresa da qual são fornecedoras.

3 – O funcionamento de uma cadeia de suprimentos, principalmente nas voltadas à digitalização, exige a integração vertical e horizontal de todas as partes envolvidas. Porém, de acordo com as respostas fornecidas pelas empresas avaliadas, na realidade

brasileira a integração vertical e, até mesmo a horizontal, ainda é uma realidade distante. Somado a isso, Nobrega *et al.* (2021) afirmam que a cultura executiva brasileira não foca no planejamento, mas em ações emergenciais de curto prazo; e que também é avesso a mudanças. Afirmam também que a logística é muitas vezes vista como uma área não estratégica. Já Gonzales-Cancelas *et al.* (2020) atribuem a falta de planejamento e de integração à falta de percepção da digitalização e à falta de acessibilidade por grande parte das empresas.

4 – Nobrega *et al.* (2021) consideram os trabalhadores brasileiros pouco qualificados, considerando as habilidades requeridas pela Logística 4.0. Nesse sentido, muitos postos de trabalho seriam subqualificados ou as empresas poderiam perder o controle, pois os funcionários atuais teriam que ser retreinados ou um novo profissional técnico e especializado teria que ser criado por meio de qualificações que fornecessem as habilidades e competências necessárias em alinhamento com as novas tecnologias implementadas (Gonzales-Cancelas *et al.*, 2020). Ainda no que diz respeito à mão-de-obra, a digitalização pode tornar muitos empregos obsoletos e desnecessários. Apesar de serem gerados novos empregos, inexistentes até então, esses exigirão certo nível de qualificação para atuar com as novas tecnologias, gerando impactos, até então desconhecidos, na economia e na sociedade como um todo. Por isso, Roblek *et al.* (2016) reiteram a necessidade de redefinir os empregos atuais e tomar medidas para adaptar a força de trabalho aos novos empregos que serão criados para evitar o chamado desemprego tecnológico (Hungerland *et al.*, 2015).

5 – Na Logística 4.0, toda a operação depende do funcionamento estável e seguro dos sistemas digitais. Isso faz com que haja grande necessidade de monitoramento e controle de falhas internas e externas. Gonzalez-Cancelas *et al.*, 2020) afirmam que ao passo que os sistemas se tornam mais complexos, surgem novas vulnerabilidades no processo e Nobrega *et al.* (2021) complementam que no sistema logístico brasileiro existe uma grande heterogeneidade nos níveis de adoção de tecnologia, dificultando ainda mais a integração, monitoramento e controle.

6 – Apesar de, como citado anteriormente, a geografia brasileira permitir a utilização e integração de diversos modos de transporte, promovendo assim a intermodalidade, atualmente, em valores aproximados, o transporte corresponde a 58% dos fluxos de carga (em TKU), enquanto apenas 25% é realizado pelo modo ferroviário e 13% pelo aquático (Brasil, 2021), que são negligenciados por grande parte das empresas do país.

7 – Dado que cada empresa possui suas particularidades e modelos de gestão, a transição para a Logística 4.0 irá ocorrer de maneiras diferentes e em ritmos para cada empresa e, por isso, cada empresa possui seu próprio modelo de negócio. Como consequência, para Wang (2016), essa diversidade pode se tornar uma ameaça, tendo em vista que não é possível criar um sistema universal de gestão para toda a cadeia de suprimentos.

8 – A transformação da logística tradicional para a Logística 4.0 envolve diversos aspectos econômicos e sociais que vão além do controle da empresa, sofrendo influência direta de políticas públicas e de diversos elementos institucionais. Gonzalez-Cancelas (2020) reiteram a influência dos elementos políticos principalmente em relação à utilização de modos de transporte visando a intermodalidade e, no contexto das políticas públicas brasileiras, Nóbrega *et al.* (2021) citam instabilidade política, social e econômica que, somados a burocracia, alta carga tributária e regulamentação governamental instável, podem inviabilizar investimentos de longo prazo, necessários para a implementação da Logística 4.0.

9 – No Brasil ainda existem poucas empresas dedicadas à produção de dispositivos tecnológicos utilizados na implantação da Logística 4.0, sendo necessário, na maioria das vezes, importar os equipamentos. Nóbrega *et al.* (2021) apontam que empresas de outros países acabam tendo mais acesso a esses equipamentos por já terem uma indústria de tecnologia local mais desenvolvida, gerando uma grande ameaça para o Brasil, que pode perder parcelas de mercado em setores fundamentais para a economia do país, como o agronegócio.

10 – A dependência de sistemas de informação e o aumento no volume de processamento de dados faz com que seja necessária a utilização de bancos de dados em nuvem, que podem ser vítimas de *cyber*-ataques. A vulnerabilidade desses sistemas se dá, de acordo com Gonzalez-Cancelas (2020), graças à disponibilidade da nuvem para qualquer pessoa, que pode, com uso de técnicas avançadas de computação, ter acesso a dados confidenciais das vítimas, causar prejuízos incalculáveis e, dependendo da situação, afetar toda a economia nacional.

Em suma, apesar dos benefícios que a Indústria 4.0 pode proporcionar à logística, ainda existem muitos desafios a serem superados no Brasil. O baixo nível de desenvolvimento tecnológico, dificuldades financeiras, falta de regulamentação para o gerenciamento de dados e questões de segurança dos dados são alguns dos obstáculos a serem vencidos.

Ademais, falta de integração, cultura executiva pouco propensa a mudanças e falta de qualificação dos trabalhadores também são problemas que precisam ser resolvidos. Para que a Logística 4.0 alcance o sucesso esperado, é necessário que empresas e governos invistam em tecnologias, regulamentações e treinamentos para os profissionais da área.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo atingiu seu objetivo geral de avaliar o nível de adaptação das operações logísticas de empresas brasileiras às mudanças tecnológicas e sua percepção em relação à necessidade de adequação, utilizando um modelo de maturidade, como proposto inicialmente. Para isso, foram considerados cinco graus de maturidade e suas respectivas características, de acordo com a proposta de Asdecker *et al.* (2019).

Em relação aos objetivos secundários, foi constatado, através de uma revisão bibliográfica descritiva, que os modelos de maturidade disponíveis na literatura possuem uma grande deficiência na descrição das dimensões de análise e dos níveis de maturidade, tornando sua aplicação subjetiva e podendo causar variações no resultado final dependendo de opiniões pessoais do aplicador. Por isso, concluiu-se que o método mais adequado era o *Delivery Process Maturity Model 4.0*, pois estrutura a descrição de todas as dimensões na documentação disponibilizada pelo *Supply Chain Council* e apresenta um índice descritivo da maturidade esperada em cada nível, reduzindo a variabilidade dos resultados da pesquisa.

Entretanto, o grande detalhamento das dimensões de análise também foi responsável por causar a principal limitação da pesquisa, pois exige uma quantidade elevada de perguntas no questionário, que tornaria sua aplicação inviável. Assim, optou-se por analisar apenas as dimensões relacionadas à atividade primária de transporte, com o intuito de reduzir a quantidade de questões enviadas a cada respondente. Sendo assim, é recomendada a aplicação do modelo completo em estudos futuros e em possíveis aplicações em contextos empresariais.

Como apresentado no Capítulo 1, o presente estudo teve como área de abrangência geográfica o território brasileiro. A restrição às empresas atuantes no Brasil foi decorrente da aplicação do questionário utilizado na pesquisa, que delimitou os resultados a esse contexto específico. No entanto, o estudo pode ser replicado em outros contextos empresariais, tendo aplicação prática além de caráter teórico.

Além disso, o modelo utilizado neste estudo abrange apenas os processos logísticos de entrega, ou seja, o fluxo de materiais da empresa focal para os consumidores. No entanto, sugere-se, seguindo a mesma lógica, a ampliação do modelo para incluir também a análise da logística de recebimento, que representa o fluxo de materiais dos fornecedores para a empresa focal, adaptando-o de acordo com as necessidades específicas.

Com a aplicação do método, foi possível observar, como proposto nos objetivos específicos, o nível de maturidade das dimensões de cada empresa e o nível de maturidade da amostra. O método revelou um baixo nível de desenvolvimento nas empresas avaliadas, mas é necessário levar em consideração a evolução constante dos conceitos da Indústria 4.0 e da indústria nacional em geral.

Por outro lado, fica evidenciada também a necessidade de altos investimentos iniciais para adoção dessas novas tecnologias, combinada com a frequente necessidade de compra de tecnologias importadas, tendo em vista a dificuldade de aquisição de materiais nacionais. Já como ponto positivo, destaca-se principalmente o aumento da demanda por serviços logísticos, que possibilitam operacional e financeiramente tais investimentos em tecnologias digitais.

Assim, conclui-se que este trabalho realizou uma avaliação interna em empresas brasileiras para enquadramento de seu grau de maturidade de digitalização em logística. A partir desse diagnóstico, recomenda-se a elaboração de um método que indique as próximas etapas para o atingimento de níveis mais avançados de maturidade, que sirva como um guia para que as empresas possam se desenvolver até o estágio de digitalização completa otimizada.

REFERÊNCIAS

ABDULHAMEED, O., AL-AHMARI, A., AMEEN, W., *et al.* "Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications", **Advances in Mechanical Engineering**, v. 11, n. 2, 2019. .

ALBLIWI, S. A., ANTONY, J., ARSHED, N. "Critical literature review on maturity models for business process excellence". *2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, Malásia, 79-83, 2014.

ALCÁCER, V., CRUZ-MACHADO, V. "Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems", **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 22, n. 3, p. 899–919, 2019. .

AL-JAROODI, J., MOHAMED, N. "Blockchain in industries: A survey", **IEEE Access**, v. 7, p. 36500–36515, 2015. .

ALYAHYA, S., WANG, Q., BENNETT, N. "Application and Integration of an RFID-enabled Warehousing Management System – A Feasibility Study", **Journal of Industrial Information Integration**, v. 4, p. 15–25, 2016. .

ANDERL, R., FLEISCHER, J, **Guideline Industrie 4.0 – Guiding Principles for the Implementation of Industrie 4.0 in Small and Medium Sized Business**. VDMA-Verlag, Alemanha, 2015.

ARUNACHALAM, D., KUMAR, N., KAWALEK, J. "Understanding big data analytics capabilities in supply chain management: unravelling the issues, challenges and implications for practice", **Transportation Research Part E, Logistics and Transportation Review**, v. 114, p. 416–436, 2018. .

ASDECKER, B., FELCH, V. "Development of an Industry 4.0 maturity model for the delivery process in supply chains", **Journal of Modelling in Management**, v. 13, n. 4, 2018. .

ATZORI, L., IERA, A., MORABITO, G. "The internet of things: A survey", **Computer networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010. .

BAG, S, TELUKDARIE, A., PRETORIUS, J., *et al.* "Industry 4.0 and supply chain sustainability: framework and future research directions", **Benchmarking: An International Journal**, v. 28, n. 5, p. 1410–1450, 2021. .

BAG, Surajit, GUPTA, S., LUO, Z. "Examining the role of logistics 4.0 enabled dynamic capabilities on firm performance", **The International Journal of Logistics Management**, v. 31, n. 3, p. 607–628, 2020. .

BALLOU, R. H. Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial. 5. ed. Brasil, Bookman, 2005.

BARRETO, L., AMARAL, A., PEREIRA, T. "Industry 4.0 implications in logistics: an overview", **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1245–1252, 2017. .

BATTISTA, C., SCHIRALDI, M. "The logistic maturity model: Application to a fashion company", **International Journal of Engineering Business Management**, v. 5, p. 5–29, 2013. .

BECKER, J., KNACKSTEDT, R., PÖPPELBUSS, J. "Developing maturity models for IT management", **Business & Information Systems Engineering**, v. 1, n. 3, p. 213–222, 2009. .

BECKERS, J., WEEKX, S., BEUTELS, P., *et al.* "COVID-19 and retail: The catalyst for e-commerce in Belgium?", **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 62, p. 102645, 2021.

BEHRENDTS, S. "The modal shift potential of intermodal line-trains from a haulier's perspective: drivers and barriers in the mode choice process", **World Review of Intermodal Transportation Research**, v. 5, n. 4, p. 369–386, 2016. .

BHOIR, H., PRINCIPAL, R. "Cloud computing for supply chain management", **International Journal of Innovations in Engineering Research and Technology**, v. 1, n. 2, p. 1–9, 2014. .

BIFFL, S., LÜDER, A., GERHARD, D. **Multi-Disciplinary Engineering for Cyber-Physical Production Systems**. 1. ed. Alemanha, Springer, 2017.

BODKHE, U, MEHTA, D., TANWAR, S., *et al.* "A survey on decentralized consensus mechanisms for cyber physical systems", **IEEE Access**, v. 8, p. 54371–54401, 2020. .

BODKHE, Umesh, TANWAR, S., PAREKH, K., *et al.* "Blockchain for Industry 4.0: A Comprehensive Review", **IEEE Access**, v. 8, p. 79764–79800, 2020. .

BOONE, C., HAZEN, B., SKIPPER, J., *et al.* "A framework for investigating optimization of service parts performance with big data", **Annals of Operations Research**, v. 270, n. 1, p. 65–74, 2018. .

BOTTOMLEY, S. "Patenting in England, Scotland and Ireland during the Industrial Revolution, 1700-1852", **Explorations in Economic History**, v. 57, n. 1, p. 50–57, 2014. .

BRASIL. **Plano Nacional de Logística e Transportes**. Relatório Executivo. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/politica-e-planejamento/politica-e-planejamento/RelatorioExecutivoPNL_2035final.pdf Acesso em: 19 dez. 2022

BRETTEL, M., FRIEDERICHSEN, N., KELLER, M., *et al.* "How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an industry 4.0 perspective", **International Journal of Information and Communication Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37–44, 2014. .

BRINCH, M. "Understanding the value of big data in supply chain management and its business processes", **International Journal of Operations & Production Management**, v. 38, n. 7, p. 1589–1614, 2018. .

BUGHIN, J., CHUI, M., MANYIKA, J. "Clouds, big data, and smart assets: Ten tech-enabled business trends to watch", **McKinsey quarterly**, v. 56, n. 1, p. 75–86, 2010. .

BUTZER, S., KEMP, D., STEINHILPER, R., *et al.* "Identification of approaches for remanufacturing 4.0". *2016 IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS)*, 1-6, Alemanha, 2016.

BUYYA, R., YEO, C., VENUGOPAL, S., *et al.* "Cloud computing and emerging IT platforms: Vision, hype, and reality for delivering computing as the 5th utility", **Future Generation computer systems**, v. 25, n. 6, p. 599–616, 2009. .

- CARVALHO, J., ROCHA, Á., VAN DE WETERING, R., *et al.* "A Maturity model for hospital information systems", **Journal of Business Research**, v. 94, p. 388–399, 2019.
- CHEN, B., WAN, J., SHU, L., *et al.* "Smart Factory of Industry 4.0: Key Technologies, Application Case, and Challenges", **IEEE Access**, v. 6, p. 6505–6519, 2018. .
- CHOI, T., WALLACE, S., WANG, Y. "Big Data Analytics in Operations Management", **Production and Operations Management**, v. 27, n. 10, p. 1868–1883, 2018. .
- CHRISTIDIS, K., DEVETSIKIOTIS, M. "Blockchains and smart contracts for the internet of things", **IEEE Access**, v. 4, p. 2292–2303, 2016. .
- CICHOSZ, M., WALLENBURG, C., KNEMEYER, A. "Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices", **International Journal of Logistics Management**, v. 31, n. 2, p. 209–238, 2020. .
- CIMINI, C., PINTO, R., PEZZOTTA, G., *et al.* "The Transition Towards Industry 4.0: Business Opportunities and Expected Impacts for Suppliers and Manufacturers". *IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems*, 119-126 Alemanha, 2017.
- CLARK, G., JACKS, D. "Coal and the Industrial Revolution, 1700–1869", **European Review of Economic History**, v. 11, n. 1, p. 39–72, 2007. .
- CORREA, J., SAMPAIO, M., BARROS, R. "An exploratory study on emerging technologies applied to logistics 4.0", **Gestão & Produção**, v. 27, n. 3, 2020. .
- CORREA, J., SAMPAIO, M., BARROS, R., *et al.* "IoT and BDA in the Brazilian future logistics 4.0 scenario", **Production**, v. 30, p. 2020.
- CRUZ, W. "Crescimento do e-commerce no Brasil: desenvolvimento, serviços logísticos e o impulso da pandemia de Covid-19", **GeoTextos**, v. 17, n. 1, p. 67-88, 2021.
- CUNICO, M. **Impressoras 3D: O novo Meio Produtivo**. 1. ed. Brasil, Concep3d Pesquisas Científicas Ltda.
- DAI, H., GE, L., ZHOU, W. "A design method for supply chain traceability systems with aligned interests", **International Journal of Production Economics**, v. 170, p. 14–24, 2015. .

DE BRUIN, T., FREEZE, R., KULKLARNI, U., et al. "Understanding the Main Phases of Developing a Maturity Assessment Model". *Australasian Conference on Information Systems*, 8-19, Australia, 2005.

DE SOUZA, T., GOMES, C. "Assessment of maturity in project management: a bibliometric study of main models", **Procedia Computer Science**, v. 55, p. 92–101, 2015. .

DONOVAN, P., BRUTON, K., SULLIVAN, D. "IAMM: A maturity model for measuring industrial analytics capabilities in large-scale manufacturing facilities", **International Journal of Prognostics and Health Management**, v. 7, 2016. .

DUBEY, R., GUNASEKARAN, A., CHILDE, S. "Big data analytics capability in supply chain agility", **Management Decision**, v. 57, n. 8, p. 2092–2112, 2019. .

DUJAK, D., SAJTER, D., "Blockchain Applications in Supply Chain". In: KAWA, A., MARYNIAK, A. (Org.), **SMART Supply Network**, EcoProduction. Estados Unidos, Springer, 2019. p. 21–46.

EL-KASSAR, A., SINGH, S. "Green innovation and organizational performance: the influence of big data and the moderating role of management commitment and HR practices", **Technological Forecasting and Social Change**, v. 144, p. 483–498, 2019. .

ENGBLOM, J., SOLAKIVI, T., TOYLI, J., *et al.* "Multiple-method analysis of logistics costs", **International Journal of Production Economics**, v. 137, n. 1, p. 29–35, 2012. .

EROL, S., JÄGER, A., HOLD, P., *et al.* "Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production", **Procedia CIRP**, v. 54, p. 13–18, 2016. .

FACCHINI, F., OLEŚKÓW-SZŁAPKA, J., RANIERI, L., *et al.* "A Maturity Model for Logistics 4.0: An Empirical Analysis and a Roadmap for Future Research", **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 86, 2019. .

FELCH, V., ASDECKER, B., SUCKY, E. "Digitization in outbound logistics – application of an industry 4.0 maturity model for the delivery process". *2018 30th Annual NOFOMA Conference*, 113-128, Dinamarca, 2018.

FELCH, V., ASDECKER, B., SUCKY, E. "Maturity Models in the Age of Industry 4.0 – Do the Available Models Correspond to the Needs of Business Practice?". *Hawaii International Conference on System Science*, 5165-5174, Estados Unidos, 2019.

FENG, Q., HE, D., ZEADALLY, S., *et al.* "A survey on privacy protection in blockchain system", **Journal of Network and Computer Applications**, v. 126, p. 45–58, 2019. .

FISHER, D., DELINE, R., CZERWINSKI, M., *et al.* "Interactions with big data analytics", **Interactions**, v. 19, n. 3, p. 50–59, 2012. .

FLORÊNCIO, E. Q., SEGUNDO, D. B. F., QUINTELLA, I. P. C. P. "O futuro do processo construtivo? A impressão 3d em concreto e seu impacto na concepção e produção da arquitetura". *XX Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital*, 305-309, Brasil, 2016.

FLYNN, B., HUO, B., ZHAO, X. "The impact of supply chain integration on performance: A contingency and configuration approach", **Journal of operations management**, v. 28, n. 1, p. 58–71, 2010. .

GALASKE, N., ARNDT, A., FRIEDRICH, H., *et al.* "Workforce Management 4.0 – Assessment of Human Factors Readiness Towards Digital Manufacturing". *2017 AHFE International Conference on Human Aspects of Advanced Manufacturing*, 106-115, Estados Unidos, 2017.

GALINDO, L. **The Challenges of Logistics 4.0 for the Supply Chain Management and the Information Technology**. 2016. Dissertação de M.Sc. – Norwegian University of Science and Technology, Noruega, 2016.

GAMMELGAARD, B. "Congratulations to IJLM on its first 30 years", **International Journal of Logistics Management**, v. 30, n. 1, p. 2–7, 2019. .

GHALEHKHONDABI, I., AHMADI, E., MAIHAMI, R. "An overview of big data analytics application in supply chain management", **Production**, v. 30, 2020. .

GOLDSBY, T., ZINN, W. "Technology Innovation and New Business Models: can logistics and supply chain research accelerate the evolution?", **Journal of Business Logistics**, v. 37, n. 2, p. 80–81, 2016. .

GONZÁLEZ-CANCELAS, N., SERRANO, B., SOLER-FLORES, F., *et al.* "Using the SWOT Methodology to Know the Scope of the Digitalization of the Spanish Ports", **Logistics**, v. 4, n. 3, p. 20, 2020. .

GUPTA, R., CHOW, M.-Y. "Networked control system: overview and research trends", **IEEE transactions on industrial electronics**, v. 57, n. 7, p. 2527–2535, 2009. .

HAN, M., LI, J., CAI, Z., *et al.* "Privacy Reserved Influence Maximization in GPS-Enabled Cyber-Physical and Online Social Networks". *2016 IEEE International Conferences on Big Data and Cloud Computing (BDCloud), Social Computing and Networking (SocialCom), Sustainable Computing and Communications (SustainCom) (BDCloud-SocialCom-SustainCom)*, Estados Unidos, 284–292, 2016.

HERMANN, M., PENTEK, T., OTTO, B. "Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios". *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 3928-3937, Estados Unidos, 2016.

HIRSH, H., ALMAN, A., LEMIEUX, V., *et al.* "Blockchain: One emerging technology—so many applications", **Proceedings of the Association for Information Science and Technology**, v. 55, n. 1, p. 691–693, 2018. .

HOFMANN, E., STERNBERG, H., CHEN, H., *et al.* "Supply chain management and Industry 4.0: conducting research in the digital age", **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 49, n. 10, p. 945–955, 2019. .

HOLMSTRÖM, J., PARTANEN, J. "Digital manufacturing-driven transformations of service supply chains for complex products", **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 19, n. 4, p. 421–430, 2014. .

HOLUBČÍK, M., KOMAN, G., SOVIAR, J. "Industry 4.0 in Logistics Operations", **Transportation Research Procedia**, v. 53, p. 282–288, 2021. .

HORENBERG, D., "Applications within Logistics 4.0: A research conducted on the visions of 3PL service providers ". *2017 IBA Bachelor Thesis Conference*, Países Baixos, 2017.

HU, H., WEN, Y., CHUA, T.-S., *et al.* "Toward scalable systems for big data analytics: A technology tutorial", **IEEE access**, v. 2, p. 652–687, 2014. .

HYNDS, E., BRANDT, V., BUREK, S., *et al.* "A maturity model for sustainability in new product development. Research-Technology Management", **Research-Technology Management**, v. 57, n. 1, p. 50–57, 2014. .

ILOS. **Custos Logísticos no Brasil**. Panorama ILOS, 2017. Disponível em: https://www.ilos.com.br/DOWNLOADS/PANORAMAS/Nova_Brochura%20_CustosLog2017.pdf. Acesso em: 09 dez. 2022.

ISOHERRANEN, V., KARKKAINEN, M. K., KESS, P. "Operational excellence driven by process maturity reviews: A case study of the ABB corporation". *2015 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, 1372-1376, Singapura, 2015.

ISSA, A., HATIBOGLU, B., BILDSTEIN, A., *et al.* "Industrie 4.0 roadmap: Framework for digital transformation based on the concepts of capability maturity and alignment", **Procedia CIRP**, v. 72, p. 973–978, 2018.

ITTMANN, H. "The impact of big data and business analytics on supply chain management", **Journal of Transport and Supply Chain Management**, v. 9, n. 1, p. 1–9, 2015. .

IVANOV, D., DOLGUI, A., SOKOLOV, B. "Cloud supply chain: Integrating industry 4.0 and digital platforms in the “Supply Chain-as-a-Service”", **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 160, p. 102676, 2022. .

JAHN, C., KERSTEN, W., RINGLE, C. M. *Logistics 4.0 and Sustainable Supply Chain Management: Innovative Solutions for Logistics and Sustainable Supply Chain Management in the Context of Industry 4.0*. Alemanha, Berlin: epubli GmbH, 2018.

JAZDI, N. "Cyber physical systems in the context of Industry 4.0". *2014 IEEE International Conference on Automation, Quality and Testing, Robotics*, 1-4, Romênia, 2014.

JIA, X., FENG, Q., FAN, T., *et al.* "RFID technology and its applications in Internet of Things (IoT)". *2012 2nd International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, 1282-1285, China, 2012.

KAGERMANN, H., "Change Through Digitization—Value Creation in the Age of Industry 4.0", **Management of Permanent Change**, p. 23-45, 2015.

KAGERMANN, H., WAHLSTER, W. "Ten Years of Industrie 4.0", **Sci**, v. 4, n. 3, p. 26, 2022.

KANE, G., PALMER, D., PHILLIPS, A. N., *et al.* "Is Your Business Ready for a Digital Future?", **MIT Sloan Management Review**, v. 56, n. 4, p. 37–44, 2015. .

KAYIKCI, Y. "Sustainability impact of digitization in logistics", **Procedia manufacturing**, v. 21, p. 782–789, 2018. .

KHAN, M. A., SALAH, K. "IoT security: Review, blockchain solutions", **Future generation computer systems**, v. 82, p. 395–411, 2018. .

KIEL, D., ARNOLD, C., MÜLLER, J., *et al.* "Sustainable Industrial Value Creation: Benefits and Challenges of Industry 4.0", **International Journal of Innovation Management**, v. 21, p. 1740015, 2017. .

KIETZMANN, J., PITT, L., BERTHON, P. "Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing", **Business Horizons**, v. 58, n. 2, p. 209–215, 2017. .

KIM, S., KIM, S. "A multi-criteria approach toward discovering killer IoT application in Korea", **Technological Forecasting and Social Change**, v. 102, p. 143–155, 2016. .

KLÖTZER, C., PFLAUM, A. "Toward the Development of a Maturity Model for Digitalization within the Manufacturing Industry's Supply Chain". *Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, 4210-4219, Estados Unidos, 2017.

KUMAR, V., CHIBUZO, E., GARZA-REYES, J., *et al.* "The Impact of Supply Chain Integration on Performance: Evidence from the UK Food Sector", **Procedia Manufacturing**, v. 11, p. 814–821, 2017. .

LAAPER, S., FITZGERALD, J., QUASNEY, E., *et al.* **Using blockchain to drive supply chain innovation**. Deloitte Development LLC, Estados Unidos, 2017.

LEYH, C., BLEY, K., SCHÄFFER, T., *et al.* "SIMMI 4.0 - a maturity model for classifying the enterprise-wide it and software landscape focusing on Industry 4.0". 2016

Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), Polônia, 1297-1302, 2016.

LI, J., TAO, F., CHENG, Y., *et al.* "Big data in product lifecycle management", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 81, p. 667–684, 2015. .

LI, L., "China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0"". **Technological Forecasting and Social Change**, v. 135, p. 66–74, 2018.

LIEDTKE, G., MURILLO, D. "Assessment of policy strategies to develop intermodal services: The case of inland terminals in Germany", **Transport Policy**, v. 24, p. 168–178, 2012. .

LIU, X, CAO, J., YANG, Y., *et al.* "CPS-Based Smart Warehouse for Industry 4.0: A Survey of the Underlying Technologies", **Computers**, v. 7, n. 1, p. 13, 2018. .

LIU, X, LI, Q., LAI, I. K.-W. "A trust model for the adoption of cloud-based supply chain management systems: A conceptual framework". *2013 International Conference on Engineering, Management Science and Innovation (ICEMSI)*, 1-4, China, 2013

LIU, Y., WANG, H., WANG, J., *et al.* "Enterprise-Oriented IoT Name Service for Agricultural Product Supply Chain Management", **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 11, n. 8, p. 308165, 2015. .

LU, Y. "Cyber Physical System (CPS)-Based Industry 4.0: A Survey", **Journal of Industrial Integration and Management**, v. 2, n. 3, p. 1750014, 2017a. .

LU, Y. "Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues", **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1–10, 2017b. .

LU, Yang. "The blockchain: State-of-the-art and research challenges", **Journal of Industrial Information Integration**, v. 15, p. 80–90, 2019. .

LU, Yang, PAPAGIANNIDIS, S., ALAMANOS, E. "Internet of things: a systematic review of the business literature from the user and organizational perspectives", **Technological Forecasting and Social Change**, v. 136, p. 285–297, 2018. .

LUTHRA, S., MANGLA, S. "Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies", **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 168–179, 2018. .

MABKHOT, M. M., AL-AHMARI, A. M., SALAH, B., *et al.* "Requirements of the Smart Factory System: A Survey and Perspective", **Machines**, v. 6, n. 2, p. 23, 2018.

MACAULAY, J., KÜCKELHAUS, M., **Internet of Things in Logistics**. DHL Trend Research, Alemanha, 2015.

MAKHDOOM, I., ABOLHASAN, M., ABBAS, H., *et al.* "Blockchain's adoption in IoT: The challenges, and a way forward", **Journal of Network and Computer Applications**, v. 125, p. 251–279, 2019. .

MASTEIKA, I., CEPINSKIS, J. "Dynamic capabilities in supply chain management", **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 213, n. 1, p. 830–835, 2015. .

MEHMOOD, R., GRAHAM, G. "Big data logistics: a health-care transport capacity sharing model", **Procedia computer science**, v. 64, p. 1107–1114, 2015. .

MELNYK, L., KUBATKO, O., DEHTYAROVA, I., *et al.* "The effect of industrial revolutions on the transformation of social and economic systems", **Problems and Perspectives in Management**, v. 17, n. 4, p. 381–391, 2019. .

MOHAJAN, H. "The Second Industrial Revolution has Brought Modern Social and Economic Developments", **Journal of Social Sciences and Humanities**, v. 6, n. 1, p. 1–14, 2019. .

MORKUNAS, V., PASCHEN, J., BOON, E. "How blockchain technologies impact your business model", **Business Horizons**, v. 62, n. 3, p. 295–306, 2019. .

MUZAMMAL, M., QU, Q., NASRULIN, B. "Renovating blockchain with distributed databases: An open source system", **Future Generation Computer Systems**, v. 90, p. 105–117, 2019. .

NAGY, J., OLÁH, J., ERDEI, E., *et al.* "The role and impact of industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain-the case of Hungary", **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3491, 2018. .

NOBREGA, J., RAMPASSO, I., SANCHEZ-RODRIGUES, V., *et al.* "Logistics 4.0 in Brazil: Critical Analysis and Relationships with SDG 9 Targets", **Sustainability**, v. 13, n. 23, p. 13012, 2021. .

OLESKOW-SZLAPKA, J., LUBIŃSKI, P. "New Technology Trends and Solutions in Logistics and Their Impact on Processes", **DEStech Transactions on Social Science, Education and Human Science**, p. 408–413, 2017. .

OLEŚKÓW-SZŁAPKA, J., STACHOWIAK, A. "The Framework of Logistics 4.0 Maturity Model". *International Conference on Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance*, 771-781, Polônia, 2018.

OLIVEIRA, R., NOGUEZ, F., COSTA, C., *et al.* "SWTRACK: an intelligent model for cargo tracking based on off-the-shelf mobile devices", **Expert Systems with Applications**, v. 40, n. 6, p. 2023–2031, 2013. .

PILKINGTON, M., "Blockchain technology: principles and applications" In: Xavier Olleros, F., Zhegu, M., (eds), *Research Handbook on Digital Transformations*, p. 225-253, Inglaterra, Edward Elgar Publishing, 2016.

POPKOVA, E., RAGULINA, Y., BOGOVIZ, A., "Fundamental Differences of Transition to Industry 4.0 from Previous Industrial Revolutions". **Industry 4.0: Industrial Revolution of the 21st Century**, Studies in Systems, Decision and Control. Alemanha, Springer International Publishing, 2019. p. 21–29.

POSADA, J., TORO, C., BARANDIARAN, I., *et al.* "Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet", **IEEE computer graphics and applications**, v. 35, n. 2, p. 26–40, 2015. .

RAJKUMAR, R., LEE, I., SHA, L., *et al.* "Cyber-physical systems: The next computing revolution". *Design Automation Conference*, 731-736, Estados Unidos, 2010.

REIF, R., JACKSON, S., LIVERIS, A., **Advanced Manufacturing Partnership 2.0**. In: *Accelerating U.S. Advanced Manufacturing*, Estados Unidos, 2014.

RIFKIN, J. *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. 2. ed. Estados Unidos, Palgrave MacMillan, 2013.

ROBLEK, V., MEŠKO, M., KRAPEŽ, A. "A complex view of industry 4.0", **SAGE Open**, v. 6, n. 2, 2016. .

ROGERS, H., BARICZ, N., PAWAR, K. "3D printing services: classification, supply chain implications and research agenda", **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 46, n. 10, p. 886–907, 2016. .

RÖGLINGER, M., PÖPPELBUSS, J., BECKER, J. "Maturity models in business process management", **Business process management journal**, v. 18, n. 2, p. 328–346, 2012. .

ROJAS, R., RAUCH, E. "From a literature review to a conceptual framework of enablers for smart manufacturing control", **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 104, n. 1, p. 517–533, 2019. .

SALKIN, C., ONER, M., USTUNDAG, A., *et al.*, "A Conceptual Framework for Industry 4.0". **Industry 4.0: Managing The Digital Transformation**, Springer Series in Advanced Manufacturing. Estados Unidos, Springer, 2018. p. 3–23.

SCC (SUPPLY-CHAIN COUNCIL). Supply-Chain Operations Reference Model – SCOR. Versão 12.0. 2017.

SCHLECHTENDAHL, J., KEINERT, M., KRETSCHMER, F., *et al.* "Making existing production systems Industry 4.0-ready", **Production Engineering**, v. 9, p. 143–148, 2015. .

SCHROEACK, M., SHOCKLEY, R., SMART, J., *et al.*, **Analytics: the real-world use of big data**. IBM Global Business Services, Estados Unidos, 2012.

SCHUMACHER, A., EROL, S., SIHN, W. "A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises", **Procedia CIRP**, v. 52, p. 161–166, 2016. .

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. 1. ed. World Economic Forum, Edipro, 2018.

SHAFIQ, S., SANIN, C., SZCZERBICKI, E., *et al.* "Virtual Engineering Factory: Creating Experience Base for Industry 4.0", **Cybernetics and Systems**, v. 47, n. 1–2, p. 32–47, 2021. .

SHAMIM, S., CANG, S., YU, H., et al. "Management approaches for Industry 4.0: A human resource management perspective". *2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 5309-5316, Canadá, 2016.

SIEBENHÜNER, B., ARNOLD, M., EISENACK, K., et al. **Long-Term Governance for Social-Ecological Change**, 1 ed. Estados Unidos, Routledge, 2020.

SINGH, A., SINGH, K., SHARMA, N. "Agile in global software engineering: an exploratory experience", **International Journal of Agile Systems and Management**, v. 8, n. 1, p. 23–38, 2015. .

SINGH, R. P., JAVAID, M., HALEEM, A., et al. "Internet of things (IoT) applications to fight against COVID-19 pandemic", **Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews**, v. 14, n. 4, p. 521–524, 1 jul. 2020.

SJÖDIN, D. R., PARIDA, V., LEKSELL, M., et al. "Smart Factory Implementation and Process Innovation", **Research-Technology Management**, v. 61, n. 5, p. 22–31, 2018.

SON, H., LAM, K.-Y., CHEN, D., et al. "Online Mode Switch Algorithms for Maintaining Data Freshness in Dynamic Cyber-Physical Systems", **IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering**, v. 28, n. 3, p. 756–769, 2015. .

SPATH, D., GERLACH, S., HÄMMERLE, M., et al. "Cyber-physical system for self-organised and flexible labour utilisation", **Personnel**, v. 50, n. 22, 2013.

STEARNS, P. **The Industrial Revolution in World History**. 5. ed. Estados Unidos, Routledge, 2020.

STERNAD, M., LERHER, T., GAJŠEK, B. "MATURITY LEVELS FOR LOGISTICS 4.0 BASED ON NRW'S INDUSTRY 4.0 MATURITY MODEL", **Business Logistics in Modern Management**, v. 1, p. 695–708, 2018.

STOCK, T., SELIGER, G. "Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0", **procedia CIRP**, v. 40, p. 536–541, 2016. .

SUNG, T. "Industry 4.0: a Korea perspective", **Technological forecasting and social change**, v. 132, p. 40–45, 2018. .

SURI, K., CUCCURU, A., CADAVID, J., et al. "Model-based Development of Modular Complex Systems for Accomplishing System Integration for Industry 4.0". *5th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*, 487-495, 2017. Portugal, 2017.

SZÁSZ, L., BÁLINT, C., CSÍKI, O., et al. "The impact of COVID-19 on the evolution of online retail: The pandemic as a window of opportunity ", **Journal of Retailing and Consumer Services**, v. 69, p. 103089, 2022.

TAN, L., WANG, N. "Future internet: The Internet of Things". *2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, 376-380, China, 2010.

THAMES, L., SCHAEFER, D. "Software-defined Cloud Manufacturing for Industry 4.0", **Procedia CIRP**, v. 52, p. 12–17, 2016. .

THOBEN, K., WIESNER, S., WUEST, T. "'Industrie 4.0' and smart manufacturing-a review of research issues and application examples", **International Journal of Automation Technology**, v. 11, n. 1, p. 4–16, 2017. .

TIJAN, E., AKSENTIJEVIĆ, S., IVANIĆ, K., et al. "Blockchain Technology Implementation in Logistics", **Sustainability**, v. 11, n. 4, p. 1185, 2019. .

TREW, A. "Spatial takeoff in the first industrial revolution", **Review of Economic Dynamics**, v. 17, n. 4, p. 707–725, 2014. .

TU, M. "An exploratory study of Internet of Things (IoT) adoption intention in logistics and supply chain management - a mixed research approach", **The International Journal of Logistics Management**, v. 29, p. 131–151, 2018. .

TUPA, J., SIMOTA, J., STEINER, F. "Aspects of Risk Management Implementation for Industry 4.0", **Procedia manufacturing**, v. 11, p. 1223–1230, 2017. .

VASCONCELLOS, L., GOBO JR., P., RODRIGUES, F. "An Industry 4.0 Maturity Model Applied to the automotive supply chain", **Revista Gestão & Tecnologia**, v. 21, n. 4, p. 255–268, 2021.

VEMULA, R., ZSIFKOVITS, H. "Cloud Computing im Supply Chain Management", **BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte**, v. 161, p. 229–232, 2016. .

VERDOUW, C., WOLFERT, J., BEULENS, A. "Virtualization of food supply chain with internet of things", **Journal of Food Engineering**, v. 176, p. 128–136, 2015. .

VESSET, D., MORRIS, H., LITTLE, G., *et al.* **Worldwide Big Data Technology and Services 2012-2015 Forecast**. IDC: Consulté en ligne, 2014.

VIVARES, J., SARACHE, W., HURTADO, J. "A maturity assessment model for manufacturing systems", **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 29, n. 5, p. 746–767, 2018. .

WALLER, M., FAWCETT, S. "Data science, predictive analytics and big data: A revolution that will transform supply chain design and management", **Journal of Business Logistics**, v. 34, n. 2, p. 77–87, 2013. .

WAMBA, S., AKTER, S., EDWARDS, A., *et al.* "How 'big data' can make big impact: Findings from a systematic review and a longitudinal case study", **International Journal of Production Economics**, v. 165, p. 234–246, 2015. .

WANG, K. "Logistics 4.0 Solution-New Challenges and Opportunities". *6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation*, 68-74, Ingleterra, 2016.

WANG, L., TÖRNGREN, M., ONORI, M. "Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing", **Journal of Manufacturing Systems**, v. 37, n. 2, p. 517–527, 2015. .

WANG, S., WAN, J., LI, D., *et al.* "Implementing Smart Factory of Industry 4.0: An Outlook", **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 12, n. 1, p. 3159805, 2016. .

WANG, X., ZHA, X., NI, W., *et al.* "Survey on blockchain for internet of things", **Computer Communications**, v. 136, p. 10–29, 2019. .

WANG, Y., SINGGIH, M., WANG, J., *et al.* "Making sense of blockchain technology: How will it transform supply chains?", **International Journal of Production Economics**, v. 211, p. 221–236, 2019. .

WERNER-LEWANDOWSKA, K., KOSACKA-OLEJNIK, M. "Logistics 4.0 maturity model for service company–theoretical background", **Procedia Manufacturing**, v. 17, p. 791–802, 2018. .

WINKELHAUS, S., GROSSE, E. "Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system", **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 1, p. 18–43, 2020. .

WITKOWSKI, K. "Internet of things, big data, industry 4.0–innovative solutions in logistics and supply chains management", **Procedia Engineering**, v. 182, p. 763–769, 2017. .

XU, L, XU, E., LI, L. "Industry 4.0: State of the art and future trends", **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941–2962, 2018. .

XU, Li, HE, W., LI, S. "Internet of Things in Industries: A Survey", **IEEE Transactions on industrial informatics**, v. 10, n. 4, p. 2233–2243, 2014. .

ZANELLA, A., BUI, N., CASTELLANI, A., *et al.* "Internet of things for smart cities", **IEEE Internet of Things journal**, v. 1, n. 1, p. 22–32, 2014. .

ZHANG, Y., GUO, Z., LV, J., *et al.* "A Framework for Smart Production-Logistics Systems based on CPS and Industrial IoT", **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 14, n. 9, p. 4019–4032, 2018. .

ZHENG, Z., XIE, S., DAI, H., *et al.* "Blockchain challenges and opportunities: A survey", **International Journal of Web and Grid Services**, v. 14, n. 4, p. 352–375, 2018. .

ZHOU, K., LIU, T., ZHOU, L. "Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges". *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)*, 2147-2152, China, 2147–2152.