

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO - CTC  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS  
CURSO ENGENHARIA DE PRODUÇÃO CIVIL

Beatriz Lopes Siviero

**Indústria 4.0 na Logística: uma análise da implementação das tecnologias digitais nas  
empresas de Santa Catarina**

Florianópolis  
2021

Beatriz Lopes Siviero

**Indústria 4.0 na Logística: uma análise da implementação das tecnologias digitais nas empresas de Santa Catarina**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Produção Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Engenheira Civil com habilitação em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Carlos Manuel Taboada Rodriguez, Dr..

Coorientador: Karine Somensi

Florianópolis

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Siviero, Beatriz Lopes

Indústria 4.0 na Logística : Uma análise da implementação das tecnologias digitais nas empresas de Santa Catarina / Beatriz Lopes Siviero ; orientador, Carlos Manuel Taboada Rodríguez, coorientador, Karine Somensi, 2021.

85 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia de Produção Civil, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Engenharia de Produção Civil. 2. Logística 4.0. 3. Tecnologias. 4. Indicadores de Desempenho. I. Rodriguez, Carlos Manuel Taboada. II. Somensi, Karine. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de Produção Civil. IV. Título.

Beatriz Lopes Siviero

**Indústria 4.0 na Logística: uma análise da implementação das tecnologias digitais nas empresas de Santa Catarina**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Engenheira Civil habilitada em Produção” e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia de Produção Civil

Local, 16 de setembro de 2021.

---

Prof.<sup>a</sup> Mônica Maria Mendes Luna, Dr.  
Coordenadora do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof.(a) Carlos Manuel Taboada Rodriguez, Dr.(a)  
Orientador(a)  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.(a) Diego de Castro Fettermann, Dr.(a)  
Avaliador(a)  
Universidade Federal de Santa Catarina

---

Prof.(a) Nathan Peixoto Oliveira, Dr.(a)  
Avaliador(a)  
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus pais, que investiram na minha carreira e fazem parte dessa conquista.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Déborah e Rafael, por me incentivarem a lutar pelos meus objetivos e darem todo o suporte necessário para que eu pudesse chegar até aqui hoje. Toda a minha educação e os meus valores foram graças a eles. Ao meu irmão, Mateus, que sempre esteve ao meu lado me dando força nos momentos altos e baixos, compartilhou a vida comigo e me ensinou muito. E aos demais familiares que também me apoiaram e me incentivaram diariamente.

Aos amigos de Jardim e Campo Grande, que mesmo com a distância torceram e vibraram pelo meu sucesso. Aos amigos da graduação, que me acompanharam desde o início e compartilharam as alegrias e desafios diários que só a UFSC proporciona. Tantas pessoas conviveram comigo e me ensinaram muito nessa trajetória e a elas deixo o meu eterno agradecimento, o meu carinho e respeito profundo.

Um agradecimento especial a três nomes importantes que fizeram com que esse trabalho fosse desenvolvido e finalizado: Carlos Taboada, meu orientador e tutor da vida – obrigada pelo apoio e suporte sempre que precisei. Karine Somensi, minha coorientadora, que tirou vários dias (e noites) para me auxiliar na construção e na finalização do trabalho. E, por fim, ao professor Diego Fettermann, que contribuiu demais com a execução e também despendeu dias para ajudar no desenvolvimento deste TCC.

Por último, agradeço às entidades da graduação, lugares em que pude me desenvolver pessoal e profissionalmente. Em especial ao GELOG – Grupo de Estudos Logísticos – onde tive um crescimento absurdo e me proporcionou experiências que jamais esquecerei.

É com um misto de emoções que escrevo esse espaço - alegria, êxtase, medo e choro – encerrando esse ciclo com a certeza de que aproveitei ao máximo essa jornada. Obrigada, UFSC!



## RESUMO

As inovações tecnológicas estão surgindo e fomentando o crescimento das empresas, motivando-as a obter competitividade e entregar valor nos produtos e serviços. A logística está se desenvolvendo nesse processo, buscando cumprir o seu propósito de atender aos requisitos dos clientes através do planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente dos produtos. Em Santa Catarina, nota-se uma preocupação das empresas em implementar tecnologias digitais para melhorar a produção, mas ainda faltam estudos que mostrem o panorama atual da região. Dessa forma, este estudo busca realizar um diagnóstico do estágio atual das implementações das tecnologias da Indústria 4.0 na Logística no estado. Através do embasamento bibliográfico, foi aplicada uma *survey* visando investigar a relação proposta. Foram coletadas respostas de 53 empresas respondentes (desde indústrias, centros de distribuição, armazéns e operadores logísticos). Com o auxílio de técnicas de análise estatística, foi identificado o nível de implementação das tecnologias e o efeito da implementação destas nos indicadores logísticos, assim como o efeito das barreiras encontradas. Os resultados mostraram que ainda há um *gap* na adoção, sendo que a realidade aumentada e os sistemas cyber físicos foram as tecnologias menos implementadas. Já o armazenamento de dados em nuvem, integração de sistemas (ERP, WMS, TMS) e sistemas e dispositivos móveis mostraram-se mais aplicados no contexto logístico. O indicador de desempenho voltado para a qualidade do produto/serviço mostrou ser o mais utilizado pelas empresas, enquanto o nível de emissão de gases apresentou baixa adesão, refletindo pontos de melhoria. A correlação de Pearson exibiu alta associação entre as tecnologias de simulação e sistema cyber físico ( $\rho = 0,872$ ) e os indicadores de produtividade e segurança dos processos ( $\rho = 0,769$ ). Também foi possível identificar que os altos investimentos e a falta de clareza sobre os benefícios econômicos do investimento digital que as tecnologias proporcionam são impeditivos para a implementação. As barreiras que tratam sobre a falta de regulamentações legais para gerenciar crimes cibernéticos e roubo de dados obtiveram alta correlação ( $\rho = 0,941$ ). Por fim, o modelo de regressão linear ( $R^2 = 0,904$ ) sugeriu que as empresas que estão adotando as tecnologias analíticas são as que mais tiveram seus indicadores de desempenho logísticos impactados positivamente, especialmente nas indústrias de pequeno e médio porte.

**Palavras-chave:** Logística 4.0. Tecnologias. Indicadores de Desempenho.

## ABSTRACT

Technological innovations are emerging and fostering the development of companies, motivating them to increase their competitiveness and increase the value of their products and services. Logistics is developing in this process, seeking to fulfill its purpose of meeting customer requirements through the planning, implementation and control of the efficient flow of products. In Santa Catarina, companies are concerned about implementing digital technologies to improve production, but studies that show the current panorama of the region are still lacking. Thus, this study aims to diagnose the current stage of implementation of Industry 4.0 technologies in Logistics in Santa Catarina. Through bibliographical basis, a survey was applied to investigate the proposed relationship. Responses were collected from 53 responding companies (from industries, distribution centers, warehouses and logistics operators). With the aid of statistical analysis techniques, the level of implementation of technologies and the effect of their implementation on logistic indicators were identified, as well as the effect of the barriers found. The results showed that there is still a gap in adoption, with augmented reality and cyber-physical systems being the least implemented technologies. On the other hand, cloud data storage, systems integration (ERP, WMS, TMS) and mobile systems and devices proved to be more prevalent in the logistical context. The performance indicator focused on product/service quality proved to be the most used by companies, while the level of gas emissions showed low adherence, reflecting points of improvement. Pearson's correlation showed a high association between simulation technologies and cyber-physical system ( $\rho = 0.872$ ) and productivity and process safety indicators ( $\rho = 0.769$ ). It was also possible to identify that the high investments and the lack of clarity about the economic benefits of the digital investment that the technologies provide are impediments to the implementation. Barriers dealing with the lack of legal regulations to manage cybercrime and data theft had a high correlation ( $\rho = 0.941$ ). Finally, the linear regression model ( $R^2 = 0.904$ ) suggested that companies that are adopting analytical technologies are the ones that had their logistical performance indicators most positively impacted, especially in small and medium-sized industries.

**Keywords:** Logistics 4.0. Technologies. Performance indicators.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – História das Revoluções Industriais	22
Figura 2 – Elos da Cadeia de Suprimentos	25
Figura 3 – Etapas de transformação da Logística Empresarial	27
Figura 4 – Análises e Fórmulas aplicadas para os testes	32
Figura 5 – Enquadramento metodológico	37
Figura 6 – Fluxograma do método utilizado	39
Figura 7 – Objetivos e aplicações de cada análise estatística	45
Figura 8 – Perfil das empresas respondentes	47
Figura 9 – Segmentação de mercado das empresas respondentes	47
Figura 10 – Localização das empresas respondentes	48
Figura 11 – Interpretação dos valores do coeficiente de correlação de Pearson	52
Figura 12 – Classificação da confiabilidade do Alpha de Cronbach	58

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Estrutura do Trabalho	20
Quadro 2 – Definições da Indústria 4.0 e Logística 4.0	28
Quadro 3 – Pressupostos de um questionário utilizando Alpha de Cronbach	35
Quadro 4 – Porte das Empresas Respondentes	48
Quadro 5 – Critérios para realização da Análise Fatorial	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Seções principais do questionário	40
Tabela 2 – Tecnologias da indústria 4.0	41
Tabela 3 – Principais Barreiras da Literatura	42
Tabela 4 – Indicadores de Desempenho	43
Tabela 5 – Escalas utilizadas para o Questionário	44
Tabela 6 – Descritivo das variáveis por Nível de Implementação das Tecnologias	49
Tabela 7 – Descritivo das variáveis por Indicadores de Desempenho	50
Tabela 8 – Matriz de Correlação entre o Nível de Implementação das Tecnologias	52
Tabela 9 – Matriz de Correlação entre os Indicadores de Desempenho	54
Tabela 10 – Autovalores, KMO e Teste de Bartlett para Implementação das Tecnologias	56
Tabela 11 – Matriz de Componentes Rotacionada Nível de Implementação Tecnologias (Rotação Varimax)	56
Tabela 12 – Autovalores, KMO e Teste de Bartlett para os Indicadores de Desempenho	57
Tabela 13 – Matriz de Componentes Rotacionada Indicadores de Desempenho (Rotação Varimax)	58
Tabela 14 – Alpha de Cronbach para o Nível de Implementação das Tecnologias	59
Tabela 15 – Alpha de Cronbach para o Nível de Desempenho nos Indicadores	59
Tabela 16 – Modelo Regressão Linear Múltipla	60
Tabela 17 – Descritivo das variáveis por Barreiras	62
Tabela 18 – Autovalores, KMO e Teste de Bartlett para as barreiras	63
Tabela 19 – Matriz de Componentes Rotacionada para as Barreiras (Rotação Varimax)	64
Tabela 20 – CPs e Alpha de Cronbach para as barreiras	65



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

AF Análise Fatorial

AFE Análise Fatorial Exploratória

BNDES Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CSCMP *Council of Supply Chain Management Professionals*

FIESC Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IOT *Internet of Things*

KMO *Kaiser Meyer Olkin*

OLS *Ordinary Last Squared*

UFSC Universidade Federal de Santa Catarina

RFID *Radio Frequency Identification*

SC *Supply Chain*

SCM *Supply Chain Management*

SPSS *Statistics package for the social sciences*

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
1.2	OBJETIVOS.....	18
<b>1.2.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>18</b>
1.3	JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	19
1.4	LIMITAÇÕES DO TRABALHO .....	19
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	20
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>21</b>
2.1	INDÚSTRIA 4.0.....	21
2.2	LOGÍSTICA EMPRESARIAL .....	25
<b>2.2.1</b>	<b>Logística 4.0 .....</b>	<b>27</b>
2.3	CORRELAÇÃO DE PEARSON.....	29
2.4	ANÁLISE FATORIAL.....	30
<b>2.4.1</b>	<b>Extração dos fatores por componentes principais .....</b>	<b>31</b>
2.5	COEFICIENTE ALPHA DE CRONBACH .....	33
2.6	ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA.....	35
<b>3</b>	<b>MÉTODOS DA PESQUISA.....</b>	<b>37</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA .....	37
3.2	ETAPAS DA PESQUISA.....	38
<b>3.2.1</b>	<b>Análise Bibliográfica.....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.2</b>	<b>Estruturação do Formulário .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2.3</b>	<b>Coleta de Dados .....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.4</b>	<b>Procedimento de Análise dos Dados.....</b>	<b>45</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>47</b>
4.1	DESCRITIVO DA AMOSTRA .....	47
4.2	DESCRITIVO DAS VARIÁVEIS.....	49

4.3	VALIDAÇÃO DOS CONSTRUTOS .....	52
4.3.1	<b>Análise de Correlação</b> .....	<b>52</b>
4.3.2	<b>Análise Fatorial</b> .....	<b>55</b>
4.3.3	<b>Alpha de Cronbach</b> .....	<b>58</b>
4.4	REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA .....	59
4.5	ANÁLISE DAS BARREIRAS .....	61
5	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>66</b>
5.1	SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS .....	68
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>69</b>
	<b>APÊNDICE A – Questionário enviado para as empresas</b> .....	<b>81</b>
	<b>APÊNDICE B – Nomenclatura utilizada para as variáveis</b> .....	<b>82</b>
	<b>APÊNDICE C – Correlação de Pearson para as Barreiras</b> .....	<b>84</b>
	<b>APÊNDICE D – Comentários abertos do questionário</b> .....	<b>85</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A busca por eficiência nos processos e melhor atendimento da demanda dos clientes tornou-se imprescindível para as empresas. Mudanças são necessárias dentro do contexto organizacional e para toda a cadeia envolvida. Dentro desse cenário, entra em pauta o uso de novas tecnologias de informação e comunicação como forma de manter a competitividade das operações, principalmente na produção e na logística.

As condições de trabalho estão mudando e novos termos estão surgindo. Indústria 4.0 e Logística 4.0 são tendências que estão revolucionando as condições de trabalho, processos e modelos de negócios - sendo vinculadas com a digitalização, virtualização, redes e dados e informações (GLISTAU; COELLO; 2018). O termo Indústria 4.0 está relacionado com a quarta revolução industrial e teve sua origem em 2011, caracterizando o potencial de atingir indústrias e transformar toda a relação de criação, desenvolvimento, entrega e pagamento que envolve o produto (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Já a Logística 4.0 reflete a aplicação de tecnologias da Indústria 4.0 na logística - que é responsável pela gestão do fluxo de pessoas e processos entre a origem e o ponto final de entrega. Essa transformação digital interliga as informações de diversos elos da cadeia trazendo um olhar estratégico para a área, dando embasamento para que as tomadas de decisão sejam assertivas e rápidas (ILOS, 2020).

Os benefícios trazidos pela adoção destas tecnologias já são amplamente reconhecidos. De acordo com um mapeamento realizado pela Softtek, uma das maiores empresas latino-americanas de TI do mundo, as principais vantagens do uso da Logística 4.0 são a resiliência e o aprendizado contínuos, a melhora na velocidade de resposta e o controle da operação, gerando por consequência um aumento nas vendas e na receita das empresas.

Entretanto, no Brasil, essa tendência de digitalização está se mostrando um desafio. Segundo pesquisa apresentada pela KPMG a respeito do impacto da COVID-19 na digitalização das empresas, cerca de 53% dos respondentes afirmaram que vão investir em tecnologias visando a digitalização dos processos, enquanto no restante do mundo o número é de 67%. Isso revela que a prioridade na transformação digital segue uma estratégia diferente em relação aos demais países.

Apesar do tema não ser tão forte em nível nacional, Santa Catarina se destaca dada a sua projeção em termos de startups e empresas tecnológicas, sendo o quarto maior estado em quantidade de empresas e o quinto maior em números de trabalhadores empregados no setor (Federação das Indústrias do Estado de Santa Catarina, 2019). Seu ecossistema criativo torna o estado uma grande referência, uma vez que conta com diversas empresas de grande expansão tecnológica e acadêmica (SIEWERT, 2021).

Sendo assim, buscando o aprofundamento do assunto e entendimento do panorama atual, esse trabalho visa analisar a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 dentro da logística em empresas do estado de Santa Catarina. Para isso, o trabalho aborda os principais desafios, ilustra as tendências atuais e aponta os principais efeitos da utilização ou não dessas tecnologias nas operações logísticas.

## 1.2 OBJETIVOS

Nas seções abaixo estão descritos o objetivo geral e os objetivos específicos deste trabalho.

### 1.2.1 Objetivo Geral

Realizar um diagnóstico do estágio atual das implementações das tecnologias da Indústria 4.0 na Logística em Santa Catarina.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar o nível de implementação das tecnologias da Indústria 4.0 que estão sendo aplicadas nas empresas;
- Identificar o efeito das principais barreiras na implementação das tecnologias digitais nas empresas de Santa Catarina;
- Identificar o efeito da implementação das tecnologias 4.0 no desempenho logístico das empresas de Santa Catarina.

### 1.3 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A velocidade com que as inovações tecnológicas surgem e fomentam o crescimento das empresas é de extrema importância para a obtenção de competitividade diante do mercado de trabalho. A globalização aumentou a exigência por produtos e serviços que entreguem valor, sendo fundamentais nesse processo de desenvolvimento, principalmente na área da logística (CARMONA, 2017). Para Arnold *et al.* (2017), a utilização de ferramentas eficientes para o desenvolvimento de soluções traz auxílio aos desafios enfrentados pelas companhias, tais como a volatilidade de demandas do mercado, redução no ciclo de vida dos produtos e aumento da complexidade dos processos e produtos.

Dentro desse processo, a introdução de tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil possui muito espaço para crescimento. De acordo com uma pesquisa realizada pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), a adoção dessas tecnologias era de 1,9% em 2019 e irá atingir 21,8% até 2027. Sendo assim, as empresas precisam executar estratégias para apoiar esse desempenho.

Em Santa Catarina, nota-se um destaque na produtividade do estado em comparação com os demais. Dados da FIESC de 2021 mostram a expansão da produção industrial - que aumentou 36,5% em relação a março de 2020 - enquanto no Brasil o crescimento foi de 10,5% no mesmo período. Isso deve-se ao fato de as empresas da região estarem investindo em tecnologias da indústria 4.0 para melhorar a produção, mas de forma gradual (FIESC, 2021).

Apesar do crescimento, não foram encontrados estudos que mostram o panorama atual das tecnologias implementadas e das barreiras existentes no estado. Para auxiliar nesse processo de identificação, a pesquisa aplicada neste trabalho gera uma análise entre o uso das tecnologias 4.0 e os indicadores de desempenho das empresas. Sendo assim, o trabalho visa identificar o estágio da implementação e os pontos de melhoria por meio da correlação das variáveis, possibilitando, assim, identificar os fatores que mais influenciam na implementação de tecnologias e a geração de resultados positivos.

### 1.4 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Para atingir os objetivos de pesquisa de trabalho, foram analisadas as empresas respondentes dentro das áreas de atuação: indústrias, operadores logísticos, centros de

distribuição e armazéns. A escolha entre os tipos de empresas buscou dar mais abrangência para a pesquisa e, dessa forma, as áreas de atuação da logística não foram restringidas.

A construção deste questionário foi realizada através de análise de artigos para elencar as tecnologias mais predominantes da Logística 4.0. Foram examinados também artigos sobre barreiras de implementação das tecnologias em áreas relacionadas à logística.

Por fim, tendo em vista os objetivos delineados para o escopo desta pesquisa, é importante ressaltar que o foco foi em práticas de Santa Catarina, não abrangendo outras regiões para que o estudo fosse mais aprofundado. Sendo assim, o escopo do trabalho é limitado pelas informações disponibilizadas pela amostra que será utilizada no questionário, seja em aspectos quantitativos e geográficos.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho será composta por quatro seções que irão fundamentar o desenvolvimento da pesquisa, apresentados no quadro 1.

Quadro 1 - Estrutura do Trabalho

<b>Seção</b>	<b>Descrição</b>
<b>1</b>	Introdução, apresentação do tema, contextualização da pesquisa e do problema, objetivo geral e específicos, justificativas, limitações e referencial teórico sobre os temas abordados.
<b>2</b>	Metodologia de pesquisa, caracterização e etapas
<b>3</b>	Desenvolvimento, análise da coleta de dados do questionário e aplicação das análises estatísticas.
<b>4</b>	Conclusões, considerações finais e direcionamento para pesquisas futuras.

Fonte: Autoria Própria

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção encontram-se os assuntos de maior relevância para facilitar o entendimento do trabalho proposto. Em primeiro momento, serão abordados os conceitos que visam explicar sobre a origem da Indústria 4.0 e suas tecnologias, além de detalhar mais sobre Logística 4.0. Para entendimento das análises estatísticas, serão explicados os conceitos de Correlação de Pearson, Análise fatorial Exploratória com extração por componentes principais, Coeficiente Alpha de Cronbach e Análise de Regressão linear.

### 2.1 INDÚSTRIA 4.0

Indústria 4.0 é um conceito originado da Alemanha que trata sobre a evolução existente nas fábricas buscando atingir objetivos de desempenho ou melhorias nos processos. O termo é proveniente de uma sequência de mudanças no paradigma da produção, definidas como Revoluções Industriais (LASI *et al.*, 2014). Essas, somadas aos avanços tecnológicos, fizeram surgir a Indústria 4.0 ou a quarta Revolução Industrial (BOETTCHER, 2015).

A primeira Revolução Industrial, ocorrida em meados de 1785, foi caracterizada como uma impulsionadora na mecanização dos processos de produção em fábricas (DRATH; HORCH, 2014). Seu principal marco foi a descoberta do carvão como uma fonte de energia e a descoberta da máquina a vapor e a locomotiva (VENTURELLI, 2017). Posteriormente, surgiu a segunda Revolução Industrial, momento em que os meios de transporte surgiram e foram modernizados, junto ao avanço e desenvolvimento da indústria química, da eletricidade, da transformação do ferro em aço, assim como outros setores. A ampliação da produção e a especialização do trabalho foram características dessa transformação (SILVA; GASPARIN, 2013). Já a Terceira Revolução Industrial, surgida no final da década de 1960, é definida pela automatização da manufatura com a apresentação do primeiro controlador lógico programável, além do modo de produção flexível (DRATH; HORCH, 2014).

A quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0, iniciada na Feira de *Hannover* em 2011, também pode ser reconhecida por outras denominações, tais como “fábricas inteligentes”, “indústrias inteligentes” ou até mesmo “produção avançada” (DE FREITAS, 2016). É definida como a soma de todas as inovações disruptivas e implementadas em uma cadeia de valor, abordando diversas tendências como: digitalização, automatização, transparência, dentre outros

(PFOHL *et al.*, 2017). É considerada sob diversos níveis, desde processo, tecnologia ou gestão da cadeia de abastecimento (HOFMANN; RÜSCH, 2017).

Para Henning (2013), seu foco maior está nas tecnologias digitais, que modificam a produção, os serviços e os produtos por meio de processos mais eficientes. Essas modificações consistem em rápidas alterações em todos os elos da cadeia, desde fornecedores, plantas, distribuidores e produtos, gerando uma conexão digital e provendo uma cadeia de valor altamente integrada (DE FREITAS, 2016).

Schwab (2016) afirma que um dos benefícios da Indústria 4.0 é a geração de oportunidades de integração da economia global através da redução de custos, da orientação de novos modelos de negócios e da conectividade. Sendo assim, a Indústria 4.0 é capaz de criar demandas adicionais para serviços e produtos existentes. Sua atuação engloba diversas operações, desde suporte aos processos de produção até informações em tempo real para as pessoas, desenvolvendo cada vez mais os sistemas de distribuição de informações (SIPSAS *et al.*, 2016).

Figura 1 – História das Revoluções Industriais



Fonte: Adaptado de Szozda (2017, p.2)

Existem diversas tecnologias emergentes que estão ganhando destaque dentro da Indústria 4.0. Elas refletem diversas modificações nos modelos de negócio, combinando tecnologias da internet e trazendo digitalização para as fábricas (DRATH; HORCH, 2014). Não existe um consenso de todas as tecnologias que definem a Indústria 4.0, contudo, há nove

avanços tecnológicos fundamentais que regem a transformação e evolução das tecnologias da manufatura inteligente (RÜßMANN; LORENZ; GERBERT; WALDNER *et al.*, 2015).

- *Big Data and Analytics*: A tecnologia *Big Data* surgiu nos países desenvolvidos e está relacionada com grandes conjuntos de dados, buscando aperfeiçoar a qualidade da produção. Ela atua como um suporte na tomada de decisões em tempo real e avalia dados de muitas fontes de equipamentos distintos, sistemas de produção, sistemas de gestão empresarial e de clientes (RÜßMANN; LORENZ; GERBERT; WALDNER *et al.*, 2015). É caracterizada por três elementos básicos: volume, variedade e velocidade. O volume diz respeito à quantidade de dados gerada diariamente, dada a sua alta quantidade produzida atualmente. A variedade é mostrada como uma solução de análise de grandes volumes de dados considerando todos os tipos de formatos, já que, atualmente, são gerados muitas bases complexas e em multiplicidade. Por fim, a velocidade leva em consideração a rapidez com que as informações são geradas, segundo certo volume e dimensão de variedade (ZIKOPOULOS *et al.*, 2015).
- Robôs autônomos: Os robôs autônomos são como máquinas inteligentes capazes de executar tarefas de forma independente, sem controle humano explícito (BEKEY, 2005). Com capacidade de se comunicar entre si e trabalhar com humanos de forma segura, os robôs estão se tornando cada vez mais autônomos, independentes e cooperativos (RÜßMANN; LORENZ; GERBERT; WALDNER *et al.*, 2015; WANG; WAN; LI; ZHANG, 2016).
- Simulação: É definida como a imitação da operação de um processo ou sistema da vida real ao longo do tempo. Seu uso é essencial para garantir a qualidade e eficiência no desenvolvimento de produtos, pois permite que dados em tempo real sejam utilizados para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos. A demanda por produtos com mais qualidade exigiu técnicas de simulação e modelagem, permitindo a flexibilidade e a rápida inovação de produtos (BRETTEL *et al.*, 2017).
- Sistemas integrados: Com os sistemas de tecnologia da informação cada vez mais integrados na Indústria 4.0, os dados evoluem em formato de redes e permitem cadeias de valor verdadeiramente automatizadas (RÜßMANN;

LORENZ; GERBERT; WALDNER *et al.*, 2015). Seu objetivo é gerenciar o fluxo de bens e informações dentro da cadeia de valor, gerando uma interligação entre a indústria e os processos de produção (BRETTEL *et al.*, 2017).

- Internet das coisas (*Industrial Internet of Things*): A Internet das Coisas é uma extensão da Internet atual, proporcionando capacidade computacional e de comunicação aos objetos de se conectarem à Internet (SANTOS *et al.*, 2016). Permite uma rápida geração de dados, contribuindo com o fluxo de informações dentro de uma organização (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018; RAO; PRASAD, 2018).
- Segurança Cibernética (*Cybersecurity*): O aumento da conectividade faz com que a Indústria 4.0 precise proteger sistemas e linhas de fabricação contra as ameaças de segurança cibernética. Dessa forma, a Segurança Cibernética envolve a segurança e confiabilidade na comunicação através de gerenciamento de máquinas e usuários, mediante firmas atreladas por parcerias ou aquisições (RÜßMANN; LORENZ; GERBERT; WALDNER *et al.*, 2015).
- Computação em nuvem (*Cloud Computing*): Sua importância para a indústria 4.0 está ligada com a prestação de serviços que pode ser acessada globalmente através da Internet assim como com a capacidade de produção em escala (SCHMIDT *et al.* 2015). Para o âmbito da Indústria 4.0, a própria nuvem é implementada na Internet das Coisas e dos Serviços (STOCK; SELIGER, 2016).
- Manufatura Aditiva ou Impressão 3D (*Additive Manufacturing*): A Manufatura Aditiva é vista como uma conversão direta de dados CAD 3D em objetos físicos através de uma técnica automatizada que utiliza uma série de abordagens (GIBSON *et al.* 2010). Possui diversas aplicações que envolvem desde a produção de protótipos, maquetes, peças de substituição, coroas dentárias, membros artificiais e até mesmo pontes (CHEN; LIN, 2017). Por meio do uso dessa tecnologia inserida há uma melhora da logística, pois o produto pode ser fabricado a partir do momento em que o pedido é gerado, reduzindo seus estoques e agilizando a produção (SANTOS *et al.*, 2018).
- Realidade aumentada (*Augmented reality*): A Realidade Aumentada pode trazer mais embasamento para a tomada de decisões através da incorporação de novas

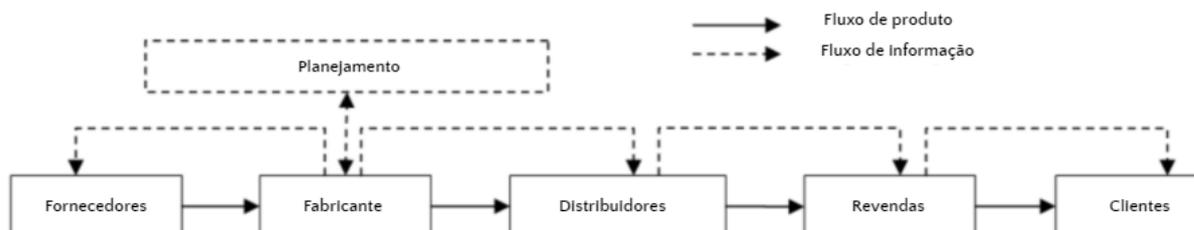
interfaces homem-máquina. Com ela, é possível fazer a exibição de KPIs (*Key Performance Indicators*), a fabricação de aplicações e dar feedbacks em tempo real sobre os processos de fabricação (GORECKY, 2014). Os operadores podem aprender a interagir com máquinas controlando operações remotamente através de um mundo virtual (RÜßMANN; LORENZ; GERBERT; WALDNER *et al.*, 2015).

## 2.2 LOGÍSTICA EMPRESARIAL

Um dos grandes desafios das empresas é garantir que os produtos e serviços sejam entregues para o consumidor final atendendo a todos os critérios exigidos. A rapidez e a flexibilidade para o atendimento da demanda são cada vez mais necessárias. Um dos setores responsáveis por realizar a conexão dessas atividades é a cadeia de suprimentos, integrando processos e empresas com o objetivo de servir produtos e serviços para o consumidor.

Para definir a logística, faz-se necessário o entendimento da cadeia de suprimentos. Para Simchi-Levi (2013), “a cadeia de suprimentos gira em torno da integração eficiente entre fornecedores, fabricantes, depósitos e lojistas, englobando as atividades de uma empresa em diversos níveis, desde o estratégico até o tático e operacional.” Sua gestão é utilizada para interligar todos os elos da cadeia, integrando os processos de logística de entrada e saída, desde fornecedores, transportadoras, empresas terceirizadas e os sistemas de informação. Pode incluir departamentos dentro de uma organização e parceiros externos (LUMMUS; KRUMWIEDE; VORURKA, 2001). A figura 2 mostra os elos envolvidos dentro da cadeia de suprimentos.

Figura 2 – Elos da Cadeia de Suprimentos



Fonte: Adaptado de Szozda (2017, p.9)

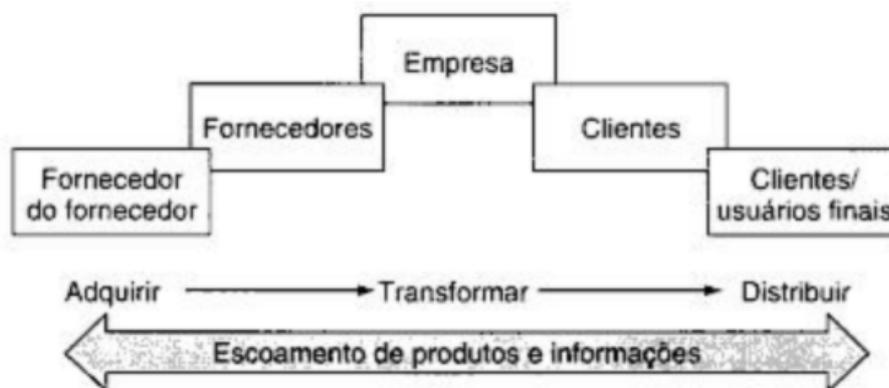
Dentro dessa rede está o setor de logística empresarial, associada com toda a produção e distribuição dos produtos (DE FREITAS, 2016). Ballou (2009), também conhecido como o pai da logística, a define como sendo a parte mais concreta da rede de suprimentos, pois nela é possível visualizar todos os processos que podem ser otimizados de maneira a adequar a produção e a demanda. Suas atividades essenciais que visam facilitar o fluxo de produtos são: planejamento, organização e controle das atividades de movimentação - desde o recebimento, movimentação interna ou expedição. Trata-se da criação de valor para os clientes, fornecedores e aos que possuem ligação direta com a cadeia (BALLOU, 2009).

Segundo Christopher (2016), a logística é vista de forma estratégica, pois envolve todo o processo de aquisição, movimentação, armazenagem e expedição de materiais dentro da empresa através dos canais de comercialização, visando atingir o melhor custo-benefício possível. Para o conselho de Profissionais de Gestão da Cadeia de Suprimentos, a logística é definida como:

“A parte da gestão da cadeia de suprimentos que planeja, implementa e controla o fluxo eficiente e efetivo e reverte o fluxo e o armazenamento de mercadorias, serviços e informações relacionadas entre o ponto de origem e o ponto de consumo para atender aos requisitos dos clientes (CSCMP, 2018, p. 1)”.

A logística integra toda a rede de instalações através dos estoques, transportes, processamento de pedidos e a combinação de armazenamento, manuseio de materiais e embalagem. Seu papel é de extrema importância como o condutor principal de produtos e serviços através da cadeia de suprimentos (BOWERSOX *et al.*, 2014). Para Ballou (2009), trata-se de um conceito inovador na cadeia de suprimentos, uma vez que trabalha com o gerenciamento coordenado das atividades, conforme apresentado na figura 3.

Figura 3 – Etapas de transformação da Logística Empresarial



Fonte: Ballou (2009, p.34)

Para garantir que a logística seja bem estruturada, planejada e controlada, é fundamental que avaliações sejam feitas buscando utilizar seus recursos de maneira competente (TAVARES, 2018). Essa mensuração pode ser realizada através de indicadores de desempenho, cujo objetivo é dar maior confiabilidade para a tomada de decisão por meio de dados, fatos e informações quantitativas. Para Chow (1994), a avaliação do desempenho da logística é multidimensional e envolve vários aspectos. Bowersox *et al.*, (2014) afirmam que os três objetivos principais do desenvolvimento e da implantação de sistemas de avaliação de desempenho são monitorar, controlar e direcionar as operações logísticas.

### 2.2.1 Logística 4.0

A área da logística está em constante transformação. Devido à falta de assertividade nas informações e as mudanças repentinas na demanda, muitas vezes as cadeias de suprimentos tradicionais são afetadas e incapazes de lidar com os desafios exigidos (SIMCHI-LEVI *et al.* 2013). O armazenamento, transporte, distribuição e manuseio de materiais, elementos-chave da logística, tiveram que passar por transformações tecnológicas buscando seu desenvolvimento e eficiência (HORENBERG, 2017). Esses avanços foram fundamentais para fomentar diversas oportunidades de melhoria nas indústrias de manufatura através da digitalização e da automação, potencializando ainda mais a logística 4.0 (STRANDHAGEN *et al.*, 2017).

Dessa forma, a logística 4.0 traz a implementação das tecnologias da indústria 4.0 dentro da logística através da automação dos processos ligados à área. O conceito está atrelado aos

avanços da inteligência artificial na indústria, agregando a logística do conhecimento com a indústria 4.0 (MARIANO *et al*, 2016).

Para Domingo Galindo (2016), logística 4.0 ou logística inteligente é um sistema que usufrui das mudanças proporcionadas pela indústria 4.0 para garantir maior flexibilidade e satisfação para o cliente, adaptando as atividades logísticas e otimizando-as. Dentre as diversas definições de logística 4.0 na literatura, todos os estudos estão alinhados sobre as características de “desenvolvimentos tecnológicos e processos autônomos” (DIWAN, 2016).

A definição desse novo modelo industrial compreende a relação de suas tecnologias como uma forma de descrever a tendência da digitalização, automação e integração do ambiente de manufatura em todas as fases da cadeia de valor (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Essa transformação exige esforços científicos que busquem orientar os profissionais no novo desafio que vem surgindo, além de trazer novas perspectivas sobre os processos (TEN HOMPEL; KERNER, 2015).

Com as inovações e modernizações propostas pela Indústria e Logística 4.0, é possível perceber um aumento relevante em termos de qualidade nos produtos e serviços prestados, refletindo em satisfação para os clientes. Essa evolução pode ser exemplificada de diversas formas, como prazos de entrega mais reduzidos, informações atualizadas dos pedidos, redução de erros de processamento e conseqüente aumento da competitividade (RODIC, 2017). No quadro 2, são mostrados os teores conceituais por trás do ambiente 4.0.

Quadro 2 – Definições da Indústria 4.0 e Logística 4.0

<b>Indústria 4.0</b>	<b>Logística 4.0</b>
<p>Indústria 4.0 é uma filosofia que integra todas as funções de valor por meio da cadeia de suprimentos usando a digitalização (RODIC, 2017). Os componentes-chave da Indústria 4.0 são (Roblek <i>et al</i>, 2016):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Sistemas Cyber Físicos</li> <li>● Internet das Coisas (IoT)</li> <li>● Internet de Serviços (IoS)</li> <li>● Fábrica Inteligente</li> </ul>	<p>Logística 4.0 pode ser definida como o aperfeiçoamento de uma logística tradicional, que tem como proposta a necessidade de investimentos tecnológicos (MARIANO <i>et al</i>, 2016). Componentes técnicos (WANG, 2016) e elementos-chave (SHARMA, 2021) da Logística 4.0 são:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Identificação automática</li> <li>● Localização em tempo real</li> <li>● Sensoriamento inteligente</li> <li>● Análise de dados e Digitalização</li> <li>● Internet de serviços empresariais</li> <li>● Automação e Modularização</li> <li>● Transporte e distribuição</li> </ul>

Fonte: Adaptado de Yavas *et al*. (2020, p.5)

A implementação de tecnologias nas fábricas reformula toda a relação de clientes com fornecedores, tornando-as mais abertas. Futuramente, estas virão a mudar a relação entre cliente e empresa, deixando-a mais próxima, profunda e com mais eficiência. Tendo em vista que o olhar sob a logística 4.0 é voltado para a estratégia organizacional, seus maiores propósitos estão voltados para reduzir custos, eliminar desperdícios, modernizar e trazer excelência da gestão (DELOITTE, 2018). Strandhagen (2017) afirma que o desenvolvimento da Indústria 4.0 na logística podem se dar de diversas maneiras trazendo diversas melhorias, dentre elas a sustentabilidade, eficiência, rastreabilidade, capacidade de resposta aos clientes e os próprios elementos de um negócio.

Entretanto, essa implementação é um processo complexo e muitas empresas em diferentes países estão enfrentando problemas relacionados às barreiras da indústria 4.0 (LUTHRA; MANGLA, 2018, DALENOGARE *et al.*, 2018). Para garantir que a inserção tecnológica seja possível, é necessário pensar em como driblar as barreiras impostas pela digitalização. O estudo de Kamble *et al.* (2018) afirma que há necessidade de identificar as barreiras e sua relação buscando ajudar na elaboração de uma estratégia de mitigação, levando a uma adoção mais suave.

### 2.3 CORRELAÇÃO DE PEARSON

Uma correlação pode ser entendida como a medida entre duas ou mais variáveis que se associam. Quando o estudo envolve a associação entre duas variáveis, a correlação é denominada simples. Quando envolve mais variáveis, pode ser considerada múltipla (HONGYU, 2018). O método mais utilizado na literatura para medir a correlação entre duas variáveis é o coeficiente de correlação linear de Pearson. Esse coeficiente é um número entre -1 e 1 que expressa o grau de dependência linear entre duas variáveis quantitativas. O seu sinal indica se há uma relação positiva ou negativa entre as variáveis analisadas e o valor será a sua magnitude (LIDIANE, 2018). Para determinação do cálculo desse coeficiente, é utilizada a fórmula a seguir.

$$\rho = \sum_{i=0}^n \left( \frac{x_i - \mu_x}{\sigma_x} \right) \times \left( \frac{y_i - \mu_y}{\sigma_y} \right)$$

Fonte: Mitestainer (2018, p.35)

Onde as parcelas da equação significam:

$\rho$  = Coeficiente de Correlação de Pearson;

$x_i$  = Valor da amostra da variável x;

$y_i$  = Valor da amostra da variável y;

$\mu_x$  = Média populacional de  $x_i$ ;

$\mu_y$  = Média populacional de  $y_i$ ;

$\sigma_x$  = Desvio padrão da amostra da variável x;

$\sigma_y$  = Desvio padrão da amostra da variável y.

## 2.4 ANÁLISE FATORIAL

A análise fatorial é uma das técnicas multivariadas cujo propósito é a análise de dados de um grande conjunto de fatores de forma quantitativa. Também denominada AF ou “*Factor Analysis*”, é a técnica principal e mais antiga, tendo sua criação por Sperman e Pearson no início do século 20 através de um primeiro método que estimava um único fator (HONGYU, 2018). Johnson *et al.* (2008) afirmam que seu objetivo principal é escrever o grau de interdependência entre as variáveis através de fatores, ou seja, um número menor de variáveis aleatórias subjacentes, mas não observáveis. Rencher (2003) também ratifica que sua finalidade é descrever a variação de um grupo de variáveis como combinação linear de um grupo menor sem ocorrer uma perda significativa de informações.

Dentro da análise fatorial existe a análise fatorial exploratória (AFE), que analisa as correlações entre as variáveis agrupando-as em fatores. Esse agrupamento permite a redução de dados através da criação de novas variáveis ou da identificação de variáveis mais representativas (HAIR JR *et al.*, 2017).

As equações do modelo genérico da análise de fatores pode ser expressa conforme abaixo:

$$\begin{aligned}
y_1 - u_1 &= \lambda_{11}f_1 + \lambda_{12}f_2 + \dots + \lambda_{1m}f_m + \varepsilon_1 \\
y_2 - u_2 &= \lambda_{21}f_1 + \lambda_{22}f_2 + \dots + \lambda_{2m}f_m + \varepsilon_2 \\
&\vdots \\
y_p - u_p &= \lambda_{p1}f_1 + \lambda_{p2}f_2 + \dots + \lambda_{pm}f_m + \varepsilon_p
\end{aligned} \tag{1}$$

Em que as condições são:

- $p$  é o número de variáveis ( $y_1, y_2, \dots, y_p$ ) de uma população com média  $\mu$  e matriz de covariância  $\Sigma$  (RENCHEER, 2003).
- as variáveis são expressadas como sendo linearmente dependentes de algumas variáveis não observáveis ( $f_1, f_2, \dots, f_m$ ) denominadas de fatores comuns e de  $p$  valores observados ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_p$ ) denominadas de erros ou fatores específicos (RENCHEER, 2003).
- Os coeficientes  $\lambda_{ij}$  são as cargas dos fatores para o  $i$ -ésimo teste, representando o peso da variável  $i$  no fator  $j$  (RENCHEER, 2003).

Existem algumas suposições encontradas e que precisam ser consideradas dentro do modelo da análise fatorial. São elas: 1) desvios na normalidade e na linearidade podem reduzir as correlações observadas entre as variáveis e prejudicar a solução; 2) para justificar a análise fatorial, a matriz de correlações deve apresentar valores altos e significativos e 3) o tamanho da amostra deve ser de no mínimo de 5 observações por variável, sendo recomendado pelo menos 10 observações por variável analisada (FIGUEIREDO FILHO e SILVA JÚNIOR, 2010).

#### 2.4.1 Extração dos fatores por Componentes Principais

A primeira etapa para que a utilização da análise fatorial seja apropriada é a adequação dos valores. São realizados os seguintes passos: análise da matriz de correlações, apuração da estatística de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e do Teste de Esfericidade de Bartlett. Para a primeira análise, a matriz de correlação verifica se existem valores significativos para a utilização da técnica. Uma vez que as correlações estejam baixas, não se justifica o seu uso. Esta deve apresentar a maior parte dos coeficientes maiores que 0,30, sendo que os valores abaixo disso indicam baixa aderência do método (HAIR JR *et al.*, 2017).

Posteriormente, entra em questão o teste de esfericidade de Bartlett e o teste KMO, buscando avaliar as inter-relações entre as variáveis. O primeiro verifica a hipótese sobre a matriz de correlações ser igual a matriz identidade com determinante igual a 1, analisando a redundância entre as variáveis originais. Caso a matriz seja igual, as relações são iguais a 0 e a análise fatorial precisa ser reconsiderada. Deve ser estatisticamente significativa com  $p < 0,05$ . Já o KMO compara as correlações simples com as parciais e seus valores variam entre 0 e 1, sendo que os mais próximos a 0 indicam baixa adequação, por existir fraca correlação entre as variáveis (FÁVERO; BELFIORE, 2017).

Figura 4 – Análises e Fórmulas aplicadas para os testes

Teste de esfericidade de Bartlett	Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)
$\begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}$	$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} a_{ij}^2}$ <p><math>r_{ij}</math> = coeficiente de correlação entre variáveis  <math>a_{ij}</math> = coeficiente de correlação parcial</p>

Fonte: Adaptado de Fávero; Belfiore (2017, p.5)

A extração fatorial é o próximo passo após a adequação dos dados. Segundo Damásio (2012), existem diversos métodos e critérios de retenção fatorial. Dentre eles, pode-se citar: Máxima Verossimilhança, Eixos Principais fatoriais, Componentes Principais, Mínimos Quadrados Generalizados, Mínimos Quadrados Não Ponderados e Fatoração Alfa. Os mais recomendados em caso de distribuição normal e não normal são os métodos de componente principal e máxima verossimilhança, visto que fornecem os melhores resultados (JOHNSON; WICHERN, 2008). Seu uso tem sido muito comum por pesquisadores por retirar a multicolinearidade entre variáveis, alterando-as em variáveis não correlacionadas denominadas componentes principais (NEISSE; KUANG, 2016).

Em seguida acontece a determinação do número de fatores, representando melhor a correlação entre as variáveis. Para o trabalho, a escolha do modelo de k componentes é realizada com base no critério da percentagem da variância, que mostra a proporção da contribuição em

relação à variabilidade total de cada componente, buscando atingir 60% (ou mais) da variabilidade total (HAIR JR *et al.*, 2017).

Por fim, após as análises anteriores, é possível realizar o método de rotação dos fatores. Este possui o objetivo de facilitar a interpretação sem que os resultados finais sejam alterados significativamente (COSTELLO; OSBORNE, 2005). Sua aplicação consiste em transformar os coeficientes dos componentes principais em uma estrutura simplificada, podendo ser uma rotação ortogonal ou oblíqua.

A rotação ortogonal é vista como a mais fácil de ser interpretada, pois busca uma estrutura mais simples para a matriz de cargas fatoriais preservando a orientação original entre eles (DIAS, 2018). Um dos seus métodos é o método Varimax, cujo objetivo consiste em estabelecer que existam apenas alguns pesos significativos e todos os outros sejam próximos a 0 nos componentes principais (AKHTAR-DANESH *et al.*, 2017).

## 2.5 COEFICIENTE ALPHA DE CRONBACH

Para a realização de uma análise de dados, é importante tratar da fidedignidade do teste aplicado e mensurar o fenômeno estudado para garantir sua precisão instrumental. Uma das formas de assegurar o critério de consistência psicométrica é o Alpha de Cronbach (TABER, 2018). Este é conhecido por ser uma medida de confiabilidade bem comum e utilizada, trazendo tomadas de decisões que mostram se o instrumento utilizado na pesquisa está apto a cumprir o que propõe (BLAND; ALTMAN, 1997).

O coeficiente Alpha de Cronbach ( $\alpha$ ) possui sua origem advinda do psicólogo Lee Joseph Cronbach (1916 – 2001), que trabalhava com testes psicológicos. Cronbach em seus estudos trabalhava no conceito de confiabilidade que serviu de base para a medição educacional e por consequência gerou o coeficiente que determina a credibilidade dos testes psicológicos e educacionais (TABER, 2018). A confiabilidade pode ser definida como sendo o grau em que um construto - ou conjunto de indicadores da medição de vários itens - é consistente em suas mensurações. O uso de  $\alpha$  tornou-se importante não só na psicologia, mas também em grandes áreas relacionadas dentro das ciências sociais, da saúde e estatísticas (HAIR JR *et al.*, 2017).

Kline (1994) afirma que o coeficiente varia de 0 a 1, sendo seu limite inferior ideal de 0,70 - sendo possível aceitar a redução para 0,50 para os casos em que há pesquisa exploratória. Quanto mais próximo estiver de 1, mais preciso o instrumento será, significando uma

homogeneidade na mensuração dos itens com a produção da mesma variância, dando mais confiança para o fenômeno estudado. Esses valores mostram uma interpretação direta do coeficiente - sendo uma de suas grandes vantagens (BLAND; ALTMAN, 1997). Hora *et al.* (2010) reitera que o método é de extrema importância para correlacionar as respostas do questionário através da análise do perfil das respostas dadas.

Para a construção do coeficiente, é necessário analisar todas as parcelas envolvidas. É importante perceber que dentro de toda medição realizada, há um erro aleatório envolvido. Por isso, faz-se necessária uma avaliação amostral em uma determinada população que apresentará um conjunto de dados com variabilidade. Dentro dessa análise, entra o conceito de variância, medida que reflete o quão longe os dados estão do valor esperado - também definida por  $S^2$  (VELOSO; SHIMODA; SHIMOYA, 2015).

Sendo assim, a metodologia é aplicada através de cálculo matemático. Para isso, é necessário realizar a somatória da variância dos itens individuais e da variância de cada avaliador, representada pela equação a seguir (MATTHIENSEN, 2010):

$$\alpha = \left( \frac{k}{k-1} \right) \times \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^k Si^2}{St^2} \right)$$

Fonte: Matthiensen (2010, p.14)

Em que as parcelas da equação significam:

- k: número de itens (perguntas) do questionário;
- $Si^2$ : variância de cada item;
- $St^2$ : variância total do questionário (soma das variâncias dos avaliadores) (MATTHIENSEN, 2010).

Como as variáveis estão relacionadas entre si, a variância será alterada, sendo suas possibilidades:

- Se a variação for positiva, a variância da soma aumentará;
- Se os itens ( $Si^2$ ) forem iguais, a correlação é igual a 1 e, portanto, perfeita;
- Se os itens forem independentes, o  $Si^2 = 0$  (MATTHIENSEN, 2010).

Para deixar o questionário ainda mais fidedigno, alguns pressupostos são realizados. São eles:

Quadro 3 – Pressupostos de um questionário utilizando Alpha de Cronbach

<b>Pressuposto 1</b>	O questionário precisa estar dividido e agrupado em construtos - questões que tratam de um mesmo aspecto.
<b>Pressuposto 2</b>	Deve ser aplicado a uma amostra significativa e heterogênea da população visando reduzir a baixa variância, e conseqüentemente o alpha.
<b>Pressuposto 3</b>	Sua escala precisa estar validada para garantir que o instrumento está mensurando o que está proposto.

Fonte: Adaptado de Hora *et al.* (2010)

## 2.6 ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Uma das formas de estudar o relacionamento entre uma variável denominada dependente e outras variáveis denominadas independentes é através da análise de regressão. Ou seja, ela é responsável por fazer a investigação do efeito causado por duas ou mais variáveis independentes sobre uma dependente (ABBAD e TORRES, 2002). Esse relacionamento é representado por um modelo matemático que faz essa associação entre as variáveis. Uma vez que existem muitas variáveis a serem investigadas, o método passa a ser denominado análise de regressão linear múltipla (HENRIQUES, 2011).

Hoffmann (2016) afirma que a análise de Regressão Múltipla é conceituada como técnicas estatísticas que permitem a avaliação da relação de variáveis independentes com uma variável dependente. Ela é representada através de uma equação multidimensional que expressa a melhor previsão do modelo como uma combinação linear das variáveis independentes. Sua equação pode ser descrita conforme abaixo:

$$y_j = \alpha + \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ij} + \varepsilon$$

Fonte: Adaptado de Fávero; Belfiore (2017)

Em que as parcelas da equação são: 1)  $y$  = Variável dependente; 2)  $\alpha$  = Constante; 3)  $\beta_i$  = Parâmetros; 4)  $x_i$  = Variáveis independentes; 5)  $\varepsilon$  = Erro. Entretanto, é necessário seguir os pressupostos da Regressão Múltipla para que a equação possa ser utilizada. Para a interpretação dos resultados e a qualidade do ajuste da Regressão Múltipla, é de extrema importância a análise

do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). Seu valor varia de 0 a 1 e mostra o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Com a adição de variáveis ao modelo o valor de  $R^2$  irá aumentar, mesmo que essas variáveis apresentem pouco poder de influência sobre o critério analisado. Visto isso, para averiguar o quanto cada variável independente influencia a equação da regressão utiliza-se o método do coeficiente ajustado ( $\Delta R^2$ ) (MITESTAINER, 2018).

### 3 MÉTODOS DA PESQUISA

Esta seção tem o objetivo de elucidar a metodologia utilizada no trabalho, apresentando suas principais etapas. A primeira parte apresenta a caracterização da pesquisa através do enquadramento metodológico e a segunda descreve as etapas que buscam cumprir o objetivo proposto.

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa está contida dentro da área de Logística, englobada na subárea Logística Empresarial. Quanto ao seu enquadramento, pode ser caracterizada dentre os seguintes aspectos: abordagem, natureza, procedimentos técnicos, coleta de dados e análise e interpretação dos dados, conforme Figura 5.

Figura 5 – Enquadramento metodológico



Fonte: Autoria Própria

No trabalho em questão, a abordagem é classificada como quantitativa, uma vez que a interpretação dos dados é feita através de forma matemática para fazer a correlação da teoria em que o estudo é embasado com a realidade empírica (DA SILVA, 2010). Segundo Richardson (1999), essa abordagem é definida pela quantificação, tanto na coleta de informação quanto no tratamento dos dados, através de procedimentos estatísticos. Em relação a natureza, este trabalho é considerado exploratória, pois objetiva investigar e realizar descobertas para os fatores que determinam ou contribuem para a ocorrência dos fatos (GIL, 2010).

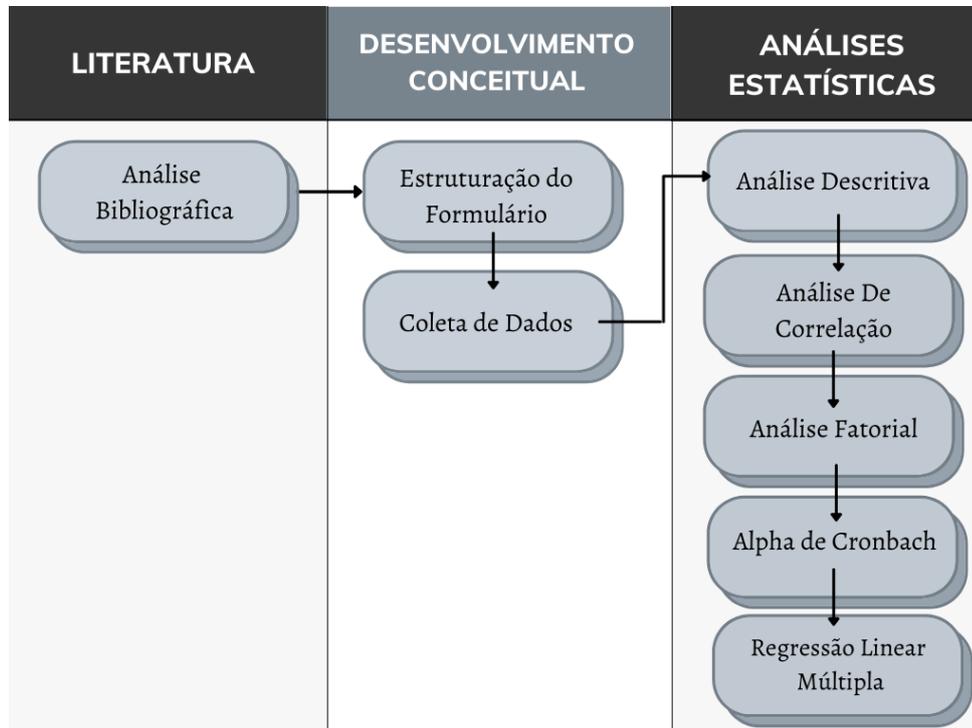
Quanto à classificação com base nos procedimentos técnicos utilizados, o presente trabalho utilizou o levantamento bibliográfico e a *survey* como procedimentos fundamentais para o desenvolvimento da análise proposta. A pesquisa bibliográfica foi desenvolvida através de artigos e livros antes do início do seu desenvolvimento (GIL, 2010). O procedimento de *survey*, por sua vez, é caracterizado através da obtenção de dados e informações de determinado grupo de pessoas através de instrumentos de pesquisa, geralmente formulários (TANUR, 1993).

A coleta das informações mesclou dados primários e secundários, uma vez que foram obtidos dados diretamente do instrumento da *survey* e também usando fontes disponíveis. Os dados primários são coletados especificamente para o determinado estudo, apresentando uma relação direta com os fatos analisados. Já os dados secundários não apresentam relação direta com o evento estudado, mas são reunidos com outro intuito que não seja o pensado inicialmente (RICHARDSON, 1999).

### 3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Para realização do trabalho, foram realizadas as seguintes atividades, conforme apresentado na Figura 6.

Figura 6 – Fluxograma do método utilizado



Fonte: Autoria Própria

### 3.2.1 Análise Bibliográfica

Com o objetivo de aprofundar a bibliografia dos tópicos de pesquisa, esta etapa consistiu no estudo das seguintes áreas: Indústria 4.0 e suas tecnologias, barreiras de implementação e indicadores de desempenho logístico, além de técnicas de análise de dados utilizadas para estruturação do problema proposto. Foram analisadas algumas fontes de artigos e teses, principalmente a base *Scopus*, *Web of Science*, e o *Google Scholar*. As palavras-chaves mais utilizadas para compor o padrão de pesquisa bibliográfico foram: “*Logistics 4.0*” e “*Industry 4.0*”.

### 3.2.2 Estruturação do Formulário

Após leitura e definição dos principais artigos utilizados, foi estruturado o formulário da pesquisa que consistiu em verificar a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 na Logística. Sendo assim, o instrumento para coleta de dados foi através de um questionário online utilizando o site *Typeform*® que pode ser encontrado no apêndice A deste trabalho. O uso desta

plataforma permite coletar as respostas de maneira rápida a partir de diversos formatos de resposta (múltipla escolha, lista suspensa ou escalas lineares), além da construção de gráficos para análises iniciais (NARA *et al.*, 2021).

As perguntas podem ser divididas em 4 grandes seções: a primeira visando o enquadramento das empresas respondentes; a segunda para medir o grau de utilização e interesse em utilizar as tecnologias 4.0 na Logística; a terceira trata da influência das barreiras para implementação das tecnologias e a última aborda o nível de desempenho das empresas em relação aos indicadores logísticos citados. Ao final, o questionário contou com 9 perguntas. As seções do questionário encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 – Seções principais do questionário

Seção	Descrição	Enfoque
1	Enquadramento das empresas	Classificar qual tipo de empresa (CD, armazém, indústria e operador), segmentação de mercado, cidade e cargo do respondente
2	Grau de utilização e interesse	Mensurar o nível de implementação e interesse nas tecnologias
3	Barreiras na implementação	Identificar o grau de influência das barreiras para implementação ou não das tecnologias
4	Indicadores de desempenho	Nível do desempenho da empresa em relação aos indicadores citados

Fonte: Autoria Própria

Para a definição das tecnologias utilizadas no questionário (Tabela 2), foi utilizada como base a lista de tecnologias proposta por Nara *et al.*, (2021). O estudo foi baseado em uma pesquisa bibliométrica aliada a utilização de técnicas de mineração de dados para identificar as principais tecnologias que formam a arquitetura básica da indústria 4.0, sendo consideradas publicações de 2011 a 2019.

Tabela 2 – Tecnologias da indústria 4.0

<b>Tecnologias</b>	<b>Autores</b>
Manufatura Aditiva	Saucedo-Martínez <i>et al.</i> , (2017)
Inteligência Artificial	Bonilla <i>et al.</i> , (2018)
Realidade Virtual e Aumentada	Chukwuekwe <i>et al.</i> , (2016)
Robôs Autônomos e Colaborativos	Dalenogare <i>et al.</i> , (2018)
Big data e analytics	Frank <i>et al.</i> , (2019)
Computação em nuvem e Manufatura Aditiva	Fatorachian e Kazemi, (2018)
Sistemas ciberfísicos	Tortorella e Fettermann (2018)
Cibersegurança	Ghobakhloo (2018)
Virtualização e digitalização	Frank <i>et al.</i> , (2019)
Internet Industrial	Fatorachian e Kazemi, (2018)
Internet das Coisas	Kamble <i>et al.</i> , (2018)
Comunicação entre máquinas	Kang <i>et al.</i> , (2018)
Sistemas e Dispositivos Móveis	Lu (2017)
Simulação	Mittal <i>et al.</i> , (2018)
Sensores Inteligentes	Yin, Stecke e Li (2018)
Integração de Sistemas	Zhong <i>et al.</i> , 2017

Fonte: Nara *et al.* (2021, p. 8).

Entretanto, para atingir esse novo estágio industrial, existem barreiras que impedem as empresas de atingirem a digitalização. Esse desafio é cada vez mais expressivo para pequenas e médias empresas (PMEs) (MITTAL *et al.*, 2018). Para determinação da escolha das barreiras, foi realizada uma revisão de literatura baseada na semântica dos itens e nos estudos sobre os desafios da implementação das tecnologias no Brasil. Os itens são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Principais Barreiras da literatura

<b>Barreira</b>	<b>Autores</b>
Falta de um roteiro estratégico	Moktadir <i>et al.</i> (2018), Slusarczyk (2020)
Falta de comprometimento da alta administração	Gökalp <i>et al.</i> (2017), Luthra e Mangla (2018)
Falta de envolvimento e engajamento das partes interessadas (governo, parceiros da cadeia, clientes)	Da Silva <i>et al.</i> (2019)
Imprecisão na compreensão das tecnologias	Hofmann e Rüsç (2017), Luthra e Mangla (2018)
Falta de colaboração entre as instituições acadêmicas e a indústria para a inovação e pesquisas e desenvolvimento (P&D)	Da Silva <i>et al.</i> (2019)
Resistência à mudança	Bag <i>et al.</i> (2021), Horváth e Szabó (2019), Hofmann e Rüsç (2017), Kamble <i>et al.</i> (2018), Kiel <i>et al.</i> (2020)
Altos níveis de investimento	Kamble <i>et al.</i> (2018), Slusarczyk (2020), Tortorella e Fettermann (2018)
Escassez de força de trabalho com as habilidades necessárias	Moktadir <i>et al.</i> (2018), Tortorella e Fettermann (2018)
Falta de programas de treinamento para capacitação	Hofmann e Rüsç (2017)
Falta de desenvolvimento de tecnologias	Moktadir <i>et al.</i> (2018)
Falta de clareza sobre os benefícios econômicos do investimento digital	Luthra e Mangla (2018)
Falta de cultura organizacional inovadora	Luthra e Mangla (2018)
Falta de padrões técnicos e arquitetura de referência	Kamble <i>et al.</i> (2018)
Fornecimento insuficiente de infraestrutura e conectividade de banda larga	Kamble <i>et al.</i> (2018), Luthra e Mangla (2018)
Baixo nível de maturidade e integração de tecnologias	Kamble <i>et al.</i> (2018)
Falta de infraestrutura de TI física e digital básica para serviços orientados a dados	Luthra e Mangla (2018), Moktadir <i>et al.</i> (2018), Santos <i>et al.</i> (2018)
Falta de segurança da informação e proteção da privacidade	Hofmann e Rüsç (2017), Kamble <i>et al.</i> (2018), Lezzi <i>et al.</i> (2018), Luthra e Mangla (2018), Moktadir <i>et al.</i> (2018)
Falta de grandes técnicas de análise de dados maduras	Hofmann e Rüsç (2017)
Falta de oportunidades de emprego para mão de obra menos qualificada	Bag <i>et al.</i> (2021), Horváth e Szabó (2019), Kamble <i>et al.</i> (2018), Moktadir <i>et al.</i> (2018)
Cultura nacional e diferença regional	De Sousa Jabbour <i>et al.</i> (2018)

Falta de regulamentações legais para gerenciar crimes cibernéticos e roubo de dados	Kiel <i>et al.</i> (2020)
Regulamentações ineficazes em relação ao trabalho e emprego	Bag <i>et al.</i> (2021)
Falta de regulamentações legais para o gerenciamento de propriedade de dados, direitos autorais e questões de P&D	Kamble <i>et al.</i> (2018), Slusarczyk (2018)

Fonte: Autoria Própria

Para a definição dos parâmetros estratégicos dentro da logística, são utilizados indicadores de desempenho, cujo objetivo é identificar os aspectos críticos que atrapalham o desempenho das atividades e prestar suporte para a tomada de decisões nos processos (BOWERSOX *et al.*, 2014). É possível encontrar na literatura diversos pontos de vista e formas de mensuração de desempenho logístico.

Desta forma, é necessário analisar quais métricas são mais relevantes para o objetivo em questão, buscando identificar falhas no processo e atingir melhores resultados nas operações. Sendo assim, a lógica utilizada para a definição dos indicadores do questionário (Tabela 4) foi a priorização de materiais bibliográficos publicados contendo informações que tragam uma visão mais abrangente da cadeia logística através de um retorno real do desempenho do processo (BARBOSA; MUSETTI; KURUMOTO, 2006).

Tabela 4 – Indicadores de desempenho

<b>Indicador</b>	<b>Autores</b>
Custos Logísticos	Bowersox <i>et al.</i> , (2014)
Velocidade de entrega	Christopher (2016)
Nível de inventário	Bertaglia (2016)
Qualidade do produto/serviço	Bowersox <i>et al.</i> , (2014)
Informação em tempo real	Novaes <i>et al.</i> , (2016)
Segurança dos processos	Ballou (2009)
Produtividade	Godoy (2016)
Nível de emissão de gases (ex: CO2)	Bandeira (2017)

Fonte: Autoria Própria

Para a definição da gradação das perguntas, foi utilizada a Escala Likert para as seções 2, 3 e 4 do questionário. Utilizada amplamente em questionários de pesquisa de opinião, essa escala representa um determinado tipo de respostas em que os entrevistados especificam seu nível de concordância segundo um critério que pode ser objetivo ou subjetivo e inferir a medida de um construto (JÚNIOR; COSTA, 2014).

Sua principal vantagem é a facilidade de utilização, uma vez que é possível emitir um grau de concordância sobre uma afirmação qualquer. Ademais, a consistência psicométrica comprovada nas métricas que utilizaram esta escala colaborou para sua aplicação cada vez maior nas mais diversas pesquisas (COSTA, 2011).

Foram utilizados cinco níveis de respostas que variaram de 1 a 5. Para cada uma das perguntas do questionário, foram utilizados níveis de escala, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 – Escalas utilizadas para o Questionário

Seção	Pergunta	Escala
2	Nível de implementação das tecnologias	1 - Nada implementado 5 - Totalmente implementado
2	Nível de interesse na implementação das tecnologias	1 - Nenhum interesse 5 - Muito interesse
3	Influência das barreiras para implementação das tecnologias	1 - Nenhuma influência 5 - Total influência
4	Nível de desempenho nos indicadores	1 - Nada satisfatório 5 - Muito satisfatório

Fonte: Autoria Própria

### 3.2.3 Coleta de Dados

As empresas selecionadas para pesquisa foram identificadas através de profissionais com *expertise* em logística (incluindo analistas, gerentes, supervisores e demais) principalmente pela ferramenta *LinkedIn*, assim como a utilização de e-mail eletrônico. A pesquisa foi realizada com pequenas, médias e grandes empresas que estavam classificadas dentro das quatro categorias: indústrias, centros de distribuição, operadores logísticos e armazéns. Para a escolha das indústrias, utilizou-se como base de dados a lista disponibilizada pela FIESC. As demais categorias foram encontradas através de mapeamento de empresas da região, feitas principalmente pela ferramenta *Google*.

O questionário foi enviado pelos dois canais a 350 empresas que atenderam aos critérios definidos pela pesquisa. O tempo médio de resposta era de 5 minutos e a coleta dos dados ocorreu no período de maio a julho de 2021. A amostra final resultante compreende 53 respostas válidas, representando uma taxa de resposta de 15,14% e sendo caracterizada como não probabilística. Seus resultados obtidos permitiram a análise estatística e cruzamento dos dados, identificando a relação procurada pelo trabalho.

### 3.2.4 Procedimento de Análise dos Dados

De modo a possibilitar a análise dos dados desta pesquisa, utilizou-se o pacote estatístico SPSS para Windows. O software SPSS® (*STATISTICS package for the social sciences*) é um programa de análise estatística e tratamento de dados, sendo bem confiável pela qualidade dos resultados, e também pela estabilidade e disponibilidade no ambiente Windows (MOTTA, 2009). A Figura 7 apresenta os principais objetivos e aplicações das análises estatísticas executadas no trabalho.

Figura 7 – Objetivos e aplicações de cada análise estatística

ANÁLISES ESTATÍSTICAS	OBJETIVO	APLICAÇÃO NO TRABALHO
<b>1</b> <b>Análise Descritiva</b>	Resumir e sumarizar o comportamento dos dados	Identificar o <b>comportamento</b> das tecnologias, indicadores de desempenho logístico e das barreiras
<b>2</b> <b>Análise de Correlação</b>	Entender o nível de associação entre duas variáveis ou mais	Medir o <b>grau de dependência</b> das tecnologias, indicadores de desempenho logístico e das barreiras
<b>3</b> <b>Análise Fatorial</b>	Reduzir a quantidade de variáveis em conjuntos menores	Analisar se os dados estão dentro dos <b>critérios</b> adequados e <b>formar componentes principais</b> para as tecnologias, indicadores e barreiras
<b>4</b> <b>Alpha de Cronbach</b>	Identificar a consistência do questionário	Garantir a <b>consistência</b> do questionário determinando se a escala é confiável para as tecnologias, indicadores de desempenho logístico e barreiras
<b>5</b> <b>Regressão Linear</b>	Investigar o efeito de duas ou mais variáveis independentes sobre uma variável dependente	Avaliar o <b>efeito</b> do nível de implementação das tecnologias, do porte e do tipo de empresa nos indicadores de desempenho logístico

Fonte: Autoria Própria

Para apresentação dos resultados, foram utilizados gráficos e tabelas para entendimento das análises. Em primeiro momento, são apresentadas as informações originárias do questionário, como o perfil dos respondentes e suas considerações iniciais. Depois, uma análise descritiva das variáveis é mostrada, utilizando a média e o desvio padrão como medida

de tendência central e variabilidade. Posteriormente, foi utilizada uma análise de correlação de Pearson para verificar o grau de associação entre as variáveis analisadas.

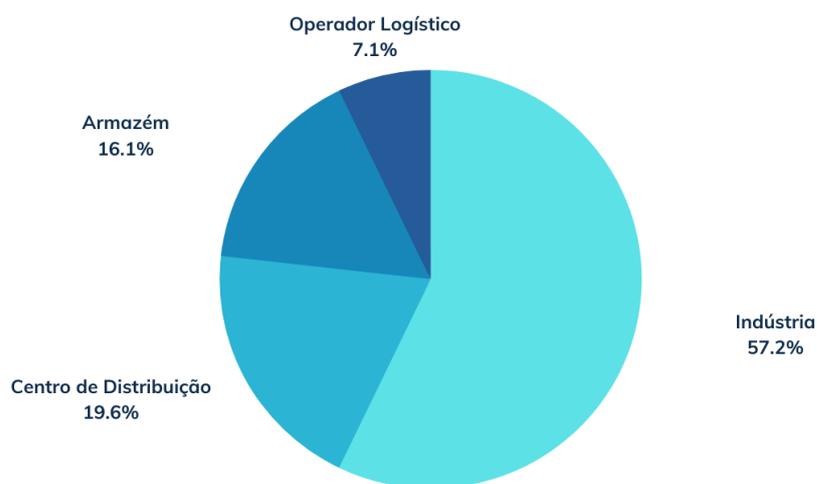
Buscando avaliar o efeito do nível de implementação das tecnologias nos indicadores de desempenho, foi realizada uma análise fatorial com o intuito de reduzir a dimensão das variáveis em componentes principais (CPs). A partir dos componentes identificados, o coeficiente Alpha de Cronbach foi aplicado para garantir a confiabilidade do instrumento. Em seguida, foi executada a regressão linear e testado o modelo para verificar o efeito comentado. Foi utilizado o Microsoft Excel® para aplicação das técnicas e organização e categorização dos dados.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 DESCRITIVO DA AMOSTRA

Esta seção se destina a apresentar os resultados obtidos, segundo metodologia adotada para atingir o objetivo proposto pelo presente estudo. Em primeiro momento, observou-se o perfil das empresas respondentes, representado na Figura 8.

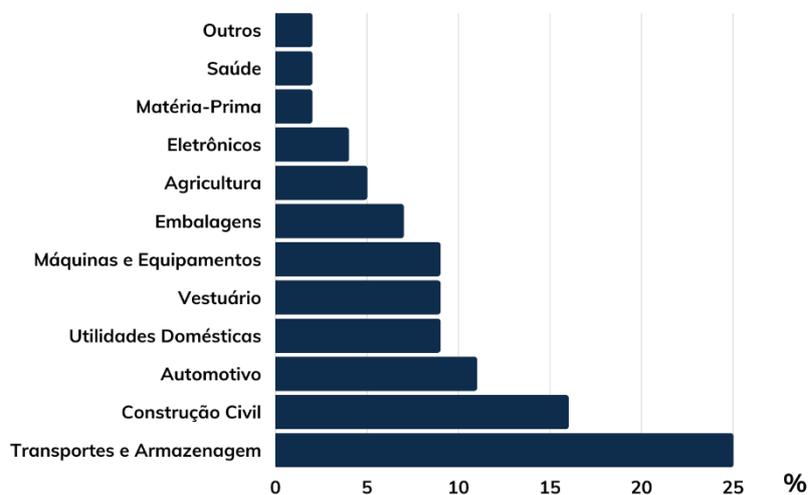
Figura 8 – Perfil das empresas respondentes



Fonte: Autoria Própria

A amostra total do questionário (N=53) foi constituída por 57,1% de empresas do setor industrial, 19,6% Centros de Distribuição, 16,07% Operadores Logísticos e 7,14% são Armazéns. As classificações dos segmentos respondentes são mostradas na Figura 9.

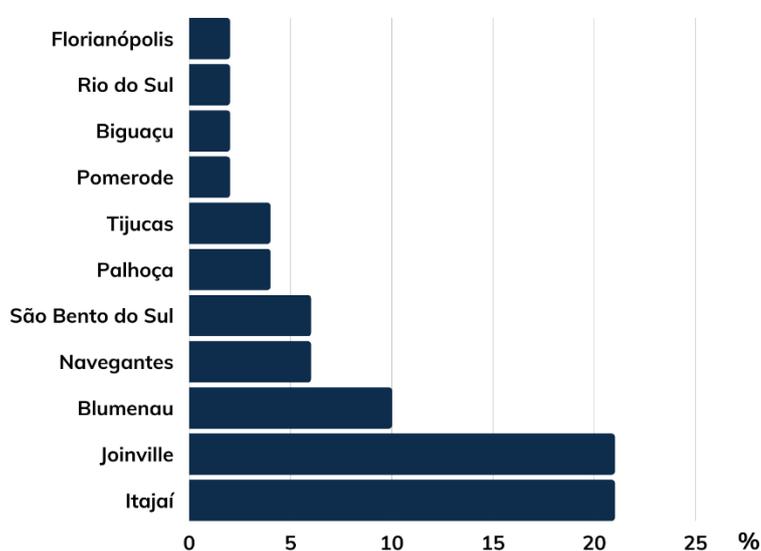
Figura 9 – Segmentação de mercado das empresas respondentes



Fonte: Autoria Própria

Analisando a segmentação de mercado que melhor se enquadra o produto ou serviço das empresas, 52% correspondem juntas ao setor de transportes/armazenagem, construção civil e automotivo. Outros segmentos também mostraram-se presentes, como os eletrônicos (4%) e a saúde (2%), por exemplo. Para a padronização e classificação dos tipos de empresa, foi utilizada a listagem da CNAE - Classificação Nacional de Atividades Econômicas - disponibilizada pelo site do IBGE. Para complementar as análises, a localização das empresas também foi identificada, conforme Figura 10.

Figura 10 – Localização das empresas respondentes



Fonte: Autoria Própria

Itajaí, Joinville, Blumenau, Navegantes e São Bento do Sul representaram, juntas, 67% do questionário. As localizações que somaram 80% de representatividade estão no gráfico da Figura 10. Além da cidade dos respondentes, foi observado o porte das empresas, conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Porte das Empresas Respondentes

Porte	Número de Funcionários	Percentual da pesquisa
Pequeno porte	Até 49 funcionários	32%
Médio porte	Até 99 funcionários	38%
Grande porte	100 ou mais funcionários	30%

Fonte: Adaptado de SEBRAE (2013)

Para a classificação de pequeno, médio e grande porte, foi utilizada a categorização feita pelo SEBRAE (Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas). A amostra foi dominada por 70% das respostas vindas de pequenas e médias empresas (32% e 38%, respectivamente), e 30% representam empresas de grande porte.

#### 4.2 DESCRITIVO DAS VARIÁVEIS

Nesta etapa do estudo foi feita uma análise descritiva de cada uma das variáveis consideradas. Para identificação das nomenclaturas utilizadas ao longo dos resultados, foi gerada uma tabela que encontra-se no apêndice B deste trabalho. Os métodos de cálculo apresentados a seguir são: média, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão. As Tabelas 6 e 7 mostram o descritivo das tecnologias e dos indicadores de desempenho, respectivamente.

Tabela 6 – Descritivo das variáveis por Nível de Implementação das Tecnologias

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17
<b>Média</b>	3,5	2,6	2,0	2,5	3,6	1,9	2,2	2,3	1,6	1,3	1,5	2,3	2,1	1,5	1,4	3,4	2,9
<b>Mediana</b>	3,5	3	2	2,5	4	1,5	2	2	1	1	1	2	2	1	1	4	3
<b>Máximo</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	3	3	5	5
<b>Mínimo</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Desvio Padrão</b>	1,2	1,2	1,1	1,4	1,3	1,1	1,2	1,1	1,0	0,7	0,9	1,2	1,3	0,8	0,7	1,3	1,3

Fonte: Autoria Própria

Neste primeiro momento, é interessante analisar que as variáveis N15 (sistema cyber físico) e N10 (realidade virtual e aumentada) obtiveram as médias mais baixas de implementação (1,4 e 1,3, respectivamente). Um fator que pode contribuir para a baixa média é apresentado no estudo realizado por Matana *et al.*, (2020), afirmando que a aplicação de Sistemas Cyber Físicos na logística ainda está em desenvolvimento e poucos estudos mencionam essas aplicações. Contudo, a sua utilização pode ser eficiente para melhorar os fluxos de materiais e informações, trazendo benefícios como redução de custos operacionais e tempos de produção (MATANA *et al.*, 2020). Já as aplicações de realidade aumentada são

encontradas com mais frequência em atividades de armazéns, apresentado no estudo de Winkelhaus e Grosse (2020). A utilização de códigos QR e óculos inteligentes permitem a execução e o aumento do desempenho das atividades de separação (picking), como por exemplo, por meio da redução dos erros durante a atividade (CIMINI *et al.*, 2019; WILKESMANN; WILKESMANN, 2018), o treinamento eficiente dos funcionários, a simulação das operações do armazém, como também a interação em tempo real com a rede de abastecimento (QUEIROZ *et al.*, 2019).

Em contrapartida, os fatores N1 (armazenamento de dados em nuvem), N5 (integração de sistemas) e N16 (sistemas e dispositivos móveis) apresentaram as médias mais altas. De acordo com BAHRIN *et al.* (2016), a computação em nuvem permite otimizar operações e melhorar o desempenho do sistema através da coleta, armazenagem e avaliação dos dados de diversas fontes e clientes para apoiar a tomada de decisões, podendo ser acessadas por meio de dispositivos móveis, como tablets e smartphones. Esta possui um papel essencial para oferecer suporte aos sistemas WMS, software que realiza a gestão dos estoques (CIMINI *et al.*, 2019). Quanto ao gerenciamento de informação, os produtos inteligentes e rede na nuvem permitem manter o fluxo de informações intacto (STRANDHAGEN *et al.*, 2017).

Tabela 7 – Descritivo das variáveis por Indicadores de Desempenho

	ID1	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8
<b>Média</b>	3,2	3,6	3,3	4,0	2,9	3,4	3,4	2,7
<b>Mediana</b>	3	4	3	4	3	3	4	3
<b>Máximo</b>	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>Mínimo</b>	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Desvio Padrão</b>	1,0	1,1	1,3	1,1	1,3	1,1	1,1	1,3

Fonte: Autoria Própria

Quanto aos indicadores de desempenho, o ID4 (qualidade do produto/serviço) mostrou-se com uma média alta (80% do valor máximo), sinalizando que as empresas julgam possuir

um nível de desempenho maior nesse indicador. Algumas tecnologias podem contribuir para o atingimento de bons resultados nesse indicador logístico. O big data, por exemplo, analisa grande quantidade de dados em tempo real, de diferentes fontes de produção, equipamentos e sistemas, possibilitando a entrega rápida da informação necessária para a tomada de decisão, a melhoria da qualidade dos produtos e a economia de energia (QUEIROZ *et al.*, 2019).

A IoT (que obteve 44% de implementação) contribui para monitorar as condições de qualidade dos produtos em armazéns, por meio de sensores de calor e luz (BUKOWSKI, 2019) como também de produtos em transporte, especialmente para produtos na cadeia do frio (GUPTA; CHAUDHURI; TIWARI, 2019). Já a aplicação da computação em nuvem na logística permite a integração e compartilhamento de recursos, melhorando a eficiência da operação logística e a qualidade de serviços (SONG *et al.*, 2021).

O ID8 (nível de emissão de gases) apresentou-se mais baixo em sua média, refletindo uma possível negligência com relação ao mesmo. Esse indicador exerce uma alta pressão competitiva nas empresas, dado que a sustentabilidade e os acordos comerciais (como restrições de emissões) geram novas tendências e exigem melhorias nas soluções logísticas (STRANDHAGEN, *et al.*, 2017). Uma perspectiva para sugerir melhoras deste indicador é apresentada no trabalho de Strandhagen *et al.* (2017) através de big data em conjunto com sistema ciber físicos, que obtiveram um percentual médio de implementação de 54 e 30,2% na pesquisa. Estas tecnologias permitem avaliar a recuperação de fim de vida de produtos por meio de várias etapas, como devolução, inspeção e classificação, descarte, reparo, reciclagem, reutilização e remanufatura.

Os Robôs Autônomos, cuja média de implementação foi de 30,5%, podem melhorar o desempenho das entregas, apresentando como benefícios níveis menores de emissão de CO<sub>2</sub>. Isso os tornam mais ecológicos, através de menores custos, redução de produtos danificados em transporte e menor consumo de combustíveis. Os resultados do estudo de Gružasuskas *et al.*, (2018) demonstram que usando a estratégia de distribuição de veículos autônomos, o nível de emissão de CO<sub>2</sub> reduz em 22% e os custos de transporte em 5%. O custo por unidade entregue é de menos de 1 €, o que os torna até 15 vezes mais baratos do que os serviços de entrega tradicionais (HOFFMANN; PRAUSE, 2018).

### 4.3 VALIDAÇÃO DOS CONSTRUTOS

#### 4.3.1 Análise de Correlação

Para medir a correlação entre duas variáveis, o método comumente empregado pela literatura é a matriz de correlações por meio do coeficiente de correlação linear de Pearson (FÁVERO; BELFIORE, 2017). A inspeção visual e a interpretação do coeficiente estão de acordo com a Figura 11.

Figura 11 – Interpretação dos valores do coeficiente de correlação de Pearson

Intervalo de valores para $\rho$	Interpretação do coeficiente de correlação
$-0,300 < \rho < 0,000$	Existe correlação linear negativa fraca
$-0,600 < \rho \leq -0,300$	Existe correlação linear negativa moderada
$-0,900 < \rho \leq -0,600$	Existe correlação linear negativa forte
$-1,000 < \rho \leq -0,900$	Existe correlação linear negativa muito forte
$0,000 < \rho < 0,300$	Existe correlação linear positiva fraca
$0,300 \leq \rho < 0,600$	Existe correlação linear positiva moderada
$0,600 \leq \rho < 0,900$	Existe correlação linear positiva forte
$0,900 \leq \rho < 1,000$	Existe correlação linear positiva muito forte

Fonte: Mitestainer (2018, p.35)

Por definição, sua variação tende a ser de -1 a 1, indicando a magnitude das variáveis e a relação positiva ou negativa entre elas. Caso as correlações sejam baixas, não se justifica a utilização da técnica (DE OLIVEIRA; ALVES, 2017). A matriz de correlação das tecnologias e dos indicadores encontram-se nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

Tabela 8 – Matriz de Correlação entre o Nível de Implementação das Tecnologias

	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16	N17
N1	0,30 6*	0,25 9	0,14 4	0,45 5**	0,284*	0,153	0,079	0,137	0,090	- 0,100	0,328 *	0,261	0,249	0,261	0,535 **	0,573 **
N2	1	0,59 7**	0,42 0**	0,11 7	0,633* *	0,503 **	0,407 **	0,191	0,193	0,191	0,312 *	0,329*	0,454* *	0,421 **	0,344 *	0,390 **
N3		1	0,43 6**	0,13 0	0,501* *	0,684 **	0,569 **	0,281* *	0,336 *	0,262	0,381 **	0,354* *	0,461* *	0,466 **	0,303 *	0,365 **
N4			1	0,40 6**	0,415* *	0,567 **	0,315 *	0,249	0,419 **	0,176	0,269 *	0,372* *	0,341* *	0,438 **	0,399 **	0,489 **
N5				1	0,239	0,227	0,246	0,310* *	0,107	0,018	0,250	0,387* *	0,182	0,236	0,495 **	0,547 **
N6					1	0,534 **	0,493 **	0,291* *	0,267	0,130	0,322 *	0,436* *	0,570* *	0,548 **	0,230	0,401 **

N7	1	0,645 **	0,397* *	0,397 **	0,214	0,337 *	0,442* *	0,448* *	0,467 **	0,368 **	0,518 **
N8		1	0,306*	0,298 *	0,229	0,327 *	0,264	0,404* *	0,386 **	0,246	0,426 **
N9			1	0,355 **	0,309 *	-0,001	0,521* *	0,348* *	0,227	0,328 *	0,308 *
N10				1	0,245	0,251	0,258	0,385* *	0,438 **	0,221	0,326 *
N11					1	0,138	0,196	0,282* *	0,185	0,053	-0,057
N12						1	0,364* *	0,428* *	0,354 **	0,316 *	0,306 *
N13							1	0,488* *	0,486 **	0,511 **	0,417 **
N14								1	0,872 **	0,307 *	0,328 *
N15									1	0,380 **	0,445 **
N16										1	0,731 **
N17											1

\*. Significativa a 5% / \*\*. Significativa a 1%

Fonte: Autoria Própria

As Correlações de Pearson para o nível de implementação das tecnologias apresentam valores altos entre algumas das variáveis analisadas, como IoT (NI7) e Internet Industrial (NI8) ( $\rho = 0,645$ ), Blockchain (NI3) e Internet das coisas (NI7) ( $\rho = 0,684$ ) e Simulação (NI14) e Sistema Cyber Físico (NI15) ( $\rho = 0,872$ ), por exemplo. Uma relação entre Internet Industrial e IoT é apresentada no trabalho de Nunes (2016) através da combinação das tecnologias de automação empregues nas empresas em conjunto com a utilização das tecnologias da Internet das Coisas nos processos de produção das fábricas. Dentro de armazéns, por exemplo, contêineres e pallets podem ser habilitados com dispositivos acionados pela IoT que ajudam a orientar e direcionar as atividades de armazenamento fornecendo a localização e posição exata de produtos e materiais em estoque. Permite também a automatização de algumas tarefas como recebimento (leitores de RFID são instalados em docas) separação, embalagem e despacho de pedidos o que impacta na redução de erros operacional. Esses dispositivos podem também auxiliar no processo de transporte aumentando a visibilidade dos produtos em trânsito e fornecendo a localização precisa dos veículos (REJEB *et al.*, 2019).

Segundo Redelinghuys *et al.*, (2019), os sistemas Cyber Físicos podem ser utilizados por meio da simulação virtual dos processos da cadeia de suprimentos, por exemplo, buscando

planejar o futuro, reconfigurar os processos e o sistema em resposta a mudanças externas. Essa análise pode ser utilizada para prever erros e problemas antes que eles ocorram, evitando, portanto, paralisações ou até mesmo possíveis falhas em sistemas. Para Chicarino *et al.* (2017), a Blockchain trabalha em conjunto com a IoT colaborando com o propósito de se tornar uma rede de dispositivos autônomos que interagem com o ambiente sem a intervenção humana através de decisões inteligentes. A tecnologia blockchain permite a agregação descentralizada de grandes quantidades de dados gerados a partir de dispositivos IoT e garantem que os benefícios sejam compartilhados de forma mais equitativa entre os parceiros de troca da cadeia de suprimentos (REJEB *et al.*, 2019). Ao operar em plataformas de contabilidade digital distribuídas, como Blockchain, os parceiros de troca da cadeia de suprimentos se beneficiarão de uma nova forma de governança, transparência de informações aprimorada e melhorias na integridade dos dados de transações de IoT.

Tabela 9 – Matriz de Correlação entre os Indicadores de Desempenho

	ID2	ID3	ID4	ID5	ID6	ID7	ID8
ID1	0,609* *	0,604* *	0,601**	0,463**	0,545**	0,553**	0,334*
ID2	1	0,488* *	0,689**	0,448**	0,691**	0,692**	0,240
ID3		1	0,454**	0,433**	0,491**	0,469**	0,133
ID4			1	0,421**	0,634**	0,716**	0,166
ID5				1	0,621**	0,515**	0,361**
ID6					1	0,769**	0,177
ID7						1	0,176
ID8							1

\*. Significativa a 5% / \*\*. Significativa a 1%

Fonte: Autoria Própria

Para os indicadores de desempenho, é possível detectar que a técnica apresentou alta correlação em muitas variáveis. O fator produtividade (ID7), em especial, apresentou alta correlação em relação à: Segurança dos processos (ID6) ( $\rho = 0,769$ ), Qualidade do produto/serviço (ID4) ( $\rho = 0,716$ ) e Velocidade de Entrega (ID2) ( $\rho = 0,692$ ). Com a rapidez das mudanças no âmbito corporativo, as organizações estão acelerando a busca por melhores

índices de desempenho em termos de produtividade e qualidade atrelados com melhores práticas de segurança (COSER, 2019). Na logística, tecnologias como Robôs Autônomos estão trazendo benefícios na produtividade com alta eficiência principalmente nos portos, tanto em terminais intermodais como na operação de barcos, caminhões e outros meios de transporte, melhorando a produção, a segurança e a capacidade de resposta (BARLETA; PÉREZ; SÁNCHEZ; 2020). Outras tecnologias como sistemas de transporte inteligentes aumentam a produtividade dos sistemas de transporte através do processamento e gerenciamento das informações coletadas por diferentes aplicativos para implementar e gerenciar estratégias que melhorem a segurança, aumentem o nível de serviço, reduzam os tempos de trânsito e aumentem a velocidade da entrega (PÉREZ; SÁNCHEZ, 2019).

#### 4.3.2 Análise Fatorial

Para a realização da análise fatorial exploratória, diversas decisões precisam ser tomadas a fim de se obter uma estrutura fatorial adequada, buscando trazer critérios teóricos e metodológicos claros (HONGYU, 2018). Os critérios do quadro 5 foram utilizados na análise e as variáveis que não atenderam foram excluídas.

Quadro 5 – Critérios para realização da Análise Fatorial

Número	Critério	Fonte
1	Medida de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) maior que 0,6 e teste de esfericidade de Bartlett com significância de 0,001 ou menor	Austin <i>et al.</i> , (2006)
2	Autovalores não inferiores a 1,0 em todos os CPs retidos	Field (2005)
3	Carga das variáveis dos CPs com o valor mínimo de 0,4 para ser retido no CP	Tabachnick e Fidell (2013)
4	Variância explicada de 50% ou mais	Tabachnick e Fidell (2013)

Fonte: Autoria Própria

Após a análise de correlação, a AFE foi desenvolvida para validação dos construtos criados com análise fatorial de componentes principais (CP) através da rotação ortogonal Varimax. Esta é capaz de reunir os fatores com os itens que possuem uma alta correlação (AKHTAR-DANESH *et al.*, 2017). As tabelas 10 e 11 apresentam os resultados da análise fatorial para a implementação das tecnologias.

Tabela 10 – Autovalores, KMO e Teste de Bartlett para Implementação das Tecnologias

CP	Autovalores	% da variância	% acumulada	KMO	Bartlett
CP1	6,710	39,470	39,470		
CP2	1,906	11,209	50,679	<b>0,798</b>	<b>0,000</b>
CP3	1,303	7,664	58,343		
CP4	1,097	6,451	<b>64,794</b>		

Fonte: Autoria Própria

Verificando o nível de implementação das tecnologias, os resultados indicam a formação de quatro componentes que explicam uma parcela da variância de 64,79%, estando de acordo com os limites estabelecidos pela bibliografia. Pela Tabela 10, o KMO foi igual a 0,798, indicando que os fatores encontrados na AF conseguem descrever satisfatoriamente as variações dos dados originais. Já o Teste de Esfericidade de Bartlett apresentou um valor de  $p < 0,001$ , mostrando que existe relação suficiente entre as variáveis para aplicação da análise fatorial.

Tabela 11 – Matriz de Componentes Rotacionada Nível de Implementação Tecnologias (Rotação Varimax)

	Componentes			
	1	2	3	4
NI1	0,058	<b>0,711</b>	0,335	-0,236
NI2	<b>0,675</b>	0,134	0,385	-0,038
NI3	<b>0,768</b>	0,084	0,289	0,148
NI4	<b>0,528</b>	0,356	0,102	0,293
NI5	0,072	<b>0,776</b>	0,010	0,165
NI6	<b>0,587</b>	0,149	<b>0,485</b>	0,098
NI7	<b>0,795</b>	0,207	0,130	0,307
NI8	<b>0,750</b>	0,096	0,100	0,214
NI9	0,153	0,317	-0,036	<b>0,764</b>
NI10	0,265	0,097	0,237	<b>0,527</b>
NI11	0,140	-0,215	0,147	<b>0,636</b>
NI12	0,257	0,230	<b>0,578</b>	-0,071
NI13	0,133	<b>0,453</b>	0,395	<b>0,483</b>
NI14	0,244	0,090	<b>0,824</b>	0,351
NI15	0,270	0,183	<b>0,775</b>	0,284
NI16	0,176	<b>0,792</b>	0,185	0,144
NI17	0,404	<b>0,781</b>	0,141	0,055

Fonte: Autoria Própria

Os CPs foram alinhados com a literatura e identificados com a seguinte nomenclatura: digital (CP1), analítica (CP2), segurança (CP3) e virtualização (CP4), respectivamente. O CP1 representa a dimensão da cadeia de valor dos dados digitais, desde dados da máquina e do sensor ao longo de toda a cadeia de suprimentos (AKANMU; ANUMBA, 2015).

O CP2 representa as máquinas e equipamentos capazes de se adaptarem às atividades programadas, podendo ser controladas por inteligência artificial em conexão remota e comunicação integrada. O aumento da produtividade pode ser ocasionado pela automação e diminuição de falhas na produção desses sistemas (LIMA, 2021). O CP3 está relacionado com tecnologias que reduzem os mais diferentes tipos de ameaça advindos do meio digital (DA COSTA, 2019). Por fim, O CP4 está ligado à capacidade de simular em sistemas virtuais os comportamentos reais no ambiente virtual a partir dos dados recolhidos. Caso algo ocorra fora do padrão de determinado processo, o erro será identificado em tempo real (LIMA, 2021). Segue abaixo a carga fatorial de cada variável identificada nos componentes principais. As Tabelas 12 e 13 apresentam os resultados da análise fatorial para os indicadores de desempenho.

Tabela 12 – Autovalores, KMO e Teste de Bartlett para os Indicadores de Desempenho

CP	Autovalores	% da variância	% acumulada	KMO	Bartlett
CP1	4,529	56,615	56,615	<b>0,870</b>	<b>0,000</b>
CP2	1,016	12,698	69,313		

Fonte: Autoria Própria

Para os indicadores de desempenho da empresa, os resultados ficaram acima do limite mínimo de 50% e com validade discriminante satisfatória (TABACHNICK e FIDELL, 2013), indicando a formação de dois componentes que explicam uma parcela da variância de 69,31%. Tanto o teste KMO quanto o de esfericidade constataram que os dados são adequados para a aplicação da AF nas variáveis analisadas.

Tabela 13 – Matriz de Componentes Rotacionada Indicadores de Desempenho  
(Rotação Varimax)

	Componentes	
	1	2
<b>ID1</b>	<b>0,709</b>	0,370
<b>ID2</b>	<b>0,830</b>	0,163
<b>ID3</b>	<b>0,672</b>	0,159
<b>ID4</b>	<b>0,839</b>	0,062
<b>ID5</b>	<b>0,562</b>	<b>0,520</b>
<b>ID6</b>	<b>0,852</b>	0,149
<b>ID7</b>	<b>0,870</b>	0,089
<b>ID8</b>	0,042	<b>0,951</b>

Fonte: Autoria Própria

Para a identificação dos CPs, foi utilizada a classificação adotada por Bowersox *et al.*, (2014), que divide a medição do desempenho logístico em dois focos: interno (CP1) e externo (CP2). Para o primeiro, busca-se atingir objetivos operacionais específicos como o reflexo mais direto do desempenho logístico. Já o externo centraliza as melhores práticas, medidas e processos de organizações comparáveis para alcançar melhores resultados na cadeia.

#### 4.3.3 Alpha de Cronbach

Após as estatísticas descritivas anteriores, foram efetuados os cálculos referentes ao Alpha de Cronbach ( $\alpha$ ) para garantir a confiabilidade e comprovar a consistência interna dos itens. Os valores permitidos para o coeficiente estão apresentados na Figura 12.

Figura 12 – Classificação da confiabilidade do Alpha de Cronbach

Confiabilidade	Muito Baixa	Baixa	Moderada	Alta	Muito Alta
Valor de $\alpha$	$\alpha < 0,30$	$0,30 \leq \alpha < 0,60$	$0,60 \leq \alpha < 0,75$	$0,75 \leq \alpha < 0,90$	$0,90 \leq \alpha$

Fonte: Garcia (2018, p. 49)

Um alto grau de consistência das medidas indica facilidade de interpretação do escore final, como reflexo dos pontos que compõem o instrumento (SANTOS; CARVALHO; ARAÚJO, 2016). As tabelas 14 e 15 exibem os resultados do coeficiente para as variáveis analisadas.

Tabela 14 – Alpha de Cronbach para o Nível de Implementação das Tecnologias

Alpha de Cronbach	Número de Itens	Itens (variáveis)
0,861	6	NI2, NI3, NI4, NI6, NI7 e NI8
0,828	5	NI1, NI5, NI13, NI16 e NI17
0,772	4	NI6, NI12, NI14 e NI15
0,632	4	NI9, NI10, NI11 e NI13

Fonte: Autoria Própria

O Alpha de Cronbach para os níveis de implementação das tecnologias apresentou uma confiabilidade relevante. Observaram-se coeficientes de consistência interna aceitáveis para as dimensões dos componentes principais. O valor mínimo para  $\alpha$  foi 0,632 (pertencente ao grupo CP4) e o máximo de 0,861 (CP1).

Tabela 15 – Alpha de Cronbach para o Nível de Desempenho nos Indicadores

Alpha de Cronbach	Número de Itens	Itens (variáveis)
0,898	7	ID1, ID2, ID3, ID4, ID5, I6 e ID7
0,529	2	ID5 e ID8

Fonte: Autoria Própria

No caso dos indicadores de desempenho, o Alpha de Cronbach variou entre 0,898 (para o CP1) e 0,529 (para o CP2). Desta análise, foi possível identificar que os itens ID5 e ID8 apresentam uma confiabilidade reduzida em relação à média esperada ( $\alpha < 0,6$ ). Embora este valor seja considerado baixo, é possível utilizá-lo em consequência do tamanho do questionário e o estudo ser exploratório. Desta forma, optou-se por não eliminar nenhum desses itens do instrumento.

#### 4.4 REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA

Para identificar o efeito do nível de implementação das tecnologias, do porte e do setor das empresas nos indicadores de desempenho, foi utilizada a análise de regressão *Ordinary Last Squared* (OLS). Para medir a qualidade do ajuste da Regressão Múltipla e indicar modelos mais precisos, é fundamental que o valor de  $R^2$  seja um número entre 0 e 1, com valores mais

próximos de 1. O valor p associado ao modelo indica a probabilidade de que os construtos estejam acontecendo ao acaso. Os valores variam em uma escala de 0.0 a 1.0 e um valor p pequeno, geralmente 0.05 ou menor, é necessário para determinar que os relacionamentos no modelo são existentes (ESRI, 2020). Foi executado um modelo para cada hipótese de pesquisa, que será apresentado a seguir.

O modelo está dividido em três variáveis de controle: X1, X2 e X3. A variável X1 usa apenas o porte como variável independente, a variável X2 utiliza além do porte, as tecnologias 4.0 como variáveis independentes e a variável X3, além do porte e das tecnologias adiciona-se como variável independente o setor das empresas. Como variável dependente, considerou-se o indicador de desempenho logístico das empresas. A Tabela 16 mostra os resultados fornecidos pelo modelo.

Tabela 16 – Modelo Regressão Linear Múltipla

Variáveis	X1			X2			X3		
	C.Pad	t	P-valor	C.Pad	t	P-valor	C.Pad	t	P-valor
P12	0,744	8,105	0,000	0,044	0,619	0,539	0,333	4,828	0,000
CNI1				0,104	0,589	0,559			
CNI2				<b>0,570</b>	3,582	<b>0,001</b>			
CNI3				0,093	0,571	0,571			
CNI4				0,171	1,254	0,216			
CNI2*AT1							0,133	2,302	0,026
CNI2*AT2							0,377	6,891	0,000
CNI2*AT3							<b>0,565</b>	9,049	0,000
F		65,691			102,117			78,627	
R <sup>2</sup> ajustado		<b>0,545</b>			<b>0,904</b>			0,852	
Pvalor		0,000			0,000			0,000	
P-valor					0,000			0,000	
Mudança F									

Fonte: Autoria Própria

Os resultados apontam que no modelo X1 a variável “porte” é capaz de apresentar significância estatística aceitável para explicar o índice de desempenho das empresas, apresentando um R<sup>2</sup> ajustado de 0,545.

Na variável de controle X2, ao incluir a variável “tecnologias da indústria 4.0”, o modelo mostra uma melhoria significativa (p-valor < 0,001) do seu poder preditivo. O valor de R<sup>2</sup> aumenta substancialmente de 0,545 para 0,904 com a inclusão desta variável. Dentre os 4

componentes, o que apresentou maior coeficiente padrão foi o CP2, identificado pelas tecnologias analíticas ou relacionadas aos sistemas, tais como integração (WMS e ERP), sensores inteligentes (RFID), dispositivos móveis, virtualização e digitalização. Conclui-se que a regressão efetuada respeita os critérios para poder ser considerada válida.

No modelo X3, ao incluir o setor das empresas, é possível verificar uma leve redução no valor do R<sup>2</sup> de 0,904 para 0,852. Entretanto, o coeficiente padrão R está mais vinculado entre CP2 e a área de atuação 3 - ou seja, as indústrias - mostrando uma relação entre eles. Na amostra não foi possível identificar efeito significativo das CP1 (digital), CP3 (segurança) e CP4 (virtual) sobre o desempenho operacional das empresas.

Sendo assim, independente do porte, o trabalho sugere que as empresas que estão implementando as tecnologias propostas pelo CP2 (analíticas) são as que mais tiveram seus indicadores de desempenho logísticos impactados positivamente. Isso aponta que o tamanho da empresa não é um impedimento para a inserção dessas tecnologias, posto que as empresas menores enfrentam desafios diferentes das maiores (TORTORELLA; FETTERMANN, 2018). Já os ganhos estão amplamente comprovados na literatura em trabalhos como o realizado por De Freitas (2016), uma vez que essas tecnologias - como sensores inteligentes (RFID) ou sistemas e dispositivos móveis (GPS) - permitem a automatização dos envios e entregas, previsões de chegadas, monitoramento do controle da temperatura de frotas, impactando diretamente a qualidade dos produtos e serviços.

Uma outra ótica também pode ser encontrada no trabalho de Tortorella e Fettermann (2018), ressaltando que as empresas precisam levar em consideração outros aspectos socioeconômicos ao inserir esforços nessas tecnologias. Isso porque o Brasil, por ser um país emergente, possui uma instabilidade econômica que tende a influenciar nas variações cambiais e afetar significativamente o desempenho operacional de uma empresa dependendo do perfil do negócio.

#### 4.5 ANÁLISE DAS BARREIRAS

Para análise das barreiras que dificultam a implementação das tecnologias digitais, foram realizados os mesmos procedimentos estatísticos. Optou-se por fazer uma análise separada da variável buscando um maior detalhamento e alinhamento com o objetivo específico proposto. A Tabela 17 apresenta a análise descritiva das barreiras.

Tabela 17 – Descritivo das variáveis por Barreiras

BA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<b>Média</b>	2,7	2,3	2,9	2,9	2,8	2,8	3,6	2,7	3	2,8	3,3	2,7	2,9	2,4	2,8	2,8	2,1	2,6	2,4	2,4	2,3	2,2	2,4
<b>Mediana</b>	3	2	3	3	3	3	4	3	3	3	3,5	3	3	2	3	3	2	2	2	2	2	2	2
<b>Máximo</b>	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
<b>Mínimo</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Desvio Padrão</b>	1,3	1,3	1,4	1,2	1,3	1,3	1,5	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,1	1,2	1,2	1,3	1,2	1,2	1,2

Fonte: Autoria Própria

Dentro da escala de 1 a 5, as maiores médias foram 3,6 na barreira 7 (altos níveis de investimento) e 3,3 na barreira 11 (falta de clareza sobre os benefícios econômicos do investimento digital). Esse resultado vai de encontro com o estudo publicado pelo BNDES que aponta o alto custo de implantação das tecnologias digitais como sendo a principal barreira à incorporação destas, assim como a falta de clareza na definição do retorno sobre o investimento (VERMULM *et al.*, 2018).

A linha lógica também está abordada no estudo realizado por Herceg *et al.* (2020), relatando que a falta de competências e recursos financeiros representam as maiores barreiras à implementação da Indústria 4.0. Stoltz *et al.* (2017) traz o olhar dos custos voltados para a implementação da Realidade Aumentada em armazéns, colocando o custo de propriedade como sendo uma barreira limitante para a adoção desta tecnologia. Como sugestão, a pesquisa de Vermulm *et al.* (2018) propõe a necessidade de um grande esforço de modernização nos próximos anos, de forma a reduzir a defasagem tecnológica das empresas brasileiras e consequente dificuldade em inserção internacional.

As maiores correlações ficaram entre 0,941, 0,919 e 0,893, envolvendo as barreiras que tratam sobre a falta de regulamentações legais para gerenciar crimes cibernéticos e roubo de dados, regulamentações ineficazes em relação ao trabalho e emprego e falta de regulamentações legais para o gerenciamento de propriedade de dados, direitos autorais e questões de P&D. A tabela de correlações das barreiras encontra-se no apêndice C.

Uma proposta é apresentada no estudo de Müller (2019), afirmando que o acesso aos dados precisa ser legalmente esclarecido através de nova regulamentação contratual. Esta deve

incluir tópicos como proteção de dados, responsabilidade, segredos comerciais e até distribuição justa de lucros em projetos com parcerias entre empresas distintas. As Tabelas 18, 19 e 20 apresentam os resultados da análise fatorial e do alpha de cronbach para as barreiras.

Tabela 18 – Autovalores, KMO e Teste de Bartlett para as barreiras

CP	Autovalores	% da variância	% acumulada	KMO	Bartlett
CP1	11,588	50,382	50,382		
CP2	2,215	9,629	60,010	<b>0,845</b>	<b>0,000</b>
CP3	1,424	6,193	66,203		
CP4	1,191	5,179	71,382		
CP5	1,003	4,360	<b>75,742</b>		

Fonte: Autoria Própria

Os dados apresentaram uma variância explicada em 75,74% indicando a formação de cinco componentes principais. Um único fator (CP1) tem autovalor e variância total de 11,58 e 50,38%, respectivamente. O índice KMO está adequado com a bibliografia ( $>0,6$ ), assim como o teste de esfericidade de Bartlett. Os cinco componentes foram classificados e divididos de acordo com as seguintes categorias: Barreiras Legais (CP1), Barreiras Organizacionais (CP2), Barreiras Estratégicas (CP3), Barreiras Tecnológicas e de Infra-Estrutura (CP4) e Barreiras Sociais (CP5).

As legais referem-se às questões de questões como patentes e direitos autorais, que cada vez mais despertam a atenção. As organizacionais fazem referência ao sistema de gestão adotado, à cultura da empresa, sua interação entre os seus diferentes níveis, falta de padrões ou detalhes sobre o processo industrial (PINHEIRO *et al.*, 2020). As estratégicas estão vinculadas desde a ausência de roteiros estratégicos até resistência à mudança por parte dos funcionários. Segundo estudo realizado por Choi *et al.* (2015), as resistências podem estar relacionadas às formas de trabalho dos colaboradores, uma vez que possuem sua própria experiência e métodos próprios.

As barreiras tecnológicas, por sua vez, estão vinculadas com a ausência de infraestrutura e com os altos níveis de investimento. Nas economias emergentes, a incorporação

das tecnologias digitais é vista como uma ação de alto risco nas dada a restrição de recursos somada aos baixos investimentos iniciais (SINGH; BHANOT, 2019). Por último, as barreiras sociais envolvem desde a escassez de força de trabalho até a falta de oportunidades de emprego para mão de obra menos qualificada.

Tabela 19 – Matriz de Componentes Rotacionada para as Barreiras (Rotação Varimax)

	Componentes				
	1	2	3	4	5
<b>BA1</b>	0,324	0,298	<b>0,689</b>	0,014	-0,048
<b>BA2</b>	0,090	0,076	<b>0,868</b>	-0,081	0,214
<b>BA3</b>	0,230	<b>0,700</b>	0,269	0,246	0,074
<b>BA4</b>	0,157	<b>0,528</b>	<b>0,500</b>	0,234	-0,027
<b>BA5</b>	0,117	<b>0,801</b>	0,076	0,179	0,226
<b>BA6</b>	0,027	0,266	<b>0,713</b>	0,152	-0,016
<b>BA7</b>	0,000	0,280	<b>0,530</b>	<b>0,428</b>	-0,061
<b>BA8</b>	0,336	<b>0,427</b>	0,345	0,161	<b>0,477</b>
<b>BA9</b>	0,380	<b>0,659</b>	0,380	0,224	0,219
<b>BA10</b>	0,253	<b>0,769</b>	0,201	0,078	0,131
<b>BA11</b>	0,256	<b>0,452</b>	<b>0,453</b>	<b>0,407</b>	0,162
<b>BA12</b>	0,176	-0,001	<b>0,649</b>	0,381	0,381
<b>BA13</b>	0,332	<b>0,650</b>	0,279	0,262	0,144
<b>BA14</b>	0,127	0,385	0,069	0,112	<b>0,833</b>
<b>BA15</b>	0,388	0,333	0,182	<b>0,706</b>	0,097
<b>BA16</b>	0,269	0,284	0,123	<b>0,757</b>	0,207
<b>BA17</b>	0,360	0,074	0,035	<b>0,533</b>	<b>0,566</b>
<b>BA18</b>	<b>0,600</b>	0,283	0,156	<b>0,622</b>	0,150
<b>BA19</b>	<b>0,781</b>	0,017	0,128	0,167	<b>0,459</b>
<b>BA20</b>	<b>0,735</b>	0,103	0,385	0,222	-0,065
<b>BA21</b>	<b>0,796</b>	<b>0,499</b>	0,040	0,167	0,148
<b>BA22</b>	<b>0,837</b>	0,397	0,093	0,225	0,145
<b>BA23</b>	<b>0,760</b>	<b>0,420</b>	0,104	0,276	0,149

Fonte: Autoria Própria

As cargas fatoriais de todos os itens pertencentes aos CPs estão acima de 0,4, tornando-as aceitáveis na análise fatorial conforme estudo apresentado por Yildirim (2015) e Tabachnick e Fidell (2013). Seus valores variaram entre 0,427 e 0,833. Assim, nenhum de seus itens foi excluído.

Tabela 20 – CPs e Alpha de Cronbach para as barreiras

CP	Alpha de Cronbach	Número de Itens	Itens (variáveis)
1	0,943	6	BA18, BA19, BA20, BA21, BA22, BA23
2	0,936	10	BA3, BA4, BA5, BA8, BA9, BA10, BA11, BA13, BA21 e BA23
3	0,864	7	BA1, BA2, BA4, BA6, BA7, BA11, BA12
4	0,870	6	BA7, BA11, BA15, BA16, BA17, BA18
5	0,822	4	BA8, BA14, BA17, BA19

Fonte: Autoria Própria

Os coeficientes de alpha de cronbach foram bem elevados, tendo seu mínimo em 0,822 e máximo em 0,943, representando uma confiabilidade alta e muito alta, respectivamente. Sendo assim, todas as análises possuem significância estatística para identificar as principais barreiras e seus efeitos na implementação das tecnologias da Indústria 4.0.

## 5 CONCLUSÃO

O poder de transformação das mudanças tecnológicas frente aos avanços oriundos da quarta revolução industrial é enorme, transformando sistemas de produção, formas de trabalho e pessoas. A logística é parte desse processo, sendo necessária sua adaptação e evolução de acordo com o novo ambiente tecnológico. A tecnologia não é um fim, mas sim um meio de adquirir competitividade e sustentabilidade dentro das operações logísticas e satisfazer as demandas que surgem do consumidor final (BARLETA; PÉREZ; SÁNCHEZ; 2020).

A análise descritiva permitiu identificar o nível de implementação das tecnologias que estão sendo aplicadas através das respostas obtidas diretamente do questionário. Nestas, foi possível analisar que ainda há um *gap* na inserção, uma vez que a maioria dos valores ficou abaixo da média da escala Likert. As tecnologias menos implementadas obtiveram médias 1,3 e 1,4, correspondendo à realidade virtual e aumentada e aos sistemas cyber físicos. Essa ausência pode trazer grandes impactos, uma vez que os modelos tradicionais de logística costumam trabalhar com altos níveis altos de estoque, centros de distribuição não tão conectados, contribuindo para a incidência de erros e perdas. Tecnologias como o armazenamento de dados em nuvem, a integração de sistemas (ERP, WMS, TMS) e sistemas e dispositivos móveis mostraram-se mais aplicados no contexto logístico, alcançando notas 3,4; 3,5 e 3,6, respectivamente. Essas tecnologias permitem a visualização de todas as operações logísticas de forma integrada: no recebimento com rápida identificação dos produtos (WMS e RFID), na armazenagem com dispositivos móveis e redes locais sem fio para monitorar o fluxo de produtos (tablets e smartphones), até o transporte através do rastreamento de carga e geração de relatórios de desempenho (TMS). Essas análises permitiram o atingimento do primeiro objetivo específico.

Para cumprir o segundo objetivo específico, foi realizada uma análise descritiva, de correlação e posterior análise fatorial das barreiras encontradas na literatura. A primeira etapa permitiu identificar que os altos investimentos e a falta de clareza que as tecnologias proporcionam são impeditivos para a implementação. Sendo assim, é importante reconhecer os desafios advindos deste novo ambiente digital. A correlação entre as barreiras mostrou que há uma ligação entre as relacionadas ao roubo de dados e a falta de regulamentações legais para gerenciar crimes cibernéticos, assim como a falta de regulamentações legais para o gerenciamento de propriedade de dados, direitos autorais e questões de P&D. Dada a baixa

implementação dos sistemas cyber físicos (relatada na análise descritiva das tecnologias) e a predominância da barreira vinculada ao roubo de dados, nota-se a relevância que as infraestruturas de dados possuem. É importante que estas sejam seguras e guarnecidas pelo governo, ao mesmo tempo que novas iniciativas apareçam para que as operações logísticas sejam resistentes a possíveis ataques, evitando as consequências sobre o resto da cadeia de suprimentos.

A análise fatorial das barreiras permitiu a formação de cinco componentes principais (Barreiras Legais, Organizacionais, Estratégicas, Tecnológicas/Infraestrutura e Sociais) que atenderam os requisitos estabelecidos pela literatura, garantindo sua significância estatística. De forma geral, é necessária uma estrutura apropriada para o desenvolvimento desses instrumentos de tecnologia e que todos os agentes envolvidos precisam estar cientes dessas mudanças, de modo que a competitividade, a transformação da produção e criação de empregos de qualidade sejam beneficiados (SANTOS; MANHÃES; LIMA; 2018).

Por fim, o terceiro objetivo específico foi alcançado através da análise fatorial exploratória em conjunto com a regressão linear. O estudo buscou confirmar na literatura as tecnologias digitais existentes e a partir delas identificar o efeito gerado nos indicadores de desempenho logístico através de regressão linear múltipla, sendo testado um modelo com variáveis de controle. Este pôde ser considerado adequado, na medida em que revelou uma boa medida da proximidade de ajustamento entre os dados.

A análise exploratória propôs a formação de quatro componentes principais (digital, segurança, analítica e virtual) para as tecnologias digitais que explicaram 64,79% da variância dos dados. O modelo sugeriu que as empresas que estão implementando as tecnologias analíticas são as que mais tiveram seus indicadores de desempenho logísticos impactados positivamente, especialmente nas indústrias de pequeno e médio porte.

Segundo estudo realizado pela FIRJAN (2017), o desafio para implementação é maior em pequenas e médias empresas devido às dificuldades do perfil para acessar linhas de financiamento apropriadas para atualização de toda a cadeia, quando comparadas às grandes empresas. A magnitude dessas mudanças exige uma profunda mudança cultural na governança logística, especialmente em relação à cibersegurança e a incorporação de objetivos de resiliência em todos os processos da cadeia logística. Uma forma de avançar na transformação da produção é a criação de estruturas tecnológicas com o objetivo de compartilhar dados e informações de forma transparente e estratégias comuns para manutenção e desenvolvimento

tecnológico, aproveitando ao máximo o potencial disruptivo das tecnologias na logística (BARLETA; PÉREZ; SÁNCHEZ; 2020). Portanto, os resultados revelaram que todos os construtos considerados são estatisticamente significativos para afetar o impacto das tecnologias da Indústria 4.0 sobre o desempenho da logística. Sendo assim, o trabalho se propôs a cumprir com o objetivo geral através do diagnóstico das implementações das tecnologias da Indústria 4.0 na Logística em Santa Catarina foi atingido.

### 5.1 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

As recomendações do estudo focam em questões consideradas fundamentais para a inserção de tecnologias digitais nos indicadores logísticos do estado de Santa Catarina. Todavia, é possível destringir diversas propostas que podem aprofundar ainda mais o tema em questão. Por se tratar de um assunto relativamente recente na prática organizacional brasileira, o estudo também pode ser aplicado em outras Regiões/Estados do Brasil, visando a maior contribuição com a literatura realizando um estudo comparativo dos níveis de implementação entre os estados.

A adoção dessas tecnologias também apresenta reflexos na estrutura interna das empresas. Este estudo teve o enfoque logístico, mas pode ser aplicado para outras áreas. Como empresas/indústrias são a mistura de produção, RH, administrativo, financeiro e marketing, torna-se um desafio e ao mesmo tempo uma oportunidade a geração de soluções que possam atuar em todas estas frentes (FIRJAN, 2017). Indo além, a pesquisa também pode ser estratificada por setores, entendendo o comportamento digital dentro do setor automobilístico, têxtil, eletroeletrônico, por exemplo.

Por fim, é possível ampliar a pesquisa aplicando outras metodologias, analisando as distinções entre os métodos, assim como a realização de estudos levando em consideração outros fatores ou variáveis.

## REFERÊNCIAS

- ABBAD, Gardênia; TORRES, Cláudio Vaz. **Regressão múltipla stepwise e hierárquica em Psicologia Organizacional: aplicações, problemas e soluções.** Estudos de Psicologia (Natal), v. 7, p. 19-29, 2002.
- AHUETT-GARZA, Horacio; KURFESS, Thomas. **A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing.** Manufacturing Letters, v. 15, p. 60-63, 2018.
- AKANMU, Abiola; ANUMBA, Chimay J. **Cyber-physical systems integration of building information models and the physical construction.** Engineering, Construction and Architectural Management, 2015.
- AKHTAR-DANESH, Noori et al. **A comparison between major factor extraction and factor rotation techniques in Q-methodology.** Open Journal of Applied Sciences, v. 7, n. 04, p. 147, 2017
- ARNOLD, C., KIEL, D., & Voigt, K. I. (2017). Innovative business models for the industrial internet of things. *BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte*, 162(9), 371-381. <https://doi.org/10.1007/s00501-017-0667-7>Barreto
- AUSTIN M.P.; BELBIN. L.; MEYERS J.A.; DOHERTY M. D.; LUOTO M. **Evaluation of statistical models used for predicting plant species distributions: role of artificial data and theory.** Ecological Modelling. Nov 16;199(2):197-216, 2006.
- BAG, Surajit; GUPTA, Shivam; KUMAR, Sameer. **Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development.** International journal of production economics, v. 231, p. 107844, 2021.
- BAHRIN,M.; OTHMAN,F.;AZLI, N.; TALIB,M.**Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic.**Journal Teknologi, [s.l.], v. 78, n.6-13, p.137–143, 2016
- BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial.** Bookman Editora, 2009.
- BANDEIRA, Gabriel Grubel. **Impacto do investimento em TI na emissão de gases de efeito estufa: um estudo nas atividades de abastecimento e logística na cadeia de suprimentos do setor automotivo.** 2017.
- BARBOSA, Danilo Hisano; MUSETTI, Marcel Andreotti; KURUMOTO, Juliana Sayuri. **Sistema de medição de desempenho e a definição de indicadores de desempenho para a área de logística.** XIII SIMPEP, p. 1-11, 2006.
- BARLETA, Eliana; PÉREZ, Gabriel; SÁNCHEZ, Ricardo. **Industry 4.0 and the emergence of Logistics 4.0.** 2020.

BEKEY, G. A. **Autonomous Robots**. Massachusetts Institute of Technology Press. 2005.

BERTAGLIA, Paulo Roberto. **Logística e gerenciamento da cadeia de abastecimento**. 3. ed. – São Paulo: Saraiva, 2016. 528 p.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. G.. **Statistics notes: Cronbach's alpha**. British Medical Journal, v.314, n.7080, p. 572, 1997

BOETTCHER, M. Revolução Industrial - Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0. **Linkedin**. 26 nov. 2015. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-de-hist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>> . Acesso em: 26 de maio de 2021.

BONILLA, Silvia H. et al. **Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges**. Sustainability, v. 10, n. 10, p. 3740, 2018.

BOWERSOX, Donald J.; CLOSS, David J.; COOPER, M. Bixby; BOWERSOX, John C. **Gestão logística da cadeia de suprimentos**. 4ª Ed. Porto Alegre: AMGH, 2014. 32 p. 2001.

BRETTEL, Malte, et al. "How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: an industry 4.0 perspective." *FormaMente* 12 (2017).

CARMONA, André Loch Mesones et al. **Análise dos impactos da indústria 4.0 na logística empresarial**. 2017.

CHEN, T.; LIN, Y.-C. **Feasibility evaluation and optimization of a smart manufacturing system based on 3dprinting: areview**. International Journal of Intelligent Systems, [s.l.], v.32, n.4, p.394-413, 2017.

CHICARINO, V. R. et al. **Uso de blockchain para privacidade e segurança em internet das coisas**. Livro de Minicursos do VII Simpósio Brasileiro de Segurança da Informação e de Sistemas Computacionais. Brasília: SBC, v. 28, 2017.

CHOI, SangSu et al. **Digital manufacturing in smart manufacturing systems: contribution, barriers, and future directions**. In: IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. Springer, Cham, 2015. p. 21-29.

CHOW, G.; HEAVER, T. D.; HENRIKSSON, L. E. **Logistics performance: definition and measurement**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Bradford, 1994.

CHRISTOPHER, M. **Logistics & Supply Chain Management**. 5ed. Nova Jersey: FT Press, 2016. 328p.

CHUKWUEKWE, D. O., SCHJØLBERG, P., RØDSETH, H., STUBER, A. **Reliable, robust and resilient systems: Towards development of a predictive maintenance concept within the industry 4.0 environment**. Paper presented at the EFNMS Euro maintenance conference, 2016.

CIMINI, C.; LAGORIO, A.; PIROLA, F.; PINTO, R. **Exploring human factors in Logistics 4.0: empirical evidence from a case study**. IFAC-PapersOnLine, v. 52, n. 13, 2183-2188, 2019.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Oportunidades para a indústria 4.0: aspectos da demanda e oferta no Brasil**. Brasília: CNI, 2017.

COSER, Alessandro Luis. **A evolução da cultura de segurança e a influência no aumento da produtividade na indústria de painéis de madeira**. 2019.

COSTA, Dienifer Ferreira; WUNSCH, Guilherme. **A PROTEÇÃO DE DADOS DENTRO DAS FÁBRICAS INTELIGENTES CRIADAS PELA INDÚSTRIA 4.0**. Revista de Direito da Empresa e dos Negócios, v. 3, n. 2, p. 22-41, 2019.

COSTA, F. J. **Mensuração e desenvolvimento de escalas: aplicações em administração**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.

COSTELLO, Anna B.; OSBORNE, Jason. **Best practices in exploratory factor analysis: Four recommendations for getting the most from your analysis**. Practical assessment, research, and evaluation, v. 10, n. 1, p. 7, 2005.

CRONBACH, Lee J. **Coefficient alpha and the internal structure of tests**. psychometrika, v. 16, n. 3, p. 297-334, 1951.

CSCMP. **CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary**. Disponível em: <http://bit.do/eHW6G>. Acesso em 15 de junho de 2021

CUMMINS, Shannon; PELTIER, James W.; DIXON, Andrea. **Omni-channel research framework in the context of personal selling and sales management: A review and research extensions**. Journal of Research in Interactive Marketing, 2016.

DALENOGARE, Lucas Santos et al. **The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance**. International Journal of Production Economics, v. 204, p. 383-394, 2018.

DELOITTE. **Delivering Digital Talent: preparing the logistics and distribution workforce for Industry 4.0 and the connected supply network**, 2018. Disponível em: . Acesso em: abr/2019.

DIAS, Camila Rafaela Gomes. **Desempenho do método de estimação por componentes principais e da rotação varimax na análise de fatores**. 2018.

DIWAN, M. A. **Internet of Things in Logistics: Towards Autonomous Logistics & Smart Logistics Entities**. In: **International Maritime transport & Logistic Conference**. Available at <https://marlog.aast.edu/archive/2016/pdf/Papers/s06p02.pdf>. pdf. 2016.

DOMINGO GALINDO, Laura. **The challenges of logistics 4.0 for the supply chain management and the information technology**. 2016. Dissertação de Mestrado. NTNU.

DRATH, R. HORCH, A. **Industrie 4.0: Hit or Hype? [Industry Forum]**. IEEE Industrial Electronics Magazine, 8(2), p. 56–58, 2014.

ESRI. **ANÁLISE DE REGRESSÃO (2020)**. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-insights/overview>> Acesso em 10 de agosto de 2021.

FATORACHIAN, Hajar; KAZEMI, Hadi. **Impact of Industry 4.0 on supply chain performance. Production Planning & Control**, v. 32, n. 1, p. 63-81, 2021.

FÁVERO, Luiz Paulo; BELFIORE, Patrícia. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com Excel®, SPSS® e Stata®**. Elsevier Brasil, 2017.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA (FIESC). **Produção industrial de Santa Catarina tem crescimento de 36,5% em março**. Disponível em: < <https://observatorio.fiesc.com.br/publicacoes/economia/producaoindustrial032021>> Acesso em 28 de julho de 2021.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (FIRJAN). **Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios**. Firjan, 2019.

FETTERMANN, Diego Castro et al. **How does Industry 4.0 contribute to operations management?**. Journal of Industrial and Production Engineering, v. 35, n. 4, p. 255-268, 2018.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. **Visão além do alcance: uma introdução à análise fatorial**. Opinião pública, v. 16, n. 1, p. 160-185, 2010.

FRANK, Alejandro G. et al. **Servitization and Industry 4.0 convergence in the digital transformation of product firms: A business model innovation perspective**. Technological Forecasting and Social Change, v. 141, p. 341-351, 2019.

FREITAS, Matheus Menna Barreto Cardoso, Manoela Adriana de Farias Fraga, and Gilson PL de Souza. **"Logística 4.0: conceitos e aplicabilidade: uma pesquisa-ação em uma empresa de tecnologia para o mercado automobilístico"**. Caderno PAIC 17.1 (2016): 237-261.

GARAY, Jorge Rodolfo Beingolea. **CyberSens: uma plataforma para redes de sensores em sistemas ciber-físicos**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GARCIA, Mayara. **Diagnóstico estratégico da implementação da Produção enxuta nas empresas de Santa Catarina**. Acervo UFSC, 2018.

GHOBAKHLOO, Morteza. **The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0**. Journal of Manufacturing Technology Management, 2018.

GIBSON, I., ROSEN, D. AND STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies**. New York: Springer. 2010.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GLISTAU, Elke; COELLO MACHADO, Norge Isaias. **Industry 4.0, logistics 4.0 and materials-Chances and solutions**. In: Materials Science Forum. Trans Tech Publications Ltd, 2018. p. 307-314.

GODOY, Rodrigo dos Santos. **Indicador de produtividade aplicado ao processo de separação de pedidos: um estudo de caso na empresa XYZ**. 2016.

GÖKALP, Ebru; ŞENER, Umut; EREN, P. Erhan. **Development of an assessment model for industry 4.0: industry 4.0-MM**. In: International Conference on Software Process Improvement and Capability Determination. Springer, Cham, 2017. p. 128-142.

GORECKY, D.; SCHMITT, M.; LOSKYLL, M.; ZUHLKE, D. **Human-machine-interaction in the industry 4.0 era**. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL INFORMATICS (INDIN), 12, 2014, Porto Alegre (RS), Brasil. Proceedings...[s.l]: IEEE, 2014. p. 289-294

HAIR JR, Joseph F. et al. **Advanced issues in partial least squares structural equation modeling**. Sage publications, 2017.

HENNING, K. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**. 2013.

HENRIQUES, Carla. **Análise de regressão linear simples e múltipla**. Departamento de Matemática. Escola Superior de Tecnologia de Viseu. Portugal, 2011.

HERCEG, Iva et al. **Challenges and driving forces for industry 4.0 implementation**. Sustainability, v. 12, n. 10, p. 4208, 2020

HOFMANN, Erik; RÜSCH, Marco. **Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics**. Computers in industry, v. 89, p. 23-34, 2017.

HONGYU, Kuang. **Análise Fatorial Exploratória: resumo teórico, aplicação e interpretação**. E&S Engineering and Science, v. 7, n. 4, p. 88-103, 2018.

HORA, H. R. M.; MONTEIRO, G. T. R.; ARICA, J. **Confiabilidade em Questionários para Qualidade: Um estudo com o Coeficiente Alfa de Cronbach**. Produto & Produção, v.11, n.2, p.85-103, 2010.

HORENBERG, Daan. **Applications within Logistics 4.0: A research conducted on the visions of 3PL service providers**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso. University of Twente.

HORVÁTH, Dóra; SZABÓ, Roland Zs. **Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?**. Technological forecasting and social change, v. 146, p. 119-132, 2019.

IBM (2019), **“X-Force Threat Intelligence Index 2019”** [online] [https://www.ibm.com/security/violação de dados / inteligência contra ameaças](https://www.ibm.com/security/violação%20de%20dados%20-%20inteligência%20contra%20ameaças). 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Classificação das atividades econômicas na CNAE**. Disponível em: <<https://cnae.ibge.gov.br/?view=estrutura>>. Acesso em: 10 de julho de 2021.

ILOS. **Supply Chain 4.0: A nova tendência das indústrias no Brasil e no mundo**. 2020. Disponível em: <<https://www.ilos.com.br/web/tag/logistica-4-0/>>. Acesso em: 03 de julho de 2021.

JOHNSON, R.A.; WICHERN, D.W. **Applied multivariate statistical analysis**. 6ª Edição. Madison: Prentice Hall International. 2008. 816p

JÚNIOR, Severino Domingos da Silva; COSTA, Francisco José. **Mensuração e escalas de verificação: uma análise comparativa das escalas de Likert e Phrase Completion**. PMKT–Revista Brasileira de Pesquisas de Marketing, Opinião e Mídia, v. 15, n. 1-16, p. 61, 2014.

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

KANG, H.S., LEE, J.Y., CHOI, S., KIM, H., PARK, J.H., SON, J.Y., Kim, B.H., Do Noh, S. Smart manufacturing: past research, present findings, and future directions. Int. J. Precis. Eng. Manuf.-Green Technol. 3 (1), 111–128. <https://doi.org/10.1007/s40684-016-0015-5>. 2016.

KIEL, Daniel et al. **Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0**. In: Digital Disruptive Innovation. 2020. p. 231-270.

KLINE, Paul. **An easy guide to factor analysis**. Routledge, 2014.

KPMG, US, Mark Martin, and Thomas Bettge. "Remarkably unremarkable results for APAs in the midst of COVID-19." International Tax Review (2021).

LACERDA, Rogério Tadeu de Oliveira; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim. **Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho**. Gestão & Produção, v. 19, p. 59-78, 2012.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.-G.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, Springer, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

LEZZI, Marianna; LAZOI, Mariangela; CORALLO, Angelo. **Cybersecurity for Industry 4.0 in the current literature: A reference framework**. Computers in Industry, v. 103, p. 97-110, 2018.

LIDIANE, Lordelo Mendes Kruschewsky et al. **Análise Fatorial por Meio da Matriz de Correlação de Pearson e Policórica no Campo das Cisternas**. E&S Engineering And Science, v. 7, n. 1, p. 58-70, 2018.

LIMA, Faíque Ribeiro; GOMES, Rogério. **Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica.** Revista Brasileira de Inovação, v. 19, 2021.

LU, Y., 2017. **Industry 4.0: a survey on technologies, applications and open research issues.** J. Ind. Inf. Integr. 6, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>.

LUMMUS, Rhonda R.; KRUMWIEDE, Dennis W.; VOKURKA, Robert J. **The relationship of logistics to supply chain management: developing a common industry definition.** Industrial management & data systems, 2001.

LUTHRA, Sunil; MANGLA, Sachin Kumar. **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.

MATANA, G.; SIMON, A.; GODINHO F., M.; HELLENO, A. Method to assess the adherence of internal logistics equipment to the concept of CPS for industry 4.0. International Journal of Production Economics, v. 228, p. 107845, 2020.

MATTHIENSEN, Alexandre. **Uso do Coeficiente Alfa de Cronbach em Avaliações por Questionários. Embrapa Roraima-Documents (INFOTECA-E), 2010.**

MARIANO, Ari Melo et al. **Logística do Conhecimento 4.0: avanços na literatura de um conceito em aplicação.** In: VII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção. Anais. 2016.

MITESTAINER, Eduardo B. **Variedade de produto na indústria automobilística brasileira – relação entre a variedade de produtos e o volume de vendas de veículos no ano de 2017.** Acervo UFSC, 2018.

MITTAL, Sameer et al. **A critical review of smart manufacturing & Industry 4.0 maturity models: Implications for small and medium-sized enterprises (SMEs).** Journal of manufacturing systems, v. 49, p. 194-214, 2018.

MOKTADIR, Md Abdul et al. **Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection.** Process Safety and Environmental Protection, v. 117, p. 730-741, 2018.

MOTTA, Valter T.; OLIVEIRA FILHO, Petrônio F. de. **SPSS: Análise de dados biomédicos. In: SPSS: análise de dados biomédicos.** 2009. p. xiv, 334-xiv, 334.

MUHURI, Pranab K.; SHUKLA, Amit K.; ABRAHAM, Ajith. **Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview.** Engineering applications of artificial intelligence, v. 78, p. 218-235, 2019.

MÜLLER, Julian M. **Assessing the barriers to Industry 4.0 implementation from a workers' perspective.** IFAC-PapersOnLine, v. 52, n. 13, p. 2189-2194, 2019.

NARA, Elpidio Oscar Benitez et al. **Expected impact of industry 4.0 technologies on sustainable development: A study in the context of Brazil's plastic industry.** *Sustainable Production and Consumption*, v. 25, p. 102-122, 2021.

NEISSE, Anderson Cristiano; HONGYU, Kuang. **Aplicação de componentes principais e análise fatorial a dados criminais de 26 estados dos EUA.** *E&S Engineering and Science*, v. 5, n. 2, p. 105-115, 2016.

NOVAES, Douglas Ribeiro et al. **System em um operador logístico (3PL).** 2016.

NUNES, Jerónimo. **Da Internet para as Pessoas à Internet das Coisas.** *Correio dos Açores*, p. 17-17, 2016.

OESTERREICH, T. D.; TEUTEBERG, F. **Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry.** *Computers in Industry*. 2016.

OLIVEIRA, Ely Francina Tannuri; ALVES, Bruno Henrique. **Cosseno de Salton, Índice de Jaccard e Correlação de Pearson: comparando índices normalizados e absolutos em análise de cocitação de autores.** *Em Questão*, v. 23, p. 235-253, 2017.

OLIVEIRA, José Clovis Pereira de et al. **O questionário, o formulário e a entrevista como instrumentos de coleta de dados: vantagens e desvantagens do seu uso na pesquisa de campo em ciências humanas.** In: III Congresso Nacional de Educação. 2016. p. 1-13.

OZTEMEL, Ercan; GURSEV, Samet. **Literature review of Industry 4.0 and related technologies.** *Journal of Intelligent Manufacturing*, v. 31, n. 1, p. 127-182, 2020.

PÉREZ, Gabriel; SÁNCHEZ, Ricardo. **Logistics for production, distribution and trade.** 2019.

PFOHL, Hans-Christian; YAHSI, Burak; KURNAZ, Tamer. **Concept and diffusion-factors of industry 4.0 in the supply chain.** In: *Dynamics in Logistics*. Springer, Cham, 2017. p. 381-390.

PINHEIRO, Davi Teixeira; DE ALMEIDA FILHO, José Artur Soares; FARIAS, Victor Igor Barros. **BARREIRAS E DESAFIOS PARA A IMPLANTAÇÃO DA INDÚSTRIA 4.0–REVISÃO DE LITERATURA.** 2020

POSADA, J., TORO, C., BARANDIARAN, I., OYARZUN, D., STRICKER, D., De AMICIS, R., PINTO, E.B., EISERT, P., DÖLLNER, J., VALLARINO, I. **Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet.** *IEEE Comput. Graph. Appl.* 35 (2), 26–40. <https://doi.org/10.1109/MCG.2015.45>. 2015.

QUEIROZ, M. M.; PEREIRA, S. C. F.; TELLES, R.; MACHADO, M. C. **Industry 4.0 and digital supply chain capabilities.** *Benchmarking: An International Journal*. v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2019.

REDELINGHUYS, Anro; BASSON, Anton; KRUGER, Karel. **A six-layer digital twin architecture for a manufacturing cell**. In: International Workshop on Service Orientation in Holonic and Multi-Agent Manufacturing. Springer, Cham, 2018. p. 412-423.

REJEB, ABDERAHMAN; KEOGH, JOHN G.; TREIBLMAIER, HORST. **Leveraging the internet of things and blockchain technology in supply chain management**. Future Internet, v. 11, n. 7, p. 161, 2019.

RENCHEER, A. C. **Methods of multivariate analysis**. John Wiley & Sons, 2003.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1999.

ROBLEK, Vasja; MEŠKO, Maja; KRAPEŽ, Alojz. **A complex view of industry 4.0**. Sage Open, v. 6, n. 2, p. 2158244016653987, 2016.

RODIC, Blaz. **Industry 4.0 and the new simulation modelling paradigm**. Organizacija, v. 50, n. 3, 2017.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M. et al. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries**. Boston Consulting Group, 9, 2015.

SANTOS, Beatrice Paiva et al. **Indústria 4.0: desafios e oportunidades**. Revista Produção e Desenvolvimento, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

SANTOS, Bruno P. et al. **Internet das coisas: da teoria à prática**. Minicursos SBRC-Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos, v. 31, 2016.

SANTOS, Kionna Oliveira Bernardes; CARVALHO, Fernando Martins; ARAÚJO, Tânia Maria de. **Consistência interna do self-reporting questionnaire-20 em grupos ocupacionais**. Revista de Saúde Pública, v. 50, p. 6, 2016.

SANTOS, Marcos; MANHÃES, Aline Martins; LIMA, Angélica Rodrigues. **Indústria 4.0: Desafios e oportunidades para o Brasil**. Anais do X SIMPROD, 2018.

SAUCEDO-MARTÍNEZ, Jania Astrid et al. **Industry 4.0 framework for management and operations: a review**. Journal of ambient intelligence and humanized computing, v. 9, n. 3, p. 789-801, 2018.

SCHMIDT, Rainer et al. **Industry 4.0-potentials for creating smart products: empirical research results**. In: International Conference on Business Information Systems. Springer, Cham, 2015. p. 16-27.

SEBRAE-NA/ Dieese. Anuário do trabalho na micro e pequena empresa 2013, p. 17. [www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa\\_2013.pdf](http://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/Anexos/Anuario%20do%20Trabalho%20Na%20Micro%20e%20Pequena%20Empresa_2013.pdf)

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. Tradução Daniel Moreira Miranda. São Paulo. Edipro, 2016

SHARMA, Mahak et al. **Industry 4.0 adoption for sustainability in multi-tier manufacturing supply chain in emerging economies**. Journal of cleaner production, v. 281, p. 125013, 2021.

SIEWERT, Cleverson. **Indústria 4.0: o Brasil e Santa Catarina na corrida da nova revolução tecnológica.** LinkedIn, 12 de abril de 2021. Disponível em: <[https://www.linkedin.com/pulse/ind%C3%BAstria-40-o-brasil-e-santa-catarina-na-corrída-da-nova-siewert/?trk=read\\_related\\_article-card\\_title](https://www.linkedin.com/pulse/ind%C3%BAstria-40-o-brasil-e-santa-catarina-na-corrída-da-nova-siewert/?trk=read_related_article-card_title)>. Acesso em 19 de julho de 2021.

SILVA, Elias Hans Dener Ribeiro et al. **Reviewing Digital Manufacturing concept in the Industry 4.0 paradigm.** Procedia CIRP, v. 81, p. 240-245, 2019.

SILVA, Gisele Cristina Resende Fernandes. **O método científico na psicologia: abordagem qualitativa e quantitativa.** 2010.

SILVA, M. C. A. da.; GASPARIN, J. L. **A Segunda Revolução Industrial e suas influências sobre a Educação Escolar Brasileira.** 2015. Disponível em: <[http://www.histedbr.fe.unicamp.br/acer\\_histedbr/seminario/seminario7/TRABALHOS/M/Marcia%20CA%20Silva%20e%20Joao%20L%20Gasparin2.pdf](http://www.histedbr.fe.unicamp.br/acer_histedbr/seminario/seminario7/TRABALHOS/M/Marcia%20CA%20Silva%20e%20Joao%20L%20Gasparin2.pdf)>. Acesso em: 20 de abril de 2021.

SIMCHI-LEVI, David; KAMINSKY, Philip; SIMCHI-LEVI, Edith. **Cadeia de suprimentos projeto e gestão: conceitos, estratégias e estudos de caso.** Bookman Editora, 2009.

SINGH, Rajdeep; BHANOT, Neeraj. **An integrated DEMATEL-MMDE-ISM based approach for analysing the barriers of IoT implementation in the manufacturing industry.** International Journal of Production Research, v. 58, n. 8, p. 2454-2476, 2020.

SIPSAS, K. Et al. **Collaborative maintenance in flow-line manufacturing environments: na industry 4.0 approach.** Procedia CIRP 55, p. 236 – 24, 2016.

ŚLUSARCZYK, Beata et al. **Predictors of Industry 4.0 technologies affecting logistic enterprises' performance: International perspective from economic lens.** Technological and economic development of economy, v. 26, n. 6, p. 1263-1283, 2020.

SOFTTEK. **Os benefícios da Logística 4.0 para vencer os desafios do COVID-19.** 2020. Disponível em: <<https://blog.softtek.com/pt/os-benef%C3%ADcios-da-log%C3%ADstica-4.0-para-vencer-os-desafios-do-covid-19>> Acesso em 10 de julho de 2021.

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

STOCK, Tim; SELIGER, Günther. **Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0.** Procedia Cirp, v. 40, p. 536-541, 2016.

STOLTZ, Marie-Hélène et al. **Augmented reality in warehouse operations: opportunities and barriers.** IFAC-PapersOnLine, v. 50, n. 1, p. 12979-12984, 2017.

STRANDHAGEN, Jan Ola et al. **Logistics 4.0 and emerging sustainable business models.** Advances in Manufacturing, v. 5, n. 4, p. 359-369, 2017.

SZOZDA, Natalia. **Industry 4.0 and its impact on the functioning of supply chains.** Logforum, v. 13, n. 4, 2017.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. **Using multivariate statistics.** 6th Ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2013.

TABER, Keith S. **The use of Cronbach's alpha when developing and reporting research instruments in science education.** Research in science education, v. 48, n. 6, p. 1273-1296, 2018.

TANUR, Judith M. **Measurement Errors in Surveys.** 1993.

TAVARES, Gabriela Oliveira. **A relação dos indicadores de desempenho da logística portuária com os indicadores de desempenho da logística internacional.** Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, v. 11, n. 01, p. 80-107, 2018.

TEN HOMPEL, Michael; KERNER, Sören. **Logistik 4.0.** Informatik-Spektrum, v. 38, n. 3, p. 176-182, 2015.

TORTORELLA, Guilherme Luz; FETTERMANN, Diego. **Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies.** International Journal of Production Research, v. 56, n. 8, p. 2975-2987, 2018.

VELOSO, R. de M.; SHIMODA, E.; SHIMOYA, A. **A confiabilidade em uma pesquisa sobre qualidade em serviços bancários: um estudo com o coeficiente alpha de Cronbach.** Revista Linkania, v. 5, n. 1, p. 27-51, 2015.

VENTURELLI, M. **Indústria 4.0: uma visão da automação industrial.** Automação Industrial, nov. 2017. Disponível em: <<https://www.automacaoindustrial.info/industria-4-0-uma-visao-da-automacao-industrial/>>. Acesso em: 10 de abril de 2021.

VERMULM, Roberto et al. **Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil.** 2018.

VOEGE, T. **The future of transport services.** Discussion Paper, No. IDB-DP-680, Washington, D.C, Transport Division, Interamerican Development Bank (IDB), June, 2019.

WANG, Kesheng. **Logistics 4.0 solution-new challenges and opportunities.** In: 6th International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation. Atlantis Press, 2016. p. 68-74.

WILKESMANN, M.; WILKESMANN, U. **Industry 4.0 - organizing routines or innovations?.** VINE Journal of Information and Knowledge Management Systems, v. 48, n. 2, p. 238-254, 2018.

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

YAVAS, Volkan; OZKAN-OZEN, Yesim Deniz. Logistics centers in the new industrial era: A proposed framework for logistics center 4.0. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 135, p. 101864, 2020.

YILDIRIM, B. **Sciences learning anxiety scale: validation study**. Journal of Social Sciences Mus Alparslan University, v. 3, n. 1, p. 33-43, 2015.

YIN, Yong; STECKE, Kathryn E.; LI, Dongni. **The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0**. International Journal of Production Research, v. 56, n. 1-2, p. 848-861, 2018.

ZHONG, Ray Y. et al. **Intelligent manufacturing in the context of industry 4.0: a review**. Engineering, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017.

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

ZIKOPOULOS, Paul et al. **Understanding big data: analytics for enterprise class hadoop and streaming data**. New York: McGraw Hill, 2015. 141 p.

**APÊNDICE A – Questionário enviado para as empresas**

1. Em qual classificação a sua empresa se enquadra?	
1	Armazém
2	Centro de Distribuição
3	Indústria
4	Operador Logístico
2. Em qual segmentação de mercado melhor se enquadra o seu produto/serviço?	
A	Agricultura
B	Automotivo
C	Construção Civil
D	Eletrônicos
E	Embalagens
F	Máquinas e Equipamentos
G	Matéria-Prima
H	Higiene e Cuidados Pessoais
I	Reciclagem
J	Saúde
K	Transportes / Armazenagem
L	Utilidades domésticas
M	Vestuário
3. Em qual cidade a empresa está localizada e qual o número de funcionários?	
4. Qual seu cargo na empresa?	
5. Indique o nível de implementação das tecnologias abaixo na sua empresa:	
6. Indique o nível de interesse em implementar as tecnologias abaixo:	
7. Indique o grau de influência das barreiras abaixo para a implementação das tecnologias:	
8. Indique o nível do desempenho da empresa nos indicadores abaixo:	
9. Deseja fazer algum comentário sobre o assunto?	
* As tecnologias e indicadores citados encontram-se no apêndice B.	

**APÊNDICE B – Nomenclatura utilizada para as variáveis**

<b>AT: Atuação da Empresa</b>	
<b>AT1</b>	Armazém
<b>AT2</b>	Centro de Distribuição
<b>AT3</b>	Indústria
<b>AT4</b>	Operador Logístico
<b>P: Porte da empresa</b>	
<b>P1</b>	Pequeno porte
<b>P2</b>	Médio porte
<b>P3</b>	Grande porte
<b>NI: Nível de implementação das tecnologias</b>	
<b>NI1</b>	Armazenamento de dados em nuvem
<b>NI2</b>	Big Data e Analytics (Ex: Previsão de demanda)
<b>NI3</b>	BlockChain (Ex: Contratos inteligentes)
<b>NI4</b>	Comunicação entre máquinas
<b>NI5</b>	Integração de Sistemas (Ex: ERP, WMS, TMS)
<b>NI6</b>	Inteligência Artificial (Ex: Machine Learning, Deep Learning)
<b>NI7</b>	Internet das Coisas (IoT)
<b>NI8</b>	Internet industrial
<b>NI9</b>	Manufatura Aditiva (Ex: Impressão 3D)
<b>NI10</b>	Realidade virtual e aumentada (Ex: óculos inteligentes)
<b>NI11</b>	Robôs autônomos e colaborativos (Ex: AGV / drones)
<b>NI12</b>	Segurança Cibernética
<b>NI13</b>	Sensores inteligentes (Ex: RFID)
<b>NI14</b>	Simulação Computadorizada (Ex: Arena e Analogyc)
<b>NI15</b>	Sistema Cyber Físico (Ex: Digital Twin)
<b>NI16</b>	Sistemas e dispositivos móveis (Ex: tablets, smartphones)
<b>NI17</b>	Virtualização e Digitalização
<b>BA: Barreiras</b>	
<b>BA1</b>	Falta de um roteiro estratégico
<b>BA2</b>	Falta de comprometimento da alta administração
<b>BA3</b>	Falta de envolvimento e engajamento das partes interessadas (governo, parceiros da cadeia, clientes)
<b>BA4</b>	Imprecisão na compreensão das tecnologias
<b>BA5</b>	Falta de colaboração entre as instituições acadêmicas e a indústria para a inovação e pesquisas e desenvolvimento (P&D)
<b>BA6</b>	Resistência à mudança
<b>BA7</b>	Altos níveis de investimento
<b>BA8</b>	Escassez de força de trabalho com as habilidades necessárias

<b>BA9</b>	Falta de programas de treinamento para capacitação
<b>BA10</b>	Falta de desenvolvimento de tecnologias
<b>BA11</b>	Falta de clareza sobre os benefícios econômicos do investimento digital
<b>BA12</b>	Falta de cultura organizacional inovadora
<b>BA13</b>	Falta de padrões técnicos e arquitetura de referência
<b>BA14</b>	Fornecimento insuficiente de infraestrutura e conectividade de banda larga
<b>BA15</b>	Baixo nível de maturidade e integração de tecnologias
<b>BA16</b>	Falta de infraestrutura de TI física e digital básica para serviços orientados a dados
<b>BA17</b>	Falta de segurança da informação e proteção da privacidade
<b>BA18</b>	Falta de grandes técnicas de análise de dados maduras
<b>BA19</b>	Falta de oportunidades de emprego para mão de obra menos qualificada
<b>BA20</b>	Cultura nacional e diferença regional
<b>BA21</b>	Falta de regulamentações legais para gerenciar crimes cibernéticos e roubo de dados
<b>BA22</b>	Regulamentações ineficazes em relação ao trabalho e emprego
<b>BA23</b>	Falta de regulamentações legais para o gerenciamento de propriedade de dados, direitos autorais e questões de P&D
<b>ID: Indicadores de Desempenho</b>	
<b>ID1</b>	Custos Logísticos
<b>ID2</b>	Velocidade de entrega
<b>ID3</b>	Nível de inventário
<b>ID4</b>	Qualidade do produto/serviço
<b>ID5</b>	Informação em tempo real
<b>ID6</b>	Segurança dos processos
<b>ID7</b>	Produtividade
<b>ID8</b>	Nível de emissão de gases (ex: CO2)

### APÊNDICE C – Correlação de Pearson para as Barreiras

BA	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
1	0,625* *	0,417**	0,570* *	0,316*	0,494* *	0,287*	0,370* *	0,573**	0,511**	0,513**	0,503**	0,446**	0,154	0,395**	0,358**	0,256	0,372**	0,252	0,446**	0,463**	0,463**	0,374**	
2		1	0,373**	0,499* *	0,158	0,502* *	0,433**	0,42**	0,444	0,448**	0,532**	0,290*	0,2600	0,178	0,202	0,172	0,211	0,245	0,348**	0,186	0,190	0,219	
3			1	0,502* *	0,623**	0,366* *	0,535**	0,536* *	0,733**	0,630**	0,523**	0,342*	0,575**	0,404**	0,564**	0,489**	0,310*	0,501**	0,329*	0,394**	0,586**	0,576**	0,608*
4				1	0,562**	0,03* *	0,394**	0,544* *	0,518**	0,446**	0,600**	0,329*	0,539**	0,280*	0,542**	0,400**	0,252	0,515**	0,234	0,373**	0,453**	0,422**	0,464*
5					1	0,357* *	0,246	0,525* *	0,637**	0,572**	0,572**	0,222	0,605**	0,523**	0,449**	0,445**	0,338*	0,473**	0,268	0,332*	0,564**	0,469**	0,464*
6						1	0,458**	0,282*	0,444**	0,355**	0,424**	0,507**	0,479**	0,225	0,328*	0,205	0,204	0,308*	0,131	0,423**	0,196	0,253	0,268*
7							1	0,495**	0,338*	0,548**	0,402**	0,365**	0,145	0,356**	0,379**	0,204	0,376**	0,191	0,317*	0,219	0,283*	0,390*	
8								1	0,702**	0,466**	0,612**	0,479**	0,567**	0,553**	0,519**	0,433**	0,406**	0,571**	0,633**	0,402**	0,573**	0,544**	0,576*
9									1	0,769**	0,675**	0,530**	0,717**	0,490**	0,618**	0,594**	0,396**	0,625**	0,498**	0,501**	0,710**	0,688**	0,699*
10										1	0,547**	0,303*	0,706**	0,451**	0,427**	0,480**	0,295*	0,447**	0,330*	0,347*	0,585**	0,561**	0,544*
11											1	0,506**	0,604**	0,359**	0,547**	0,538**	0,474**	0,655**	0,435**	0,474**	0,537**	0,546**	0,549*
12												1	0,486**	0,419**	0,529**	0,483**	0,399**	0,489**	0,431**	0,441**	0,284*	0,357**	0,357*
13													1	0,482**	0,644**	0,499**	0,359**	0,612**	0,375**	0,493**	0,651**	0,640**	0,638*
14														1	0,386**	0,400**	0,585**	0,386**	0,468**	0,199	0,447**	0,436**	0,426*
15															1	0,738**	0,552**	0,781**	0,468**	0,554**	0,613**	0,637**	0,615*
16																1	0,619**	0,727**	0,458**	0,444**	0,527**	0,517**	0,535*
17																	1	0,639**	0,581**	0,316*	0,525**	0,573**	0,546*
18																		1	0,654**	0,620**	0,744**	0,783**	0,793*
19																			1	0,648**	0,678**	0,737**	0,723*
20																				1	0,647**	0,690**	0,604*
21																					1	0,941**	0,893*
22																						1	0,919*
23																							1

\*. Significativa a 5% / \*\*. Significativa a 1%

### APÊNDICE D – Comentários abertos do questionário

Comentário	Descrição
1	Com relação aos custos logísticos infelizmente estes são muito elevados, pois nossa malha está toda suportada nas operações rodoviárias, nossa infraestrutura ferroviária e aquaviária é muito pobre. Com relação a tecnologia 4.0 estamos direcionando grandes esforços, mas o mercado é muito carente de profissionais.
2	Cada empresa tem que desenvolver seu projeto de Indústria 4.0.
3	Somos um grupo de institutos que desenvolvem tecnologias. Eu por exemplo coordeno um projeto de desenvolvimento de um digital twin em cadeias produtivas. Mas nos diversos centros de excelência há distintas competências e produtos sendo desenvolvidos.
4	De acordo com a área de atuação e o momento de crescimento da empresa, os fatores abordados são alvo de melhoria, mas os limitantes de ampliações físicas e melhorias em estruturação setorial da empresa limitam a velocidade de implementação desses recursos, mas não impede que ótimos resultados sejam alcançados dentro dessa realidade, nesse momento.