

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

Indústria 4.0 em manufaturas no Brasil: análise dos benefícios e barreiras de adoção

Felipe Bastos dos Reis

São Paulo

2021

Prof. Dr. Vahan Agopyan

Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Fábio Frezatti

Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Moacir de Miranda Oliveira Junior

Chefe do Departamento de Administração

Prof. Dr. Eduardo Kazuo Kayo

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Administração

Felipe Bastos dos Reis

Indústria 4.0 em manufaturas no Brasil: análise dos benefícios e barreiras de adoção

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Administração do Departamento de Administração da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Alceu Salles Camargo Júnior

São Paulo

2021

Catálogo na Publicação (CIP)
Ficha Catalográfica com dados inseridos pelo autor

dos Reis, Felipe Bastos.

Indústria 4.0 em manufaturas no Brasil: análise dos benefícios e barreiras de adoção / Felipe Bastos dos Reis. - São Paulo, 2021. 167 p.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, 2021.
Orientador: Alceu Salles Camargo Júnior .

1. Indústria 4.0. 2. Transformação digital. 3. Manufatura inteligente. 4. Adoção de tecnologia. I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. II. Título.

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de agradecer à Universidade de São Paulo por ter me ensinado, desde a época da graduação, que a educação é uma importante ferramenta de transformação. Ao longo desta minha jornada no mestrado ficou ainda mais claro a importância que a ciência tem na iluminação da nossa sociedade e desejo que continue me mostrando novos caminhos brilhantes no futuro. *Scientia vinces* – Vencerás pela Ciência – transcendeu o brasão da faculdade e se tornou um mantra na minha vida.

Agradeço a todos os professores, professoras, colegas e funcionários da Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária da Universidade de São Paulo, que direta ou indiretamente me ajudaram nessa empolgante caminhada do mestrado. Em especial agradeço aos professores e professoras Dra. Adriana Marotti, Dra. Bernadete Marinho, Dr. César de Souza, Dr. Eduardo Vasconcellos, Dr. Leonardo Gomes, Dra. Liliana Vasconcellos, Dr. Paulo Tromboni, os quais tive o prazer de ter sido aluno, presencialmente ou de forma virtual, no programa de mestrado.

Aos professores Dr. Eduardo Vasconcellos e Dr. Márcio Mattos por aceitarem participar da banca de qualificação e pelas contribuições imprescindíveis para a execução deste trabalho.

Agradeço profundamente ao Prof. Dr. Alceu Salles Camargo Júnior por toda a orientação, paciência e conversas durante todo o período do mestrado. Obrigado pelos sábios conselhos e apontamentos ao longo dessa caminhada e que foram essenciais para este trabalho e para o meu desenvolvimento.

À minha esposa Thais agradeço por todo amor e apoio, você foi primordial nessa árdua jornada de mudança de carreira e objetivos e sempre será primordial em todos os aspectos que permeiam a minha vida.

Agradeço à minha mãe e pai – Adriana e Décio – que sempre me estimularam a ler e buscar o conhecimento. Agradeço por me mostrarem que a educação é libertadora e por todo o suporte dado desde o momento em que abri os olhos nessa dimensão. À minha irmã Amanda agradeço por todas as conversas de incentivo e apoio.

RESUMO

A Indústria 4.0 é constituída pela integração de novas tecnologias de informação e comunicação, bem como tecnologias inteligentes como *big data*, inteligência artificial e de técnicas de análise e processamento, em tempo real, de dados do sistema produtivo que elevam sobremaneira a capacidade produtiva e também as competências operacionais de qualidade, produtividade, custos, flexibilidade e inovação. Neste contexto, este estudo tem como objetivo identificar os benefícios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas brasileiras e entender como esses fatores se relacionam e são afetados em relação ao tamanho das empresas, intensidade tecnológica e origem do capital. O trabalho faz uma revisão sistemática da literatura em duas bases científicas e selecionou-se 53 artigos com o intuito de mapear os principais benefícios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas para criação de um framework. No total, foram identificados 10 benefícios e 9 barreiras. O framework criado foi utilizado para a criação de um questionário estruturado enviado para gerentes e diretores de áreas de tecnologia da informação, inovação e operações de 127 empresas que implementaram tecnologias da Indústria 4.0 criadas pelas integradoras que fazem parte da iniciativa Finep Inovacred 4.0. Os dados foram coletados com o uso do Google Forms e os respondentes receberam o convite para a pesquisa no LinkedIn. No total foram recebidos 194 questionários preenchidos e a análise de dados foi feita por meio dos testes não-paramétricos de Mann-Whitney e de Kruskal-Wallis. Esses testes foram utilizados com o intuito de examinar possíveis diferenças de avaliações dos benefícios e barreiras provenientes da Indústria 4.0 em dois ou mais grupos de respondentes. De forma geral, os resultados da pesquisa indicam que os benefícios de natureza mais operacionais foram considerados mais importantes pelas empresas de tamanho pequeno-médio e origem de capital nacional. Por outro lado, os benefícios de natureza mais estratégica e gerencial foram considerados mais importantes pelas empresas grandes e internacionais. Em relação às barreiras, no geral, os resultados mostram que as empresas grandes e internacionais consideram as barreiras avaliadas como mais importantes do que as empresas pequeno-médias e nacionais. Dentre os principais resultados, a pesquisa identificou na literatura científica os principais benefícios e barreiras provenientes da adoção da Indústria 4.0 e criou um framework que pode ajudar pesquisadores e gerentes e executivos de empresas envolvidas com a implementação das tecnologias de Indústria 4.0.

Palavras-chave: Indústria 4.0; transformação digital; manufatura inteligente; adoção de tecnologia

ABSTRACT

Industry 4.0 is formed by the integration of new information and communication technologies, as well as intelligent technologies such as big data, artificial intelligence and analysis and processing techniques, in real time, of data from the production system that greatly increase the productive capacity and also the operational competences of quality, productivity, costs, flexibility and innovation. In this context, this study aims to identify the benefits and barriers related to the adoption of Industry 4.0 in Brazilian manufacturers and understand how these factors are related and affected in relation to the size of companies, technological intensity and origin of capital. The study makes a systematic review of the literature in two scientific bases and 53 articles were selected in order to map the main benefits and barriers related to the adoption of Industry 4.0 in the manufactures to create a framework. In total, 10 benefits and 9 barriers were identified. The framework created was used to create a structured questionnaire sent to managers and directors of the information technology, innovation and operations areas of 127 companies that implemented Industry 4.0 technologies created by integrators that are part of the Finep Inovacred 4.0 initiative. Data were collected using Google Forms and respondents were invited to participate on LinkedIn. A total of 194 completed questionnaires were received and data analysis was performed using the non-parametric Mann-Whitney and Kruskal-Wallis tests. These tests were used to examine possible differences in assessments of benefits and barriers arising from Industry 4.0 in two or more groups of respondents. Overall, the survey results indicate that benefits of a more operational nature were considered more important by small-medium sized companies with national capital origin. On the other hand, benefits of a more strategic and managerial nature were considered more important by large and international companies. In relation to barriers, in general, the results show that large and international companies consider the barriers assessed as more important than small-medium and national companies. Among the main results, the research identified in the scientific literature the main benefits and barriers arising from the adoption of Industry 4.0 and created a framework that can help researchers and managers and executives of companies involved with the implementation of Industry 4.0 technologies.

Keywords: Industry 4.0; digital transformation; smart manufacturing; technology adoption

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Etapas da revisão sistemática de literatura.....	33
Figura 3.2 Quantidade e ano dos artigos.....	34
Figura 3.3 Revistas com mais publicações.....	35
Figura 3.4 Autores e quantidade de artigos.....	35
Figura 3.5 Rede das palavras mais citadas.....	37
Figura 3.6 Rede das ligações bibliográficas entre as revistas científicas.....	38
Figura 3.7 Rede das ligações bibliográficas entre os artigos.....	38
Figura 3.8 Co-citações das revistas científicas mais mencionadas.....	39
Figura 3.9 Co-citações dos artigos mais mencionados.....	40
Figura 3.10 Framework dos benefícios e barreiras da adoção da I4.0.....	59
Figura 4.1 Critérios de seleção da amostra.....	67
Figura 5.1 Medianas das respostas dos benefícios por tamanho das empresas.....	77
Figura 5.2 Gráfico de barras dos benefícios significativos por tamanho de empresa.....	78
Figura 5.3 Boxplot dos benefícios significativos por tamanho da empresa.....	79
Figura 5.4 Histograma entre qualidade e tamanho da empresa.....	80
Figura 5.5 Histograma entre consumo e tamanho da empresa.....	81
Figura 5.6 Histograma entre produtos inteligentes e tamanho da empresa.....	83
Figura 5.7 Histograma entre tomada de decisões e tamanho da empresa.....	84
Figura 5.8 Medianas das respostas das barreiras por tamanho das empresas.....	85
Figura 5.9 Gráfico de barras das barreiras significativas por tamanho de empresa.....	86
Figura 5.10 Boxplot das barreiras significativas por tamanho da empresa.....	87
Figura 5.11 Histograma entre habilidades e tamanho da empresa.....	88
Figura 5.12 Histograma entre segurança e tamanho da empresa.....	89
Figura 5.13 Histograma entre padronização e tamanho da empresa.....	90
Figura 5.14 Síntese dos resultados em relação ao Tamanho das empresas.....	91
Figura 5.15 Medianas das respostas dos benefícios por tamanho das empresas.....	94
Figura 5.16 Gráfico de barras dos benefícios significativos por origem de capital.....	95
Figura 5.17 Boxplot dos benefícios significativos por origem do capital.....	96

Figura 5.18 Histograma entre produtividade e origem do capital.....	97
Figura 5.19 Histograma entre qualidade e origem do capital.....	98
Figura 5.20 Histograma entre consumo e origem do capital.....	99
Figura 5.21 Histograma entre produção enxuta e origem do capital.....	100
Figura 5.22 Medianas das respostas das barreiras por origem de capital.....	101
Figura 5.23 Gráfico de barras das barreiras significativas por origem de capital.....	103
Figura 5.24 Boxplot das barreiras significativas por origem do capital.....	104
Figura 5.25 Histograma entre habilidades e origem do capital.....	105
Figura 5.26 Histograma entre desemprego e origem do capital.....	106
Figura 5.27 Histograma entre segurança e origem do capital.....	107
Figura 5.28 Histograma entre investimentos e origem do capital.....	108
Figura 5.29 Síntese dos resultados em relação a Origem de capital.....	109
Figura 5.30 Medianas das respostas dos benefícios por intensidade tecnológica.....	111
Figura 5.31 Gráfico de barras dos benefícios significativos por intensidade tecnológica.....	114
Figura 5.32 Boxplot das barreiras significativas por intensidade tecnológica.....	115
Figura 5.33 Histograma entre produtividade e intensidade tecnológica.....	116
Figura 5.34 Histograma entre qualidade e intensidade tecnológica.....	117
Figura 5.35 Histograma entre consumo e intensidade tecnológica.....	118
Figura 5.36 Gráfico de barras dos benefícios significativos por intensidade tecnológica.....	119
Figura 5.37 Boxplot dos benefícios significativos por intensidade tecnológica.....	120
Figura 5.38 Histograma entre consumo e intensidade tecnológica.....	121
Figura 5.39 Histograma entre negócios e intensidade tecnológica.....	122
Figura 5.40 Gráfico de barras do benefício significativo por intensidade tecnológica.....	124
Figura 5.41 Boxplot dos benefícios significativos por intensidade tecnológica.....	125
Figura 5.42 Histograma entre negócios e intensidade tecnológica.....	126
Figura 5.43 Medianas das respostas das barreiras por intensidade tecnológica.....	127
Figura 5.44 Gráfico de barras das barreiras significativas por intensidade tecnológica.....	129
Figura 5.45 Boxplot das barreiras significativas por intensidade tecnológica.....	130

Figura 5.46 Histograma entre governo e intensidade tecnológica.....	131
Figura 5.47 Histograma entre infraestrutura e intensidade tecnológica.....	132
Figura 5.48 Gráfico de barras das barreiras significativas por intensidade tecnológica.....	133
Figura 5.49 Boxplot das barreiras significativas por intensidade tecnológica.....	134
Figura 5.50 Histograma entre governo e intensidade tecnológica.....	135
Figura 5.51 Histograma entre resistência e intensidade tecnológica.....	136
Figura 5.52 Histograma entre desemprego e intensidade tecnológica.....	137
Figura 5.53 Histograma entre padronização e intensidade tecnológica.....	138
Figura 5.54 Gráfico de barras das barreiras significativas por intensidade tecnológica.....	140
Figura 5.55 Boxplot das barreiras significativas por intensidade tecnológica.....	141
Figura 5.56 Histograma entre resistência e intensidade tecnológica.....	142
Figura 5.57 Histograma entre infraestrutura e intensidade tecnológica.....	143
Figura 5.58 Histograma entre padronização e intensidade tecnológica.....	144
Figura 5.59 Síntese dos resultados em relação ao nível de Intensidade tecnológica.....	146

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Palavras-chave e quantidade de artigos científicos.....	33
Tabela 3.2 Os 10 artigos mais citados.....	36
Tabela 3.3 Métodos de pesquisa utilizados.....	57
Tabela 3.4 Benefícios na adoção da Indústria 4.0.....	60
Tabela 3.5 Barreiras para a adoção da Indústria 4.0.....	61
Tabela 3.6 Síntese dos fatores organizacionais.....	62
Tabela 4.1 Setores industriais de acordo com a intensidade tecnológica.....	68
Tabela 5.1 Empresas que fazem parte da amostra.....	71
Tabela 5.2 Setores que fazem parte da amostra.....	72
Tabela 5.3 Mapeamento dos profissionais.....	72
Tabela 5.4 Profissionais que aceitaram participar e receberam o questionário.....	73
Tabela 5.5 Distribuição dos respondentes na amostra final.....	73
Tabela 5.6 Resultados para o cálculo do Qui-Quadrado para o teste de viés de não-resposta na Amostra Final.....	74
Tabela 5.7 Perfil dos respondentes.....	75
Tabela 5.8 Médias e medianas das respostas dos benefícios por tamanho das empresas.....	76
Tabela 5.9 Teste Mann-Whitney dos benefícios por tamanho da empresa.....	77
Tabela 5.10 Resumo dos benefícios significativos por tamanho de empresa.....	78
Tabela 5.11 Tabela de referência cruzada entre qualidade e tamanho da empresa.....	80
Tabela 5.12 Tabela de referência cruzada entre consumo e tamanho da empresa.....	81
Tabela 5.13 Tabela de referência cruzada entre produtos inteligentes e tamanho da empresa.....	82
Tabela 5.14 Tabela de referência cruzada entre tomada de decisões e tamanho da empresa.....	83
Tabela 5.15 Médias e medianas das respostas das barreiras por tamanho das empresas.....	84
Tabela 5.16 Teste Mann-Whitney das barreiras por tamanho da empresa.....	85
Tabela 5.17 Resumo das barreiras significativas por tamanho de empresa.....	86
Tabela 5.18 Tabela de referência cruzada entre habilidades e tamanho da empresa.....	88

Tabela 5.19 Tabela de referência cruzada entre segurança e tamanho da empresa.....	89
Tabela 5.20 Tabela de referência cruzada entre padronização e tamanho da empresa...90	
Tabela 5.21 Médias e medianas das respostas dos benefícios por origem de capital.....	93
Tabela 5.22 Teste Mann-Whitney dos benefícios por origem do capital.....	94
Tabela 5.23 Resumo dos benefícios significativos por origem do capital.....	95
Tabela 5.24 Tabela de referência cruzada entre produtividade e origem do capital.....	97
Tabela 5.25 Tabela de referência cruzada entre qualidade e origem do capital.....	98
Tabela 5.26 Tabela de referência cruzada entre consumo e origem do capital.....	99
Tabela 5.27 Tabela de referência cruzada entre produção enxuta e origem do capital.....	100
Tabela 5.28 Médias e medianas das respostas das barreiras por origem de capital.....	101
Tabela 5.29 Teste Mann-Whitney das barreiras por origem do capital.....	102
Tabela 5.30 Resumo das barreiras significativas por origem do capital.....	103
Tabela 5.31 Tabela de referência cruzada entre habilidades e origem do capital.....	104
Tabela 5.32 Tabela de referência cruzada entre desemprego e origem do capital.....	105
Tabela 5.33 Tabela de referência cruzada entre segurança e origem do capital.....	106
Tabela 5.34 Tabela de referência cruzada entre investimentos e origem do capital.....	108
Tabela 5.35 Médias e medianas agrupadas das respostas dos benefícios por intensidade tecnológica.....	111
Tabela 5.36 Teste Kruskal-Wallis dos benefícios por intensidade tecnológica.....	112
Tabela 5.37 Teste Mann-Whitney dos benefícios por intensidade tecnológica.....	113
Tabela 5.38 Resumo dos benefícios significativas por nível de intensidade tecnológica.....	114
Tabela 5.39 Tabela de referência cruzada entre produtividade e intensidade tecnológica.....	115
Tabela 5.40 Tabela de referência cruzada entre qualidade e intensidade tecnológica.....	116
Tabela 5.41 Tabela de referência cruzada entre consumo e intensidade tecnológica...118	
Tabela 5.42 Teste Mann-Whitney dos benefícios por intensidade tecnológica.....	119
Tabela 5.43 Resumo dos benefícios significativas por nível de intensidade tecnológica.....	119
Tabela 5.44 Tabela de referência cruzada entre consumo e intensidade tecnológica...121	
Tabela 5.45 Tabela de referência cruzada entre negócios e intensidade tecnológica....	122

Tabela 5.46 Teste Mann-Whitney dos benefícios por intensidade tecnológica.....	123
Tabela 5.47 Resumo dos benefício significativo por nível de intensidade tecnológica.....	124
Tabela 5.48 Tabela de referência cruzada entre negócios e intensidade tecnológica....	125
Tabela 5.49 Médias e medianas agrupadas das respostas das barreiras por intensidade tecnológica.....	126
Tabela 5.50 Teste Kruskal-Wallis das barreiras por intensidade tecnológica.....	127
Tabela 5.51 Teste Mann-Whitney das barreiras por intensidade tecnológica.....	128
Tabela 5.52 Resumo das barreiras significativas por nível de intensidade tecnológica.....	129
Tabela 5.53 Tabela de referência cruzada entre governo e intensidade tecnológica.....	131
Tabela 5.54 Tabela de referência cruzada entre infraestrutura e intensidade tecnológica.....	132
Tabela 5.55 Teste Mann-Whitney das barreiras por intensidade tecnológica.....	133
Tabela 5.56 Resumo das barreiras significativas por nível de intensidade tecnológica.....	134
Tabela 5.57 Tabela de referência cruzada entre governo e intensidade tecnológica.....	135
Tabela 5.58 Tabela de referência cruzada entre resistência e intensidade tecnológica.....	136
Tabela 5.59 Tabela de referência cruzada entre desemprego e intensidade tecnológica.....	137
Tabela 5.60 Tabela de referência cruzada entre padronização e intensidade tecnológica.....	138
Tabela 5.61 Teste Mann-Whitney das barreiras por intensidade tecnológica.....	139
Tabela 5.62 Resumo das barreiras significativas por nível de intensidade tecnológica.....	140
Tabela 5.63 Tabela de referência cruzada entre resistência e intensidade tecnológica.....	141
Tabela 5.64 Tabela de referência cruzada entre infraestrutura e intensidade tecnológica.....	142
Tabela 5.65 Tabela de referência cruzada entre padronização e intensidade tecnológica.....	144

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. REVISÃO DE LITERATURA: O ADVENTO DA INDÚSTRIA 4.0.....	20
2.1 Indústria 4.0.....	20
2.2 Tecnologias da Indústria 4.0.....	21
2.2.1 <i>Sistemas Ciber-físicos</i>	22
2.2.2 <i>Internet das Coisas (IdC)</i>	23
2.2.3 <i>Computação em Nuvem</i>	24
2.2.4 <i>Big Data</i>	24
2.2.5 <i>Ferramentas de análise de dados</i>	25
2.3 Adoção da Indústria 4.0.....	27
2.3.1 <i>Adoção da I4.0: pequenas e médias empresas X grandes empresas</i>	28
2.3.2 <i>Adoção da Indústria 4.0 no Brasil</i>	30
3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: BENEFÍCIOS E BARREIRAS DA INDÚSTRIA 4.0.....	32
3.1 Planejamento e definição da amostra.....	32
3.2 Análise bibliométrica.....	34
3.3 Análise de conteúdo: Benefícios e Barreiras da Indústria 4.0.....	40
3.3.1 Benefícios da Indústria 4.0.....	40
3.3.1.1 <i>Aumento na produtividade e eficiência</i>	41
3.3.1.2 <i>Aumento na qualidade</i>	42
3.3.1.3 <i>Flexibilidade na produção</i>	43
3.3.1.4 <i>Redução no consumo de recursos</i>	44
3.3.1.5 <i>Monitoramento e reparo de máquinas</i>	44
3.3.1.6 <i>Produção enxuta</i>	45
3.3.1.7 <i>Produtos inteligentes</i>	46
3.3.1.8 <i>Produtos customizados</i>	46
3.3.1.9 <i>Tomada de decisão</i>	47
3.3.1.10 <i>Novos modelos de negócios</i>	48

3.3.2 Barreiras da Indústria 4.0.....	48
3.3.2.1 Governo e regulamentações.....	49
3.3.2.2 Resistência organizacional.....	50
3.3.2.3 Novas habilidades dos empregados.....	50
3.3.2.4 Perda de empregos.....	52
3.3.2.5 Segurança dos dados e privacidade.....	52
3.3.2.6 Falta de infraestrutura.....	54
3.3.2.7 Altos Investimentos.....	54
3.3.2.8 Incertezas a respeito dos resultados financeiros.....	55
3.3.2.9 Padronização.....	56
3.4 Métodos de pesquisa utilizados pela amostra de artigos.....	56
3.5 Síntese dos benefícios e barreiras associados à adoção da Indústria 4.0.....	57
3.6 Fatores organizacionais dos Benefícios e Barreiras à Adoção da Indústria 4.0.....	62
3.6.1 Tamanho da empresa.....	62
3.6.2 Origem do capital.....	63
3.6.3 Intensidade tecnológica.....	64
4. METODOLOGIA.....	65
4.1 Pesquisa quantitativa e procedimentos	65
4.2 Objetivo, questão e natureza da pesquisa.....	66
4.3 Critérios de seleção e separação da amostra.....	66
4.4 Desenvolvimento do questionário de pesquisa.....	68
4.5 Coleta e análise de dados.....	69
5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS.....	71
5.1 Análise descritiva da amostra.....	71
5.1.1 Amostra final e análise do viés de não-resposta.....	72
5.1.2 Perfil dos respondentes.....	74
5.2 Análise e Discussão dos Benefícios e Barreiras para adoção da Indústria 4.0.....	75
5.2.1 Análise das respostas em relação ao tamanho da empresa.....	75
5.2.1.1 Análise das respostas sobre os benefícios.....	76

5.2.1.2 <i>Análise das respostas sobre as barreiras</i>	84
5.2.1.3 <i>Discussão dos resultados em relação ao Tamanho das empresas</i>	91
5.2.2 <i>Análise das respostas em relação à origem do capital</i>	93
5.2.2.1 <i>Análise das respostas sobre os benefícios</i>	93
5.2.2.2 <i>Análise das respostas sobre as barreiras</i>	100
5.2.2.3 <i>Discussão dos resultados em relação à Origem do Capital</i>	108
5.2.3 <i>Análise das respostas em relação à intensidade tecnológica</i>	110
5.2.3.1 <i>Análise das respostas sobre os benefícios</i>	110
5.2.3.1.1 <i>Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-baixa e Média-alta</i>	112
5.2.3.1.2 <i>Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-baixa e Alta</i>	118
5.2.3.1.3 <i>Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-alta e Alta</i>	123
5.2.3.2 <i>Análise das respostas sobre as barreiras</i>	126
5.2.3.2.1 <i>Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-baixa e Média-alta</i>	128
5.2.3.2.2 <i>Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-baixa e Alta</i>	132
5.2.3.2.3 <i>Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-alta e Alta</i>	139
5.2.3.3 <i>Discussão dos resultados em relação ao Nível de Intensidade Tecnológica</i>	144
6. CONCLUSÕES	149
Referências bibliográficas.....	155
APÊNDICE	161
Apêndice 1.....	161
ANEXO	167
Anexo 1.....	167

1. INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 (I4.0) é caracterizada pela criação de uma rede interconectada de sistemas, equipamentos e produtos inteligentes que visa a dinamizar os processos de produção com base na utilização de tecnologias de informação e comunicação (Dalenogare, Benitez, Ayala & Frank, 2018; Tortorella & Fetterman, 2018). Esse ambiente conectado possibilita a criação de fábricas inteligentes que utilizam máquinas autônomas para automatizar e otimizar os processos produtivos (Frank, Dalenogare & Ayala, 2019; Ghobakhloo, 2018). Essas tecnologias podem coletar dados em tempo real, analisando-os e gerando informações relevantes para serem utilizadas pelas fábricas inteligentes (Frank, Dalenogare & Ayala, 2019). Os sistemas ciber-físicos, Internet das Coisas (IdC), *big data*, computação em nuvem, inteligência artificial, impressora 3D são exemplos de tecnologias da Indústria 4.0 que permitem a criação dessa a rede de equipamentos interligados (Agostini & Filippini, 2019; Kang, Lee, Choi, Kim, Park, Son, Kim & Do Noh, 2016; Xu, Xu & Li, 2018).

A adoção da Indústria 4.0 gera impactos positivos nas organizações tais como o aumento na eficiência, produtividade e competitividade das operações na medida em que amplia a automatização e digitalização nas fábricas (Kagermann, Helbig, Hellinger, & Wahlster, 2013; Ślusarczyk, 2018; Veile, Kiel, Müller & Voigt, 2019). As linhas de produção se tornam mais flexíveis e eficazes no consumo de recursos, dessa forma é possível fabricar produtos customizados com menor custo (Kagermann, 2015). A I4.0 influenciará o desenvolvimento industrial de todos os países nos próximos anos e pode gerar vantagens competitivas para as empresas que adotarem esse novo conceito (Ghobakhloo, 2018; Xu, Xu & Li, 2018). Por outro lado existem alguns desafios relacionados à sua implementação que compreendem perspectivas organizacionais e tecnológicas (Horváth e Szabó, 2019). Essas barreiras podem ser técnicas, sociais ou científicas – tais como a privacidade e segurança dos dados, políticas regulatórias e treinamento dos empregados – e as manufaturas precisam conhecê-las melhor para que a adoção da I4.0 seja efetiva (Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018; Raj et al., 2019; Xu, Xu & Li, 2018).

A identificação dos fatores que impactam o processo de adoção de uma nova tecnologia é importante para a criação de modelos teóricos que poderão ajudar pesquisadores e organizações na introdução desse conjunto de tecnologias nas indústrias (Frambach & Schillewaert, 2002). As organizações que pretendem implementar esse novo paradigma industrial precisam estar cientes dos benefícios e barreiras que se relacionam com o processo de adoção da Indústria 4.0, dessa forma a implantação será mais eficaz (Calabrese, Ghiron & Tiburzi, 2020; Horváth & Szabó, 2019; Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018). Os autores Piccarozzi, Aquilani e Gatti (2018) realizaram uma revisão sistemática da literatura com artigos que abordam o tema da Indústria 4.0 e constataram que poucos estudos identificaram barreiras ou desafios relacionados a esse novo paradigma industrial.

Os benefícios e barreiras podem variar de acordo com alguns fatores, tais como a localização geográfica das manufaturas, a infraestrutura existente para instalação das novas tecnologias, as políticas e regulamentações vigentes e o tamanho das organizações (Sony & Naik, 2019). O tamanho das organizações é um fator importante

para ser considerado no estudo de adoção da I4.0 na medida em que as pequenas e médias empresas podem ser impactadas de forma diferente pelos benefícios e barreiras de implementação em comparação às grandes organizações devido a características particulares, tais como menor disponibilidade de recursos financeiros para investir em pesquisa e desenvolvimento (Rauch, Dallasega & Unterhofer, 2019).

As pesquisas sobre a adoção da Indústria 4.0 em manufaturas são recentes, especialmente no campo da administração, e existem poucos casos que retratam a implementação bem-sucedida dessas novas tecnologias nas indústrias (Piccarozzi, Aquilani & Gatti 2018; Sony & Naik, 2019; Veile et al., 2019). É importante ressaltar que ainda existem diversas incertezas com relação ao impacto econômico da I4.0 em países que estão em processo de desenvolvimento, tal como o Brasil (Dalenogare et al., 2018). Dessa forma o objetivo desse trabalho é identificar os benefícios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas brasileiras e entender como esses fatores se relacionam e são afetados em relação ao tamanho das empresas, intensidade tecnológica e origem do capital. Em resumo esse trabalho visa a responder à pergunta de pesquisa:

P1: Quais são os principais benefícios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas no Brasil?

Com o objetivo de identificar os principais benefícios e barreiras associados à adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas na literatura científica e auxiliar na formulação da metodologia desse trabalho, este trabalho procede a uma revisão sistemática da literatura. As bases científicas Scopus e Web of Science foram utilizadas para a realização das pesquisas por meio de combinações de palavras-chaves associadas ao objetivo desse trabalho. A revisão sistemática da literatura utilizou a abordagem de cinco passos proposta por Denyer & Tranfield (2009), que são formulação da questão de pesquisa, pesquisa dos artigos, seleção dos trabalhos, análise e síntese, discussão dos resultados. As pesquisas foram realizadas nos títulos, resumos e palavras-chave de trabalhos classificados como artigos científicos publicados até fevereiro de 2020. Foram lidos os resumos de todos os artigos encontrados e selecionou-se os trabalhos cujos objetivos estão relacionados à pergunta de pesquisa proposta. Foram selecionados 53 artigos que foram submetidos a análises bibliométricas e de conteúdo para a criação de um framework com os principais benefícios e barreiras. No total foram identificados 10 benefícios e 9 barreiras provenientes da adoção da Indústria 4.0 em manufaturas.

Esse framework serviu como base para a formulação de um questionário estruturado que foi enviado para gerentes e diretores das áreas de tecnologia da informação, inovação e operações de 127 empresas que adotaram soluções tecnológicas da Indústria 4.0 desenvolvidas pelas integradoras que fazem parte da iniciativa Finep Inovacred 4.0. O objetivo era obter informações e avaliações destes profissionais por meio de dados primários, com um questionário estruturado, com escala de Likert de 7 pontos (Malhotra, 2006; Siegel & Castellan, 2006). Os dados foram coletados por meio de um questionário desenvolvido no Google Forms e enviado para os respondentes pelo LinkedIn. No total, foram recebidos 194 questionários preenchidos.

A pesquisa empregou uma metodologia de natureza quantitativa com o intuito de investigar os principais benefícios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0

nas manufaturas no Brasil, considerando também os efeitos de fatores organizacionais que podem afetar a percepção desses benefícios e barreiras. A abordagem quantitativa é uma metodologia de pesquisa que tem o intuito de quantificar os dados e utilizar uma análise estatística para realizar a interpretação das informações coletadas (Malhora, 2006). A análise estatística permite ilustrar fenômenos sociais em termos quantitativos (Marconi & Lakatos, 2010) e este trabalho utilizou os testes não-paramétricos de Mann-Whitney e de Kruskal-Wallis para analisar os dados coletados. Esses testes foram utilizados para investigar diferenças de avaliações dos benefícios e barreiras provenientes da Indústria 4.0 em dois ou mais grupos de respondentes (Siegel & Castellan, 2006).

De forma geral, os resultados da pesquisa indicam que os benefícios de natureza mais operacional, tais como o aumento na produtividade das manufaturas e redução no consumo de recursos, foram considerados mais importantes pelas empresas de pequeno-médio porte e nacionais. Por outro lado, os benefícios de natureza mais estratégica e gerencial, tais como a fabricação de produtos inteligentes e apoio no processo de tomada de decisões, foram considerados mais importantes pelas empresas grandes. Em relação às barreiras, no geral, os resultados mostram que as empresas grandes e internacionais avaliam as barreiras estatisticamente significantes de forma mais importante do que as empresas pequeno-médias e nacionais. Dentre os principais resultados, a pesquisa mapeou na literatura científica os principais benefícios e barreiras provenientes da adoção da Indústria 4.0 e propôs um framework que pode ajudar as empresas e pesquisadores no desenvolvimento de estudos sobre o tema na medida em que evidencia oportunidades e desafios decorrentes da implementação desse novo paradigma industrial.

O texto apresenta a revisão da literatura acerca do advento da Indústria 4.0 e tecnologias relacionadas a esse novo paradigma industrial. Em seguida é apresentada a revisão sistemática da literatura sobre os principais benefícios e barreiras associados à adoção da Indústria 4.0 em manufaturas. A quarta seção apresenta a metodologia e procedimentos metodológicos empregados na pesquisa. Em seguida, o trabalho apresenta a análise e discussão dos resultados. A última seção traz as conclusões do trabalho.

2. REVISÃO DE LITERATURA: O ADVENTO DA INDÚSTRIA 4.0

Esse tópico apresenta uma revisão da literatura científica a respeito dos conceitos relacionados ao fenômeno da Indústria 4.0, as tecnologias que fazem parte desse novo paradigma industrial e são fundamentais para a sua implementação, a adoção da Indústria 4.0 por diferentes tipos de empresa e em diferentes países focando especialmente no Brasil.

2.1 Indústria 4.0

O termo Indústria 4.0 (I4.0) foi criado em 2011 baseado em uma iniciativa do governo da Alemanha em parceria com universidades e empresas privadas, naquele momento esse conceito foi apresentado como um programa estratégico com foco no desenvolvimento de sistemas produtivos avançados que permitem aumentar a eficiência e produtividade da indústria (Frank, Dalenogare & Ayala, 2019; Kagermann et al., 2013). Posteriormente esse conceito ganhou notoriedade global e foi traduzido e reinterpretado por outros países, gerando assim uma falta de consenso na sua definição tanto do ponto de vista teórico quanto prático (Liao, Deschamps, Loures & Ramos, 2017; Zangiacomi, Pessota, Fornasiero, Bertetti & Sacco, 2020). Em todo caso, a I4.0 é caracterizada por uma ampla variedade de tecnologias, sistemas inteligentes e procedimentos interconectados que permitem a criação de processos produtivos mais flexíveis, precisos, dinâmicos e autônomos (Da Silva, Kovaleski, Pagani, Silva & Corsi, 2019; Tortorella & Fettermann, 2018). A flexibilidade dos processos manufatureiros viabiliza a montagem de produtos customizados com custos menores ou iguais em relação à produção massificada (Buer, Strandhagen & Chan, 2018; Dachs, Kinkel & Jager, 2019).

A Indústria 4.0 pode ser definida como um novo estágio de evolução industrial, o qual permite a integração entre os processos produtivos das manufaturas com tecnologias que possibilitam a comunicação e troca de informações (Dalenogare et al., 2018). Essas tecnologias viabilizam a transmissão automática de dados ao longo de todo o sistema de produção das indústrias, facilitando o controle das suas operações com base em informações recebidas e processadas em tempo real (Lu & Weng, 2018; Moeuf, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Girald & Barbaray, 2018). As tecnologias mais comumente relacionadas à I4.0 são: sistemas ciber-físicos, Internet das Coisas (IdC), *big data* e análise de dados, computação em nuvem, inteligência artificial, robótica, sensores inteligentes, impressoras 3D (Agostini & Filippini, 2019; Kang et al., 2016; Xu, Xu & Li, 2018).

Esse conjunto de tecnologias atuando de forma interligada criam fábricas inteligentes que viabilizam a utilização de máquinas com a capacidade de atuarem de forma independente e autônoma mediante a coleta, análise e interpretação de dados reunidos ao longo de todos os processos produtivos (Sung, 2018). A Indústria 4.0 combina a utilização de tecnologias, inteligência artificial e análise de dados para otimizar os processos produtivos na manufatura proporcionando a geração contínua de informações relevantes para a empresa e diminuindo a utilização dos seus recursos internos (Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018; Xu, Xu & Li, 2018). Sendo assim,

esse novo paradigma industrial é um conceito amplo que inclui diversos aspectos organizacionais, tais como os processos manufatureiros, o gerenciamento de dados, a relação com consumidores e outros *stakeholders*, a manutenção da competitividade, entre outros assuntos relacionados a adoção dessas novas tecnologias nas operações (Piccarozzi, Aquilani & Gatti, 2018)

A I4.0 é um fenômeno novo e poderoso no contexto industrial, fundamentado na possibilidade de integração vertical e horizontal dos sistemas produtivos por meio da contínua troca de dados entre as tecnologias utilizadas (de Sousa Jabbour, Jabbour, Foropon & Godinho Filho, 2018). Nesse trabalho a Indústria 4.0 é conceituada como a utilização de produtos e processos inteligentes nas manufaturas que permitem a coleta e análise de dados de forma autônoma e a interação entre as fábricas com outros departamentos das empresas, fornecedores e consumidores (Buer, Strandhagen & Chan, 2018).

2.2 Tecnologias da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 utiliza tecnologias avançadas na linha de produção das manufaturas que permitem a criação de um ambiente digital que se conecta ao real, nesse contexto os recursos, produtos e profissionais das empresas podem se interligar com tecnologias físicas e digitais (Da Silva et al., 2019). Os sistemas ciber-físicos e a Internet das Coisas (IdC) são tecnologias imprescindíveis para a adoção da I4.0 na medida em que possibilitam a integração e conexão de diversas tecnologias físicas promovendo a comunicação entre elas (Fatorachian & Kazemi, 2018; Zangiacomini et al., 2020). Os sistemas ciber-físicos e a IdC são considerados os principais elementos que constituem essa nova revolução industrial (Ghobakhloo, 2018; Liao et al., 2017).

Frank et al. (2019) afirmam que existem quatro tecnologias que formam a base da I4.0 nas manufaturas visto que estão presentes em todas as suas dimensões e são fundamentais para criação de um ambiente que propicie a conectividade entre diversos dispositivos, essas tecnologias são a Internet das Coisas (IdC), computação em nuvem, *big data* e ferramentas de análise de dados como por exemplo *machine learning*. Klingenberg, Borges & Antunes Jr (2019) identificam ao menos 111 tecnologias que se relacionam à I4.0, porém as cinco mais citadas são os sistemas ciber-físicos, Internet das Coisas, *big data*, ferramentas de análise de dados e computação em nuvem. Dessa forma é importante destacar que não há um consenso entre os autores acerca do conjunto de tecnologias que constituem a I4.0, porém as tecnologias citadas acima são essenciais para as fábricas inteligentes visto que permitem a interoperabilidade entre diversos tipos de equipamentos (Kang et al., 2016).

Em suma, não existe uma conformidade em relação ao conjunto de tecnologias que formam a Indústria 4.0 e na medida em que esse conceito é novo, continuará evoluindo com o surgimento de novas tecnologias (Klingenberg, Borges & Antunes Jr, 2019). Em todo caso, “é possível determinar certos elementos comuns, como sistemas de automação, conexões entre os mundos físico e virtual, o reconhecimento de um conjunto de tecnologias facilitadoras, a digitalização, a Internet e as mudanças nos relacionamentos com os stakeholders” (Büchi, Cugno & Castagnoli, 2020, p. 3).

Essa nova revolução industrial não é formada apenas por um conjunto de tecnologias atuando de forma integrada, na realidade a I4.0 deve ser entendida como um sistema industrial baseado em interações e sinergias entre diversas tecnologias com potencial para impactar as manufaturas de diversas formas (Olsen & Tomlin, 2020). Em seguida será detalhado o funcionamento das tecnologias consideradas essenciais para a operacionalização da Indústria 4.0, que são sistemas ciber-físicos, Internet das Coisas, computação em nuvem, big data e ferramentas de análise de dados.

2.2.1 Sistemas Ciber-físicos

Os sistemas ciber-físicos são formados por “diferentes componentes de tecnologia que incluem sistemas integrados, sensores, hardware e software” (Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018, p. 109). Esses sistemas são desenvolvidos com o objetivo de integrar tecnologias digitais, tais como o big data e os algoritmos, com equipamentos ou componentes do mundo real, como por exemplo as máquinas da linha de produção, dessa forma essa tecnologia possibilita a integração do mundo virtual ao físico (Fatorachian & Kazemi, 2018; Xu, Xu, Li, 2018). Os sistemas ciber-físicos e seus componentes formam a base tecnológica para a implementação e operacionalização da Internet das Coisas (IdC) no contexto industrial, permitindo integração de diversas tecnologias e a transmissão de dados em tempo real (Kiel, Muller, Arnold & Voigt, 2017). Os sistemas ciber-físicos são fundamentais para a adoção da Indústria 4.0 e por meio deles é possível criar máquinas inteligentes e sistemas de produção integrados às tecnologias de informação e comunicação (Kagermann et al., 2013).

Os sistemas ciber-físicos são formados por uma variedade de tecnologias que possibilitam a associação entre processos operacionais de produção e sistemas digitais, dessa forma podem ser “controlados e monitorados por algoritmos baseados em computadores e estão totalmente integrado aos seus usuários (objetos, humanos e máquinas) via Internet” (Ghobakhloo, 2018, p. 921). Essa integração entre diversos componentes tecnológicos permite a assimilação de dados em tempo real que podem auxiliar nas tomadas de decisões nas linhas de produção, tais como priorizar a produção de certas mercadorias ou apontar a necessidade de serviços de manutenção de forma autônoma (de Sousa Jabbour et al., 2018). Essa análise de dados em tempo real traz informações relevantes para as manufaturas, como a eficiência e disponibilidade das suas máquinas, e por meio delas é possível criar um planejamento de produção mais eficaz e eficiente (Romero-Silva & Hernandez-Lopez, 2019).

A fusão do mundo real ao virtual por meio dos sistemas ciber-físicos são fundamentais para a adoção da Indústria 4.0, essa conectividade permite a coleta e troca constante de informações entre diversos tipos de tecnologias que podem gerar conhecimento para as empresas (Rocha, Mamédio & Quandt, 2019; Xu, Xu & Li, 2018). Os dados coletados podem se relacionar ao ambiente físico das manufaturas assim como aos processos digitais da linha de produção e podem ser interpretados tanto por humanos quanto por máquinas inteligentes (Kagermann, 2015; Müller, 2019). Dessa forma, os sistemas ciber-físicos são essenciais para a criação de fábricas inteligentes e funcionam como um alicerce para a utilização de tecnologias como a Internet das Coisas, big data e computação em nuvem (Kang et al., 2016).

2.2.2 Internet das Coisas (IdC)

A Internet das Coisas (IdC) é uma rede formada por máquinas, sensores, sistemas e produtos interconectados que coleta e transmite dados, possibilitando o rastreamento e monitoramento de diversos tipos de dispositivos que estão integrados à essa tecnologia (de Sousa Jabbour et al., 2018; Fatorachian & Kazemi, 2018). Essa tecnologia permite a extração de um grande volume de dados de diversas fontes e em alta velocidade que é conhecido como big data (Mourtzis, Fotia, Boli & Vlachou, 2019). Os dispositivos, ou “coisas”, conectados à IdC devem possuir um padrão de comunicação que permita a interoperabilidade do sistema, viabilizando a troca de dados de forma autônoma entre diversos tipos de equipamentos com interfaces inteligentes (Xu, Xu & Li, 2018). A IdC transformou-se em uma tecnologia mais desenvolvida nos últimos anos na medida em que os dispositivos sem fio, tais como as etiquetas de rádio frequência (RFID) e sensores, evoluíram e se tornaram mais sofisticados (Singh & Bhanot, 2016). É importante ressaltar que com o avanço tecnológico dos dispositivos sem fio e sensores outros equipamentos inteligentes poderão ser desenvolvidos para integrar a IdC (Xu, Xu & Li, 2018)

Essa rede de dispositivos conectados é fundamental para agregar o mundo real ao digital permitindo a geração de informação para as manufaturas que podem auxiliar no aumento da produtividade e economia de recursos (Kang et al., 2016). A aplicação da IdC nas indústrias é chamada de Internet das Coisas Industrial e essa rede é considerada essencial para a implantação da Indústria 4.0 visto que por meio dela é possível desenvolver os sistemas ciber-físicos necessários para a utilização de diversas tecnologias de forma integrada (Marques, Agostinho, Zacharewicz & Goncalves, 2017). A aplicação da IdC nas manufaturas tem potencial para melhorar alguns aspectos operacionais, tais como a identificação de serviços de manutenção por meio de métodos preditivos, a otimização no uso de energia elétrica e consumo de recursos e a eficiência no controle de qualidade de produtos (Ghobakhloo, 2018). A coleta e análise de dados das indústrias em tempo real permite um melhor controle e planejamento dos processos produtivos, dessa forma essa tecnologia pode auxiliar também na flexibilidade e customização da linha de produção (Kiel et al., 2017; Moktadir, Ali, Kusi-Sarpong & Shaikh, 2018). O monitoramento de possíveis falhas nas manufaturas e a correção de forma autônoma também são benefícios que se relacionam com a utilização da IdC nas indústrias (Marques et al., 2017).

A IdC é fundamentada na ideia de que equipamentos inteligentes interconectados superam a capacidade humana de coleta, processamento e comunicação de dados (Ghobakhloo, 2018). Dessa forma essa rede tem a capacidade de otimizar processos produtivos nas manufaturas na medida em que consegue analisar uma vasta quantidade de dados que os profissionais não conseguiriam, propiciando a identificação de oportunidades de melhoria na produtividade e o consumo de menos recursos na linha de produção (Kiel et al., 2017). O avanço tecnológico dos últimos anos torna difícil prever um futuro sem a interação entre dispositivos inteligentes com o objetivo de gerar benefícios para a humanidade, sendo assim a IdC tem um enorme potencial para aplicação em diversos contextos na sociedade (Singh & Bhanot, 2019).

2.2.3 Computação em Nuvem

A computação em nuvem permite o armazenamento de um amplo volume de dados em servidores públicos ou privados que podem estar localizados em qualquer parte do mundo e os seus usuários podem acessar essas informações de forma remota de acordo com a sua demanda (Ooi, Lee, Tan, Hew & Hew, 2018; Xu, Xu & Li, 2018). Essa tecnologia torna acessível o armazenamento de uma grande diversidade de dados coletados por equipamentos inteligentes e viabiliza a análise dessa base com o intuito de identificar padrões e gerar conhecimento para as organizações (Kagermann, 2015). A utilização da Internet das Coisas, a qual proporciona a possibilidade de decisões descentralizadas e configurações autônomas de processos produtivos, é viável financeiramente devido a oportunidade de realizar essas operações por meio das nuvens, caso contrário o investimento necessário para armazenar e analisar esse grande volume de dados em servidores próprios tornaria essa tecnologia impraticável (Klingenberg, Borges & Antunes Jr, 2019). O surgimento da “computação em nuvem é uma das inovações tecnológicas mais promissoras com potencial para melhorar a eficiência do processo das empresas de manufatura” (Ooi et al., 2018, p. 389).

A aplicação da computação em nuvens nas indústrias auxilia no armazenamento de diversos dados coletados em tempo real provenientes de equipamentos industriais e na criação de redes de comunicação entre diversas áreas da empresa, possibilitando a ligação entre as manufaturas com outros departamentos ou organizações independentemente da sua localização geográfica (Ghobakhloo, 2018; Moktadir et al., 2018). A utilização da computação em nuvem nas manufaturas permite a criação de um ambiente virtual que pode conectar a cadeia de suprimentos da organização até o consumidor final do produto, beneficiando áreas como, por exemplo, o design e o marketing das empresas (de Sousa Jabbour et al., 2018). Sendo assim, a computação em nuvem é uma tecnologia que auxilia no desenvolvimento de fábricas inteligentes e na melhoria dos processos manufatureiros por meio da utilização dessa plataforma virtual para monitorar, reprogramar e flexibilizar os processos produtivos em tempo real (Ooi et al., 2018).

2.2.4 Big Data

O *big data* é uma base de “dados inadequada para ser usada pelos métodos tradicionais de processo de dados devido à sua ampla variedade, estrutura complexa e tamanho” (Kang et al., 2016, p. 119). Esse conjunto de informações podem ser coletadas de diversas fontes, tais como sensores, equipamentos inteligentes, mídias sociais, e podem ser utilizadas pelas empresas para monitorar oportunidades nas suas operações ou mercados em que atuam (Strange & Zucchella, 2017). Os dados são um recurso inesgotável atualmente e podem ser utilizados diversas vezes após o armazenamento, além disso podem ser analisados em diversos contextos ao mesmo tempo para gerar informações relevantes para as operações (Klingenberg, Borges & Antunes Jr, 2019). Sendo assim, o *big data* é uma tecnologia que proporciona à organização a possibilidade de reunir e analisar uma grande quantidade e variedade de dados com o intuito de gerar conhecimento e valor para a empresa (Ghobakhloo, 2018).

A aplicação do *big data* no contexto empresarial auxilia em melhorias no planejamento, coordenação, execução e controle de diversas atividades nas indústrias de uma forma autônoma (Sony & Naik, 2019). As empresas conseguem ter maior controle do seu estoque na medida em que sensores coletam as informações em tempo real e de forma precisa (Olsen & Tomlin, 2020). Essa extração e análise de dados é feita por meio de sistemas baseados na Internet das Coisas, dessa forma é possível gerar a interconectividade necessária entre dispositivos, sensores e equipamentos, que são responsáveis pela reunião desse conjunto de informações (Singh & Bhanot, 2019). Essa integração de dados de diversas fontes é imprescindível para o desenvolvimento das fábricas inteligentes (Ing, Lee, Chan, Alipal & Hamid, 2019).

A coleta de ampla diversidade de dados não é suficiente para gerar conhecimento para as organizações, sendo assim é necessário o desenvolvimento de sistemas e métodos responsáveis pela análise, processamento e visualização desse conjunto de informações (Kang et al., 2019). Dessa forma o *big data* precisa de uma técnica analítica para examinar as informações extraídas, tal como a utilização de algoritmos programados para estabelecer padrões e associações relevantes entre os dados (Klingenberg, Borges & Antunes Jr, 2019). Essas ferramentas de análise de dados serão apresentadas a seguir, todavia é importante destacar que a origem dos dados não é o que atribui relevância à informação, o mais importante é utilizar um método adequado para interpretar esse conjunto de informações (Gölzer & Fritzsche, 2017).

2.2.5 Ferramentas de análise de dados

A extração de dados de diversas fontes é apenas o primeiro passo para as organizações gerarem conhecimento relevante para as empresas, após a coleta das informações é necessário identificar padrões que permitam prever o que pode acontecer e quais ações devem ser tomadas para melhorar os resultados das operações (Ghobakhloo, 2018). A integração e interpretação das informações do *big data* são realizadas por ferramentas de análise de dados, que são técnicas essenciais para identificar, organizar e armazenar conhecimento relevante para as organizações (Klingenberg, Borges & Antunes Jr, 2019; Lu & Weng, 2018). Algoritmos podem ser utilizados para analisar os dados coletados e auxiliar na predição de padrões com o intuito de desenvolver um melhor planejamento dos processos operacionais e aumentar a eficiência das operações (Mourtzis et al., 2019).

A escolha e desenvolvimento da ferramenta analítica adequada é um desafio que as indústrias devem superar para garantir o processamento e gerenciamento de dados da forma mais efetiva (Ing et al., 2019). A estratégia escolhida não pode se limitar a sistematizar rotinas operacionais e apresentar as informações extraídas de forma tradicional, essas ferramentas devem lidar com a alta velocidade e variedade de dados coletados no *big data* e transformar essa ampla base de informações em conhecimento relevante para as organizações (Gölzer & Fritzsche, 2017).

A inteligência artificial é uma técnica analítica que pode ser utilizada para interpretar dados extraídos por meio do *big data*. Essa tecnologia tem como objetivo buscar a “imitação da inteligência humana usando computadores . . . [e] é

frequentemente empregada simplesmente para indicar que um computador e não um humano está envolvido na solução de problemas” (Olsen & Tomlin, 2020, p. 119). A inteligência artificial pode ser utilizada nas organizações com o objetivo de automatizar processos operacionais, detectar padrões em uma ampla base de dados (*big data*) que podem gerar conhecimento e se comunicar com empregados e clientes (Davenport & Ronanki, 2018). Essa tecnologia pode ser integrada a diversos sistemas e equipamentos das indústrias para permitir o aprendizado baseado em experiências anteriores, com a utilização de algoritmos e *machine learning*, e a comunicação de forma autônoma entre esses dispositivos (Singh & Bhanot, 2019). Dessa forma a inteligência artificial pode ser utilizada pelas manufaturas como uma técnica descritiva ou preditiva para a análise de dados (Olsen & Tomlin, 2020).

O *machine learning* é uma ferramenta que pode ser utilizada para a análise de uma grande base de dados. Essa tecnologia é formada por “programas que aprendem ao longo do tempo a melhorar e adaptar o desempenho com base na experiência e nos resultados anteriores, sem instruções explícitas dos seres humanos” (Chopra & Priyadarshi, 2019, p. 2320). Algoritmos são desenvolvidos para essa tecnologia de forma que utilizem bases de dados de treino e técnicas estatísticas com o objetivo de aprenderem como deve ser feita uma tomada de decisão assertiva sem a utilização de um modelo preditivo específico (Olsen & Tomlin, 2020). Os algoritmos dessa ferramenta conseguem analisar dados de variadas fontes simultaneamente com o intuito de identificar qualquer padrão anormal na base de informações coletadas (Ko, Lee, Cho, Cho, Lee & Lee, 2017). O *machine learning* é uma técnica dinâmica de análise de dados, na medida que consegue aprender com base na interpretação de informações coletadas previamente, e consegue extrair conhecimentos relevantes para as organizações por meio de dados estruturados ou desestruturados (Moktadir et al., 2018). Essa ferramenta pode ser utilizada em diversos contextos nas manufaturas, tais como para prever a necessidade de manutenção dos equipamentos, controle de qualidade, aumento de flexibilidade na linha de produção, previsão de demanda de matéria-prima, sendo assim essa tecnologia pode tornar os processos produtivos das indústrias mais eficientes (Chopra & Priyadarshi, 2019). Ko et al. (2017) realizaram um experimento com algoritmos desenvolvidos para essa tecnologia com o objetivo de identificar problema de qualidade em maquinários pesados em manufaturas e os resultados demonstraram que a ferramenta de análise de dados proposta era capaz de detectar defeitos nas máquinas mesmo quando apresentavam desempenho considerado adequado pela operação.

Em suma, o *big data* e as ferramentas de análise de dados são tecnologias que devem ser utilizadas de forma integrada com o objetivo de gerar conhecimento para as organizações (Klingenberg, Borges & Antunes Jr, 2019). Essas duas tecnologias são consideradas essenciais para a adoção da Indústria 4.0 visto que os sistemas das manufaturas se tornam inteligentes na medida em que combinam uma ampla base de dados com uma capacidade de processamento baseada em técnicas analíticas avançadas (Frank, Dalenogare & Ayala, 2019).

2.3 Adoção da Indústria 4.0

A adoção da Indústria 4.0 permite uma melhora na eficiência, produtividade e competitividade das indústrias por meio de um alto nível de automação e digitalização das manufaturas (Kagermann et al., 2013; Ślusarczyk, 2018; Veile et al., 2019). A criação de sistemas autônomos e inteligentes de produção são a base para o desenvolvimento da Indústria 4.0 nas organizações (Piccarozzi, Aquilani & Gatti, 2018). Essa integração entre sistemas e sensores inteligentes permite a coleta e transmissão de dados entre esses equipamentos com o intuito de auxiliar as manufaturas no planejamento dos seus processos e operações de forma mais eficiente (Mourtzis et al., 2019).

Esse conceito não é tratado atualmente como uma tendência futura, mas sim como uma importante estratégia de longo prazo que pode impactar significativamente o desenvolvimento industrial global e gerar vantagens competitivas para as empresas (Ghobakhloo, 2018; Xu, Xu & Li, 2018). Szász, Demeter, Rácz e Losonci (2020) analisaram por meio de equações estruturais os dados coletados em 705 manufaturas localizadas em 22 países e demonstraram que a adoção de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 influencia positivamente o desempenho das operações, os autores afirmam que o desempenho operacional é constituído dos seguintes fatores: custo, qualidade, flexibilidade e distribuição.

O investimento na implementação dessas novas tecnologias inteligentes com sucesso pelas manufaturas deve ser feito de maneira contínua e poderá determinar a sua sobrevivência ou não nessa nova era da Indústria 4.0 (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Ghobakhloo, 2019). É importante destacar que a adoção desse novo paradigma industrial não está relacionado apenas ao investimento em novas tecnologias ou automatização da linha de produção, existe também a necessidade de mudança em alguns aspectos gerenciais nas organizações, tais como a relação com os stakeholders e o suporte da alta gerência ao longo de todo o processo de implementação da Indústria 4.0 (Piccarozzi, Aquilani & Gatti, 2018).

Conforme exposto acima, é notável a quantidade de benefícios que a aplicação da Indústria 4.0 pode proporcionar às fábricas, no entanto existem algumas barreiras para a sua implementação. As empresas irão enfrentar alguns desafios para adotarem a I4.0 nas manufaturas, dessa forma é importante evidenciar os benefícios e barreiras associados a esse conceito para permitir uma melhor compreensão acerca do processo de implantação dessas novas tecnologias (Calabrese, Ghiron & Tiburzi, 2020; Horváth & Szabó, 2019; Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018). A identificação dos benefícios e barreiras pode ajudar as organizações a reconhecerem onde devem concentrar seus esforços e realizarem melhorias para continuarem competitivas (Stentoft & Rajkumar, 2019). Horváth e Szabó (2019) afirmam que esses desafios abrangem os aspectos tecnológicos, organizacionais e gerenciais da organização na medida em que a aplicação dessas novas tecnologias irá transformar os processos internos, gerar mudanças no ambiente de trabalho e exigir novas competências dos empregados.

O campo de estudo da adoção da Indústria 4.0 em manufaturas é novo e existem poucas experiências relacionadas à implantação eficiente desse novo conceito nas organizações (Sony & Naik, 2019; Veile et al., 2019). Mourtzis et al. (2019) afirmam,

baseados na revisão da literatura do seu artigo, que diversas abordagens de adoção da Indústria 4.0 foram desenvolvidas, porém existem poucos estudos que exploram esse tema de forma quantitativa e por isso o conhecimento acerca da implementação da I4.0 nas manufaturas é limitado. Os trabalhos científicos que tratam da Indústria 4.0 no geral abordam o tema de forma conceitual ou por meio de estudos de casos, sendo assim existem poucos estudos empíricos que tratam da adoção dessas novas tecnologias e o seu impacto no desempenho das organizações (Büchi, Cugno & Castagnoli, 2020).

Os benefícios e barreiras associados à adoção da Indústria 4.0 podem variar de acordo com o mercado, localização das organizações, qualidade da infraestrutura disponível para utilização dessas novas tecnologias, estabilidade política e econômica, cultura, entre outras variáveis (Sony & Naik, 2019). O tamanho das organizações é um fator importante que pode influenciar a implementação da I4.0 visto que as pequenas e médias empresas possuem algumas particularidades, sendo assim a adoção dessas novas tecnologias são influenciadas pelo tamanho das empresas e as características do mercado em que atuam (Neirotti, Raguseo & Paolucci, 2017). As empresas pequenas e médias terão maiores dificuldades em se adaptar a esse novo conceito visto que geralmente possuem menos recursos financeiros dedicados para a pesquisa e desenvolvimento e empregados pouco qualificados em relação as grandes empresas (Rauch, Dallasega & Unterhofer, 2019).

O processo de adoção da Indústria 4.0 pode variar de maneira significativa entre os países visto que existem particularidades relacionadas a cada ambiente industrial que podem colaborar ou dificultar a utilização dessas novas tecnologias digitais (Zheng, Ardolino, Bacchetti, Perona & Zanardini, 2019). Na Alemanha – país que apresentou pela primeira vez o termo Indústria 4.0 – o nível de adoção desse novo conjunto de tecnologias é alto, especialmente em grandes corporações como a Siemens, General Electric e Mitsubishi (Piccarozzi, Aquilani & Gatti, 2018). Os países em desenvolvimento podem ter maior dificuldade na implementação desse novo paradigma industrial visto que geralmente apresentam um menor nível de utilização de automação e tecnologias de informação e comunicação nas suas operações (Dalenogare et al., 2018).

2.3.1 Adoção da I4.0: pequenas e médias empresas X grandes empresas

As grandes empresas devem ser menos impactadas pelas barreiras de adoção das novas tecnologias e aparentam ser mais informadas a respeito dos potenciais inerentes à utilização da Indústria 4.0 nas suas operações (Horváth & Szabó, 2019; Zheng et al., 2019). As empresas que possuem maiores recursos tecnológicos e financeiros podem investir mais em treinamento dos seus profissionais para adotarem essas novas tecnologias de forma bem-sucedida. (Ooi et al., 2019). Existem estudos de adoção da I4.0 que não diferenciam as empresas de acordo com o seu porte e assumem que as manufaturas pertencem a um grupo homogêneo, em todo caso é importante ressaltar que as pequenas e médias empresas apresentam particularidades acerca dos fatores que influenciam a implementação dessas novas tecnologias em relação às grandes empresas (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019).

Szász, Demeter, Rácz e Losonci (2020) analisaram os dados obtidos por meio de um questionário estruturado com 705 manufaturas em 22 países e constataram que as empresas maiores investem mais na implementação de tecnologias associadas à Indústria 4.0. Neirotti, Raguseo e Paolucci (2017) demonstraram que o efeito combinado do tamanho das empresas e as condições do mercado em que atuam influenciam o desenvolvimento de capacidades organizacionais necessárias para a utilização das novas tecnologias de informação e comunicação que constituem a Indústria 4.0. Sendo assim, o tamanho das organizações é uma variável que pode influenciar de forma distinta o processo de adoção da Indústria 4.0 pelas empresas.

Zheng et al. (2019) examinaram 103 manufaturas italianas e os resultados apresentados demonstram que as grandes empresas possuem maior informação a respeito do potencial da utilização das tecnologias digitais nas suas operações e por isso apresentam maior disposição na adoção da I4.0, por outro lado as pequenas e médias empresas não possuem estratégias bem definidas para capturar os conhecimentos necessários acerca dos princípios da utilização da I4.0 nas suas operações. Calabrese, Ghiron e Tiburzi (2020) afirmam que as empresas maiores adotam a I4.0 devido a motivações internas em relação a melhorias nos seus processos, por outro lado as empresas menores se interessam na implementação devido a junção de motivações internas e externas, como a possibilidade de atender uma parcela maior da demanda dos seus consumidores. Prause (2019) afirma também que as motivações para adoção da Indústria 4.0 por pequenas e médias empresas são direcionadas pelo mercado, esse estudo evidencia que os fatores externos afetam essas empresas mais que os fatores internos para implementarem esse conjunto de novas tecnologias.

A seleção e adoção das tecnologias nas operações é feita de forma distinta por empresas de diferentes tamanhos. Bosman, Hartman e Sutherland (2019) constataram que empresas com menos de 20 empregados, que foram classificadas como pequeno porte no artigo, priorizam a adoção de tecnologias digitais que impactam diretamente na produtividade e qualidade dos processos da linha de produção, por outro lado as empresas maiores investem em tecnologias que proporcionam suporte para toda a operação e não se restringem apenas à melhoria dos processos produtivos. Moeuf et al. (2018) analisaram 23 casos de pequenas e médias empresas que implementaram tecnologias relacionadas à I4.0 e constataram que no geral a sua utilização está relacionada ao monitoramento dos processos de produção e melhoria na sua capacidade de flexibilização, além disso as empresas optaram por tecnologias que exigiam menos investimentos financeiros e características revolucionárias, assim como computação em nuvem, negligenciando a utilização de soluções inovadoras que poderiam transformar profundamente o seu modelo de negócios tais como o big data, robótica e sistemas ciber-físicos. A incerteza em relação ao retorno financeiro dos investimentos realizados para implementação da Indústria 4.0 incentiva a adoção de tecnologias mais desenvolvidas por pequenas e médias empresas em relação a tecnologias recentes e pouco evoluídas no mercado (Prause, 2019).

As pequenas e médias empresas devem ser auxiliadas e incentivadas no processo de implementação dessas novas tecnologias de informação e comunicação para que elas possam manter a sua competitividade por meio da otimização dos processos organizacionais e redução nos custos de produção que esse novo paradigma industrial

proporciona às organizações (Neirotti, Raguseo & Paolucci, 2017). Horváth e Szabó (2019) realizaram um estudo de caso qualitativo e os resultados indicam que as pequenas e médias empresas possuem menos informações acerca dos benefícios na implementação da Indústria 4.0 nas operações. A adoção tardia da Indústria 4.0 por essas empresas pode trazer desvantagens no mercado em que atuam na medida em que se tornarão menos competitivas (Prause, 2019).

Em suma, o tamanho das organizações pode influenciar o processo de implementação das tecnologias da Indústria 4.0, dessa forma o impacto dos benefícios e barreiras pode variar de acordo com o tamanho da empresa (Rauch, Dallasega & Unterhofer, 2019). Conforme exposto anteriormente as pequenas e médias empresas geralmente buscam benefícios associados à produtividade e eficiência operacional com menores investimentos, em contrapartida as empresas grandes possuem maior informação acerca dessa nova revolução industrial e podem estar mais dispostas a investirem em uma maior variedade de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 para melhorar os processos internos.

2.3.2 Adoção da Indústria 4.0 no Brasil

O conceito da Indústria 4.0 é novo, dessa forma temos um alto nível de incerteza e falta de conhecimento acerca do impacto desse conjunto de tecnologias nas manufaturas no contexto de países em desenvolvimento (Dalenogare et al., 2018). Esses países encontrarão desafios diferentes para adotarem a I4.0 em comparação com os países desenvolvidos (Tortorella, Giglio & van Dun, 2019). Essa distinção pode acontecer devido às políticas criadas por esses dois tipos de países; os países desenvolvidos no geral possuem políticas nacionais com foco em estratégias que permitem a evolução das suas indústrias por meio da Indústria 4.0, por outro lado nos países em desenvolvimento a adoção de novas tecnologias é incentivada no contexto das organizações e depende de iniciativas individuais ao invés de políticas coordenadas no âmbito nacional (Raj, Dwivedi, Sharma, de Sousa Jabbour & Rajak, 2019). Além disso, historicamente os países subdesenvolvidos possuem grande parte das indústrias focadas na extração e comércio de *commodities*, desestimulando a adoção de novas tecnologias quando comparados aos países desenvolvidos (Dalenogare et al., 2018). Em todo caso é importante destacar que os países em desenvolvimento podem acelerar a produção e estimular o crescimento econômico mediante a adaptação aos conceitos da I4.0 (Islam, Jantan, Hashim, Chong, Abdullah, Rahman & Hamid, 2018).

No Brasil o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) lidera o projeto “Agenda Brasileira para a Indústria 4.0” em parceria com os setores produtivos brasileiros, essa iniciativa tem como objetivo auxiliar os empresários do país, por meio de etapas estruturadas, no processo adoção da Indústria 4.0 (MDIC, 2017). A Confederação Nacional das Indústrias (CNI) também contribui com a compreensão dos conceitos da I4.0 no país, essa instituição realizou em 2016 uma pesquisa com 2225 empresas nacionais para identificar os desafios e benefícios relacionados à adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil (CNI, 2016). Os resultados dessa pesquisa mostraram um nível baixo de implantação dessas tecnologias

nas indústrias brasileiras, em contrapartida muitos setores industriais demonstraram que planejavam investir na Indústria 4.0 na medida em que estavam cientes dos seus benefícios (Dalenogare et al., 2018). A principal barreira apresentada nessa pesquisa foram os altos investimentos necessários para implementação das novas tecnologias e a falta de profissionais capacitados mostrou-se como o principal desafio para as empresas, em todo caso o conhecimento acerca dos benefícios e barreiras de adoção da Indústria 4.0 no Brasil ainda é limitado (Tortorella, Fettermann, 2018).

Os investimentos em máquinas e equipamentos nos países emergentes são feitos geralmente em tecnologias maduras que permitem o aumento da produtividade da manufatura, dessa forma tecnologias mais avançadas e recentes não são implementadas em larga escala (Dalenogare et al., 2018). No Brasil, a CNI realizou uma pesquisa em 2018 chamada “Investimentos em indústria 4.0” e constatou que 48% das grandes empresas pretendiam investir em tecnologias dessa nova revolução industrial nas suas operações; essa pesquisa afirma que as organizações priorizam investir em tecnologias digitais que tem como objetivo melhorar a eficiência dos processos manufatureiros com destaque para a automação digital com sensores (CNI, 2018). Frank, Cortimiglia, Ribeiro e Oliveira (2016) constataram que muitas empresas brasileiras não adquirem maquinário sofisticado que poderia fomentar a adoção da Indústria 4.0 nas operações, no geral as empresas optam por máquinas e equipamentos mais baratos que podem ser atualizados e automatizados mas comprometem as atividades relacionadas à inovação.

As empresas manufatureiras brasileiras ainda não implantaram em larga escala tecnologias promissoras e importantes para Indústria 4.0 tais como *big data*, computação em nuvem e outras tecnologias que possibilitam a digitalização das fábricas (Dalenogare et al., 2018). As empresas nacionais geralmente adotam tecnologias nas manufaturas com objetivo de aumentar a eficiência e reduzir custos nos processos produtivos, dessa forma as novas tecnologias com foco no desenvolvimento de produtos e inovações não são valorizadas pelas indústrias como se espera no contexto da I4.0 (Tortorella, Giglio & van Dun, 2019). Rocha, Mamédio e Quandt (2019) afirmam que o Brasil não possui preparação adequada para adoção da Indústria 4.0 em larga escala considerando os aspectos culturais das empresas brasileiras e a falta de políticas que incentivam o investimento na transformação digital das manufaturas.

Os países em desenvolvimento, como o Brasil, precisam estar cientes dos desafios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0 e devem criar políticas que promovam a adoção dessas novas tecnologias para que seja possível aumentar a competitividade dos seus parques industriais no âmbito global (Raj et al., 2019; Rocha, Mamédio & Quandt, 2019). Dalenogare et al. (2018) apontam que as tecnologias de impressão 3D, serviços de computação em nuvens e *big data* possuem um importante papel no contexto industrial dos países desenvolvidos, por isso é necessário incentivar a implementação dessas ferramentas nos países em desenvolvimento com o objetivo de atingir melhores padrões de competitividade.

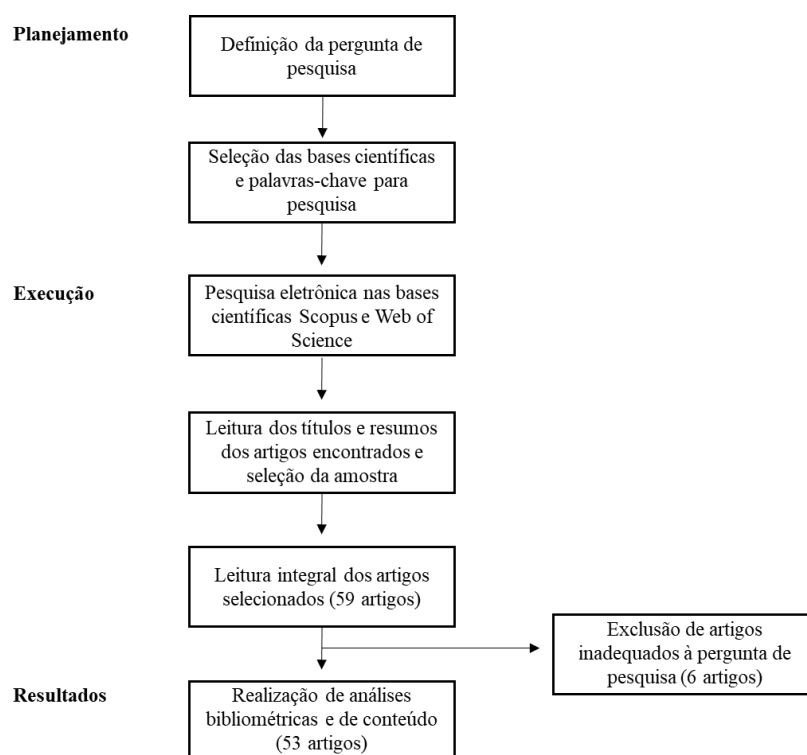
3. REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA: BENEFÍCIOS E BARREIRAS DA INDÚSTRIA 4.0

Uma revisão sistemática da literatura foi realizada com o objetivo de identificar os benefícios e barreiras associados à adoção da Indústria 4.0. Esse método auxilia os pesquisadores no entendimento mais profundo acerca de um determinado tema na medida em que condensa diversos artigos científicos que abordam o assunto pesquisado (Sampaio & Mancini, 2007). A revisão sistemática de literatura possibilita a classificação de diferentes artigos e o mapeamento de temas específicos na literatura acadêmica, como por exemplo os fatores relacionados à adoção de novas tecnologias nas indústrias (Calabrese, Ghiron & Tiburzi, 2020; Ghobakhloo, 2019; Sony & Naik, 2019).

Foram realizadas análises bibliométricas e de conteúdo na amostra de artigos selecionada para essa revisão sistemática de literatura. A combinação dessas duas análises permite detectar tendências relacionadas ao estudo de um determinado tema e identificar os tópicos e campos mais discutidos na literatura (Carvalho, Fleury & Lopes, 2013). Essas análises foram empregadas com o objetivo de identificar tendências no estudo da adoção da Indústria 4.0 em manufaturas e listar os principais benefícios e barreiras associados à implementação desse conjunto de tecnologias.

3.1 Planejamento e definição da amostra

Esse estudo utilizou a abordagem de cinco passos proposta por Denyer e Tranfield (2009), que são: formulação da questão de pesquisa, pesquisa dos artigos, seleção dos trabalhos, análise e síntese, discussão dos resultados. A questão de pesquisa formulada para conduzir a revisão sistemática é: quais são os principais benefícios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas? A Figura 3.1 sintetiza as etapas da revisão sistemática de literatura.

Figura 3.1 Etapas da revisão sistemática de literatura

As buscas dos artigos foram realizadas nas bases científicas *Scopus* e *Web of Science* por meio da combinação das palavras-chaves. A Tabela 3.1 apresenta os termos pesquisados e a quantidade de artigos publicados em cada base científica. Essas palavras foram identificadas nos títulos, resumos e/ou palavras-chaves de artigos científicos publicados até fevereiro de 2020. Foram aplicados dois filtros limitando os resultados da pesquisa em documentos classificados como artigos científicos e publicações em revistas de administração, negócios e economia.

Tabela 3.1 Palavras-chave e quantidade de artigos científicos

Palavras-chave	Scopus	Web of Science
"Industry 4.0" E "manufacturing"	301	98
"Industry 4.0" E "challenges"	144	61
"Industry 4.0" E "opportunities"	76	32
"Industry 4.0" E "problems"	75	24
"Industry 4.0" E "benefits"	68	37
"Industry 4.0" E "manufacture"	59	78
"Industry 4.0" E "barriers"	26	41
"Industry 4.0" E "obstacles"	6	5

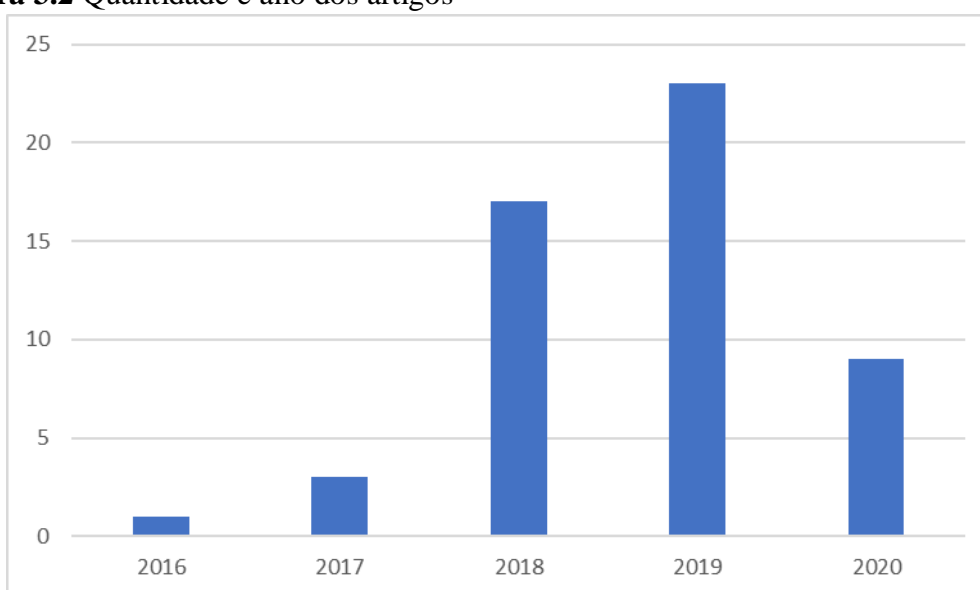
Os resumos de todos os artigos encontrados foram lidos e selecionou-se os trabalhos que melhor se relacionam à pergunta de pesquisa formulada, nessa primeira etapa foram escolhidos 59 artigos. Realizou-se a leitura de todo o conteúdo dessa base de artigos e foi constatado que 6 artigos não se adequaram à pergunta de pesquisa. No

total foram selecionados 53 artigos que serão utilizados para a execução das análises bibliométricas e de conteúdo apresentadas nesse trabalho.

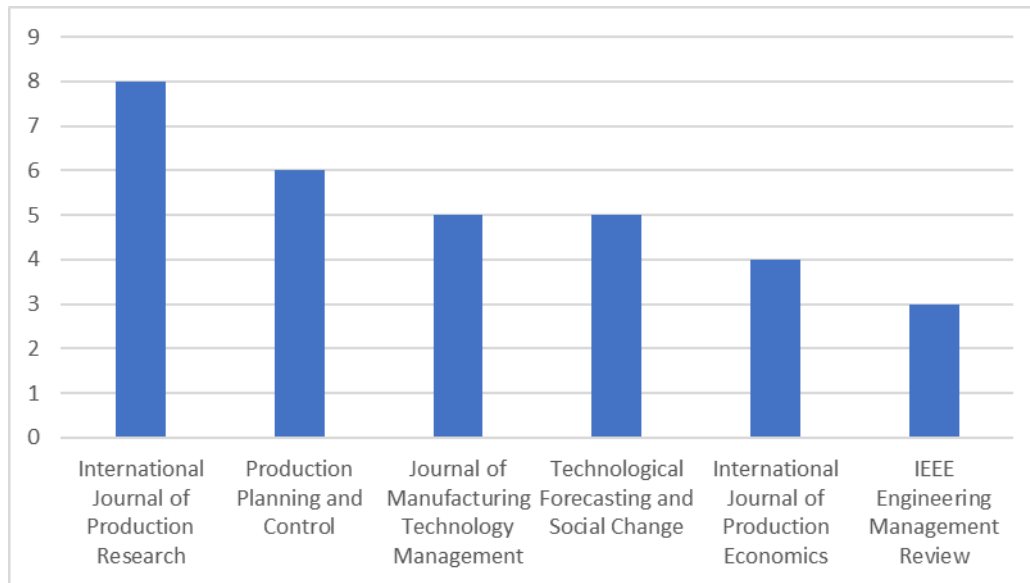
3.2 Análise bibliométrica

A Figura 3.2 mostra a distribuição dos artigos por ano, o primeiro artigo foi publicado em 2016, em 2017 foram publicados 3 artigos e nos dois anos seguintes tivemos aumento na produção de trabalhos que tratam dos benefícios e barreiras de adoção da Indústria 4.0. Em 2020 foram encontrados 9 artigos, é importante ressaltar que nesse ano a pesquisa foi feita no período de janeiro até abril.

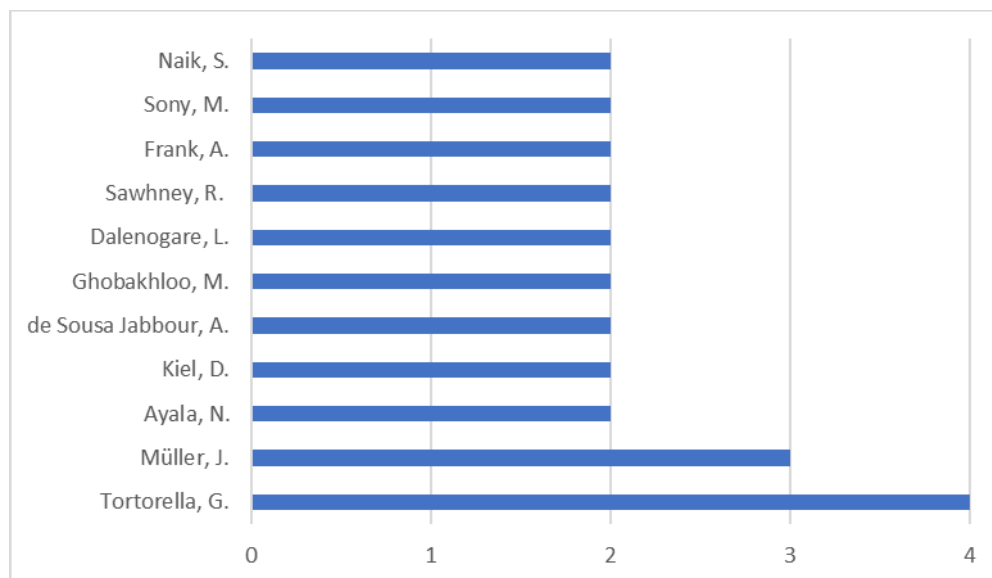
Figura 3.2 Quantidade e ano dos artigos



Os artigos selecionados para essa revisão sistemática foram publicados em 29 revistas científicas distintas e desse total 6 revistas possuem ao menos 3 publicações de artigos que abordem o tema pesquisado, conforme apresentado na Figura 3.3. O *International Journal of Production Research* possui o maior número de publicações com um total de 8 trabalhos.

Figura 3.3 Revistas com mais publicações

A Figura 3.4 apresenta os autores que possuem ao menos 2 publicações, por meio dela é possível constatar que 11 autores já publicaram mais de um trabalho sobre o tema pesquisado. O autor Tortorella é o que mais realizou publicações nesse tema com um total de 4 trabalhos, vale destacar que em todos esses artigos ele é o primeiro autor.

Figura 3.4 Autores e quantidade de artigos

Os 10 artigos mais citados estão na Tabela 3.2, com base nela é possível perceber que esses trabalhos são recentes e foram citados ao menos 70 vezes. Constatou-se que 12 artigos do total da amostra de 53 trabalhos analisados não foram citados nenhuma vez. O artigo de Xu, Xu e Li (2018) apresentou a maior quantidade de

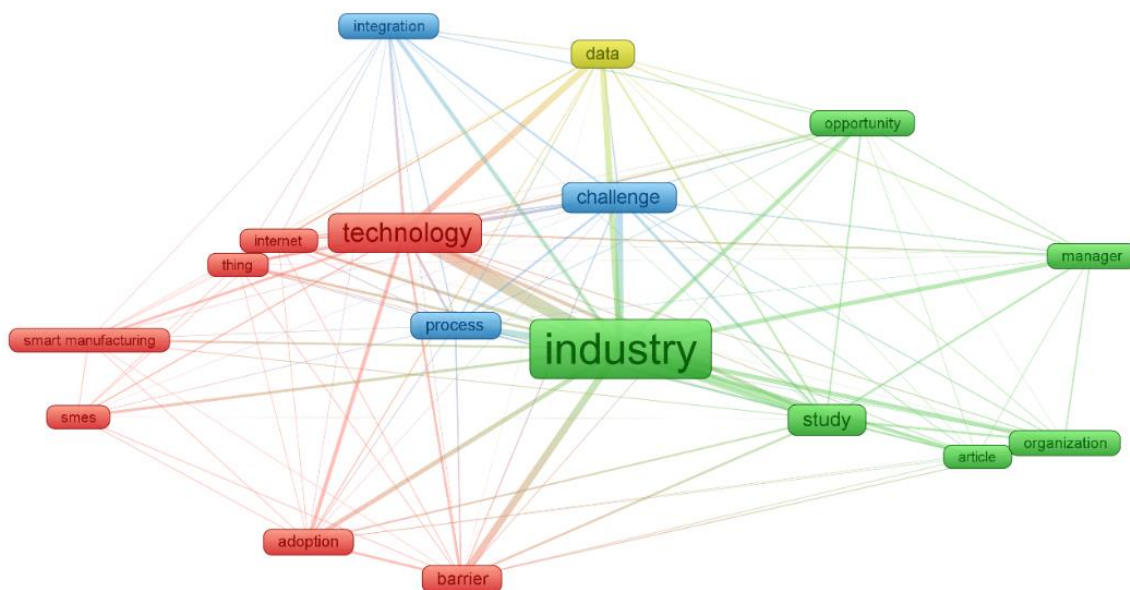
citações, sendo mencionado 287 vezes; esse trabalho faz uma revisão sistemática do estado da arte da Indústria 4.0 e sugere novas oportunidades de pesquisa.

Tabela 3.2 Os 10 artigos mais citados

Autores	Título	Ano	Citações
Xu, Xu, & Li	Industry 4.0: State of the art and future trends	2018	287
Moëuf, Pellerin, Lamouri, Tamayo-Giraldo & Barbaray	The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0	2018	121
Dalenogare, Benitez, Ayala & Frank	The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance	2018	95
Frank, Dalenogare & Ayala	Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies	2019	82
Tortorella & Fettermann	Implementation of industry 4.0 and lean production in brazilian manufacturing companies	2018	81
de Sousa Jabbour, Jabbour, Foropon & Filho	When titans meet – Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors	2018	81
Buer, Strandhagen & Chan	The link between industry 4.0 and lean manufacturing: Mapping current research and establishing a research agenda	2018	78
Ghobakhloo	The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0	2018	77
Sung	Industry 4.0: A Korea perspective	2018	77
Kiel, Müller, Arnold & Voigt	Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0	2017	75

O *software* VOSviewer 1.6.9 foi utilizado para realizar análises bibliométricas na amostra de artigos selecionados e as figuras 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 foram geradas nesse programa. A Figura 3.5 apresenta uma rede com os 17 termos mais citados nos resumos e títulos dos artigos da amostra, as palavras foram separadas em 4 agrupamentos distintos pelo *software* e aquelas que obtiveram maior número de ocorrência estão representadas em tamanhos maiores na figura. Essa rede de palavras apresenta os termos “*opportunity*”, “*barrier*”, “*challenge*” e “*adoption*” entre os mais mencionados reforçando que a base de artigos selecionada para a revisão sistemática está alinhada ao problema de pesquisa desse trabalho.

Figura 3.5. Rede das palavras mais citadas



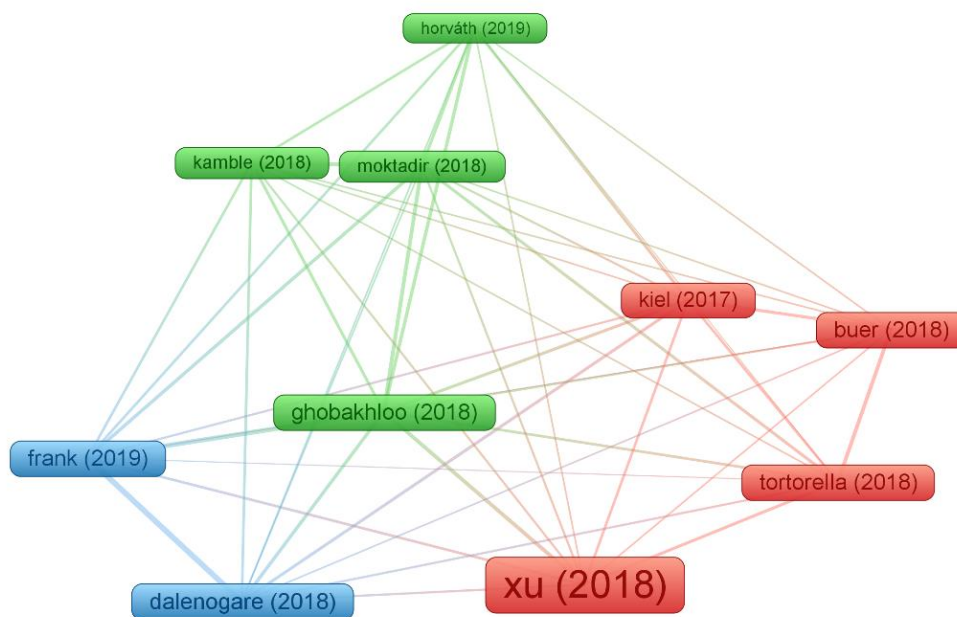
As figuras 3.6 e 3.7 apresentam análises da ligação bibliográfica entre os artigos, o *software* assume que dois trabalhos são bibliograficamente conectados caso ambos compartilhem a citação de uma terceira publicação, dessa forma quanto maior o número de referências em comum em dois artigos mais forte será a relação bibliográfica entre os trabalhos. As ligações bibliográficas fortes podem demonstrar uma afinidade entre os artigos e semelhança entre os pensamentos dos autores acerca de um determinado assunto. A Figura 6 demonstra a análise das ligações bibliográficas das revistas científicas e os seguintes *journals* apresentam forte relação entre si: *International Journal of Production Research*, *Production Planning and Control*, *Journal of Manufacturing Technology Management*, *Technological Forecasting and Social Change*, *International Journal of Production Economics* e *IEEE Engineering Management Review*. Essas revistas foram as que mais realizaram publicações sobre o tema benefícios e barreiras da adoção da Indústria 4.0 conforme exposto na Figura 3.3.

A Figura 3.7 apresenta as ligações bibliográficas entre os artigos, dessa forma dois autores que compartilham referências em comum possuem uma conexão mais forte, que pode indicar pesquisas similares ou que abordem o mesmo tema. Essa figura evidencia os 10 trabalhos que apresentam as maiores relações bibliográficas, além disso o software dividiu esses artigos em 3 grupos distintos representados por diferentes cores. O artigo de Ghobakhloo (2018) foi o que apresentou ligações bibliográficas mais fortes entre os trabalhos examinados, o autor realiza uma revisão de literatura da Indústria 4.0 com o intuito de destacar tendências de pesquisa e criar um roteiro estratégico para auxiliar as manufaturas no processo de adoção das novas tecnologias.

Figura 3.6 Rede das ligações bibliográficas entre as revistas científicas



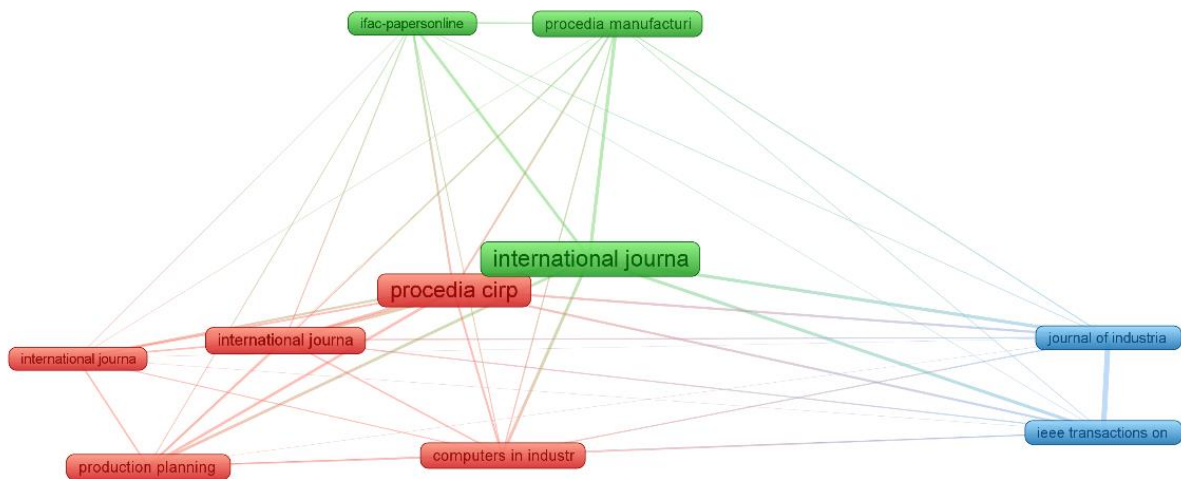
Figura 3.7 Rede das ligações bibliográficas entre os artigos



A Figura 8 demonstra a análise de co-citação entre as revistas científicas, o *software* identifica que duas publicações são co-citadas na medida em que existir um terceiro artigo que cite ambas as pesquisas, sendo assim quanto maior o número de artigos que citam as duas publicações, maior será a relação de co-citação entre elas. Por meio dessa análise é possível identificar os *journals* que mais colaboram no desenvolvimento do tema dessa pesquisa. A Figura 3.8 demonstra que a revista *International Journal of Production Research* possui a relação mais forte de co-citações

na base examinada, é importante ressaltar que esse *journal* foi o que mais apresentou artigos publicados que foram selecionados para essa revisão sistemática e que contribuem com o desenvolvimento do tema de benefícios e barreiras na adoção da Indústria 4.0 em manufaturas.

Figura 3.8 Co-citações das revistas científicas mais mencionadas



A Figura 3.9 demonstra a análise de co-citações entre os artigos mais citados e que, por meio dela é possível constatar que dos 10 artigos apresentados 4 foram selecionados para utilização nessa revisão sistemática, que são: Moeuf et al. (2018); Ghobakhloo (2018); Tortorella & Fettermann (2018); Xu, Xu & Li (2018).

Figura 3.9 Co-citações dos artigos mais mencionados



3.3 Análise de conteúdo: Benefícios e Barreiras da Indústria 4.0

Esta seção apresenta a análise de conteúdo da amostra de artigos selecionada por meio da revisão sistemática da literatura. Os 53 artigos foram lidos integralmente com o intuito de identificar os principais benefícios e barreiras associados à adoção da Indústria 4.0 em manufaturas.

3.3.1 Benefícios da Indústria 4.0

A adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas pode oferecer uma ampla variedade de benefícios para as operações, essas novas tecnologias podem melhorar a produtividade e eficiência dos processos de produção permitindo o aumento da competitividade e lucratividade nas organizações (Fatorachian & Kazemi, 2018). As tecnologias digitais podem aumentar a flexibilidade nas manufaturas, diminuir o tempo de produção, reduzir os custos dos materiais e mão-de-obra nas operações e aumentar a acuracidade de estoque (Dalenogare et al., 2018; Mohamed, 2018; Sjodin, Parida, Leksell & Petrovic, 2018). Os benefícios financeiros são extremamente relevantes para as empresas e impactam em diversas áreas das organizações, tais como a redução no custo de produção unitário, a diminuição nos gastos da pesquisa e desenvolvimento, menores investimentos na manutenção de equipamentos (Kiel et al., 2017).

A adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas oferece uma ampla variedade de benefícios para as operações, os quais serão apresentados em maiores detalhes nos

próximos itens. Kipper, Furstenau, Hoppe, Frozza e Iepesen (2019) realizaram uma revisão de literatura e análise bibliométrica de trabalhos que tratam da Indústria 4.0 no período de 2011 a 2018 e constataram que a utilização dessas novas tecnologias digitais pode proporcionar para as empresas uma maior flexibilidade, eficiência e manutenção preditiva para as suas operações.

Sjodin et al. (2018) afirmam que as empresas que pretendem implementar esse novo paradigma industrial devem se orientar com base em três princípios para aproveitarem os benefícios proporcionados por essas tecnologias, que são: investir em profissionais com habilidades digitais, utilizar processos ágeis nas operações e configurar as tecnologias de forma modular na linha de produção. Acredita-se que os benefícios possam superar os altos investimentos necessários para implantação dessas novas tecnologias, especialmente para grandes empresas que geralmente possuem mais experiência, profissionais capacitados e apoio dos *stakeholders* para investirem na adoção da Indústria 4.0 (Ghobakhloo, 2018).

3.3.1.1 Aumento na produtividade e eficiência

O aumento na produtividade e eficiência provém da utilização das tecnologias da Indústria 4.0 para realizar previsões de demandas operacionais mais assertivas e dessa forma melhorar os processos internos das manufaturas (Chopra & Priyadarshi, 2019). Esses benefícios são atingidos na medida em que essas novas tecnologias, tais como os sistemas ciber-físicos, permitem analisar continuamente dados de toda a operação com o objetivo de identificar oportunidades nos processos operacionais de maneira mais ágil (Da Silva et al., 2019; Dalmarco, Ramalho, Barros & Soares, 2019; Klingenberg, Borges & Antunes Jr, 2019). Os autores Dachs, Kinkel e Jager (2019) afirmam que o aumento na produtividade das indústrias é um dos principais benefícios atribuídos à utilização da I4.0.

O gerenciamento de processos internos de forma integrada são o resultado da adoção desse novo paradigma industrial, dessa forma as empresas podem melhorar a performance de todas as suas operações (Xu, Xu & Li, 2018). Além disso, o aumento na eficiência das manufaturas pode ser atingido com base na criação de redes de cooperações, que visam otimizar a utilização de recursos materiais e humanos, interconectadas às empresas parceiras (Saniuk & Saniuk, 2018)

Chiarini, Belvedere e Grando (2020) foi constatado que as empresas que completaram a implantação de projetos de adoção das tecnologias da I4.0 apresentaram melhoria na produtividade em diversas áreas e viabilizaram a adoção de diferentes estratégias operacionais para as organizações. Büchi, Cugno e Castagnoli (2020) analisaram os dados de 1331 manufaturas italianas e demonstraram, por meio de um modelo de regressão, que existe uma relação positiva entre a utilização de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 e o desempenho das organizações, dessa forma os autores sugerem que os empresários adotem a I4.0 com o intuito de melhorar a produtividade nas suas operações.

Islam et al. (2018) indica que a integração dessas novas tecnologias propicia a melhoria da eficiência nas indústrias por meio do aumento na capacidade de produção

das manufaturas. Dalenogare et al. (2018) afirmam que no Brasil o investimento em tecnologias digitais para as manufaturas são realizados com o objetivo principal de aumentar a produtividade das operações. Em todo caso, apenas a adoção de tecnologias não é suficiente para melhorar a performance das organizações pois “as empresas precisam desenvolver simultaneamente seus fatores socioculturais para se beneficiar totalmente das tecnologias I4.0” (Tortorella, Vergara, Garza-Reyes & Sawhney, 2020, p. 290). Sendo assim, as empresas precisam reforçar as suas capacidades de aprendizado organizacional para assimilar as mudanças técnicas que são inerentes à adoção dos conceitos da Indústria 4.0 nas operações (Tortorella et al., 2020).

Em suma, a melhoria na eficiência das manufaturas é atingida por meio da coleta e análise contínua de dados, que facilitam a identificação de oportunidades de melhoria nas operações (Sjodin et al., 2018). Dessa forma é possível ter processos produtivos mais rápidos, diversos e ágeis propiciando a redução nos custos de produção e aumento na eficiência das indústrias (Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018; Mohamed, 2018). Além disso, a Indústria 4.0 pode aumentar a eficiência das empresas no longo prazo visto que por meio desse conjunto de tecnologias é possível coletar e analisar dados do mercado com maior agilidade para suprir adequadamente às demandas futuras dos consumidores (Sony & Naik, 2019)

3.3.1.2 Aumento na qualidade

A adoção da Indústria 4.0 pode gerar aumento na qualidade dos processos produtivos e no controle de qualidade das mercadorias nas manufaturas. A utilização das novas tecnologias nas indústrias permite a criação de sistemas inteligentes e conectados que propiciam o desenvolvimento de padrões de alta qualidade nas operações de manufatura e engenharia das organizações (Fatorachian & Kazemi, 2018; Mohamed, 2018). O monitoramento constante dos dados de suas operações permite às fábricas inteligentes acompanhar a qualidade dos processos e produtos fabricados em tempo real (Sjodin et al., 2018).

As tecnologias que estão inseridas no contexto da Indústria 4.0, como a Internet das Coisas, fornecem *feedbacks* constantes acerca do funcionamento das máquinas na linha de produção e por meio dessas informações os profissionais que atuam nas fábricas conseguem melhorar a qualidade dos processos produtivos (Dalmarco et al., 2019). Essa análise instantânea do funcionamento das operações nas indústrias permite aos sistemas a identificação de maneira autônoma da necessidade de manutenção ou recalibração das máquinas, possibilitando assim o aumento da qualidade nas operações fabris (Sjodin et al., 2018). As manufaturas podem melhorar a velocidade, custo e qualidade dos processos produtivos por meio da utilização de novas tecnologias digitais em suas operações (Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018; Olsen & Tomlin, 2020).

Os produtos fabricados podem ter um maior controle de qualidade com a adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas na medida em que essas tecnologias também permitem a identificação de defeitos nas mercadorias por meio da análise de dados, possibilitando a oportunidade de correção dos defeitos antes da comercialização do item (Sjodin et al., 2018). Os problemas identificados na qualidade dos produtos podem derivar da

utilização inadequada da matéria-prima ou da execução desajustada dos processos produtivos (Dalmarco et al., 2019). É importante ressaltar que essas novas tecnologias podem coletar dados mesmo depois da comercialização do produto, viabilizando assim a detecção de futuros problemas de qualidade que podem auxiliar na correção dos processos produtivos nas manufaturas (Sjodin et al., 2018).

3.3.1.3 Flexibilidade na produção

A adoção de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 permite a criação de um ambiente manufatureiro dinâmico e flexível por meio da reconfiguração dos processos baseados na coleta e análise de dados em tempo real nas operações (Fatorachian & Kazemi, 2018). As informações processadas pelas tecnologias geram conhecimentos relevantes para as organizações, dessa forma os seus sistemas inteligentes irão se adaptar e flexibilizar os processos produtivos de acordo com os *insights* concebidos (Mourtzis et al., 2019). A flexibilidade nos processos produtivos auxilia no aumento da produtividade nas organizações e torna possível o desenvolvimento de produtos mais customizados, dessa forma esse benefício se relaciona com outras vantagens proporcionadas pela utilização dessas novas tecnologias digitais nas indústrias (Saniuk & Saniuk, 2018).

Calabrese, Ghiron e Tiburzi (2020) identificaram benefícios que se relacionam com a implementação da Indústria 4.0 por meio de uma revisão sistemática da literatura e analisaram esses fatores por meio de entrevistas realizadas com gerentes de 39 empresas de diferentes tamanhos e setores industriais, os autores constataram que a flexibilidade é considerada o benefício mais importante na adoção desse conjunto de tecnologias. Dalenogare et al. (2018) afirmam que as empresas que possuem estratégias de negócio baseadas na diminuição de custos de produção devem priorizar a adoção de tecnologias nas manufaturas que proporcionem o aumento na flexibilidade das operações, tais como a automação digital da linha de produção por meio da utilização de sensores inteligentes.

Olsen e Tomlin (2020) afirmam que as impressoras 3D e a robótica são tecnologias que podem promover o aumento da flexibilidade nas manufaturas na medida em que tornam o processo de prototipagem mais rápido e podem aumentar a velocidade dos processos produtivos na organizações. Dessa forma as novas tecnologias que integram a Indústria 4.0 podem auxiliar as manufaturas no aumento da flexibilidade dos seus processos produtivos (Kamble et al., 2018; Müller, 2019). É importante ressaltar que apenas a adoção de novas tecnologias não irá garantir a flexibilidade das linhas de produção já que para isso será necessário realizar mudanças nos processos manufatureiros das organizações, sendo assim as organizações que pretendem instalar novas fábricas devem planejar o *layout* das suas instalações para aproveitar melhor esse benefício proporcionado pela I4.0 e evitar limitações futuras na utilização das novas tecnologias (Frank, Dalenogare & Ayala, 2019).

3.3.1.4 Redução no consumo de recursos

A utilização de tecnologias inteligentes nas linhas de produção auxiliam no monitoramento, controle e otimização dos processos produtivos e podem gerar economia no consumo de recursos internos nas manufaturas, tais como matéria-prima e energia elétrica (Fatorachian & Kazemi, 2018; Moktadir et al., 2018). No contexto da sustentabilidade ambiental a adoção da Indústria 4.0 oferece oportunidades na redução no uso de insumos nas linhas de produção e no planejamento de design de produtos e processos de forma mais sustentável (Ghobakhloo, 2018). Os sistemas que integram a I4.0 conseguem, por meio da utilização de dados coletados e processados em tempo real, alocar de maneira mais eficiente os recursos necessários para a produção, tais como os materiais, energia e água (de Sousa Jabbour et al., 2018). As tecnologias que compõem esse novo paradigma industrial funcionam de forma autônoma e podem gerar uma vantagem competitiva para as empresas com base na economia no uso de recursos nos processos produtivos (Sony & Naik, 2019).

Chopra e Priyadarshi (2019) afirmam que tecnologias de análise de dados, tal como o *machine learning*, podem auxiliar as indústrias a realizar uma melhor organização no uso dos seus recursos por meio de um planejamento mais dinâmico e assertivo dos processos manufatureiros. Dalmarco et al. (2019) informam que as impressoras 3D são ferramentas que podem ser utilizadas com o intuito de reduzir o desperdício no consumo de matéria-prima nas manufaturas e podem ser utilizadas com a robótica para aumentar a produtividade dos processos das organizações. Fatorachian & Kazemi (2018) apontam que a utilização de forma mais produtiva dos recursos internos é um benefício advindo da adoção da Indústria 4.0, por meio dessas novas tecnologias é possível otimizar os sistemas e processos de produção e automatizar ferramentas de controle de impacto ambiental. A melhoria na eficiência operacional por meio da adoção da I4.0 permite aumentar a sustentabilidade e diminuir o impacto ambiental causado pelas indústrias em comparação ao modelo tradicional adotado atualmente pelas manufaturas (Sjodin et al., 2018; Zheng et al., 2019). Dessa forma, o sucesso na utilização da I4.0 está vinculado a geração de “benefícios econômicos, sociais e ambientais para a organização” (Sony & Naik, 2019, p. 12).

A aplicação de novas tecnologias nas indústrias pode auxiliar no desenvolvimento de produtos, processos e cadeias de suprimentos mais sustentáveis que minimizam o impacto ambiental causado pelas manufaturas (de Sousa Jabbour et al., 2018). A economia de recursos que advém da adoção da Indústria 4.0 reduz o desperdício de materiais e melhora a eficiência no consumo de energia e água nas organizações (Kiel et al., 2017; Sony & Naik, 2019).

3.3.1.5 Monitoramento e reparo de máquinas

A Indústria 4.0 permite às manufaturas a coleta e processamento de dados em tempo real com o objetivo de monitorar todos os seus processos operacionais, dessa forma os equipamentos conseguem de forma autônoma e com o auxílio de métodos preditivos reportar a situação de todas as máquinas e identificar possíveis oportunidades de reparo e manutenção (Kipper et al., 2019; Sung, 2018).

A utilização do *big data* integrado a ferramentas de análise de dados auxilia na implantação de um sistema de manutenção de equipamentos proativo (Ing et al., 2019). Mourtzis et al. (2019) realizaram um estudo de caso em uma empresa de robótica e constataram que a aplicação de tecnologias que possibilitam a digitalização das manufaturas, tais como ferramentas de realidade aumentada e sistemas de comunicação inteligentes, auxiliaram na melhoria do processo de manutenção de equipamentos para os seus clientes e na integração de informações entre diversos canais da organização.

Os processos produtivos de empresas que utilizam as tecnologias da I4.0 possuem a capacidade de serem autônomos e se reorganizarem de acordo com demandas específicas, sendo assim é possível agendar atividades de manutenção e reparo das máquinas na medida em que os sistemas identificarem que elas estão desligadas ou sendo utilizadas com capacidade reduzida para minimizar o impacto operacional (Chopra & Priyadarshi, 2019). Os profissionais que atuam nas fábricas inteligentes terão informações mais assertivas e em tempo real acerca do status de toda a operação, podendo utilizar esses dados para executar atividades de monitoramento e reparo sem impactar consideravelmente as atividades fabris (Sung, 2018).

3.3.1.6 Produção enxuta

A produção enxuta é um conceito aplicado por algumas indústrias que possui um foco constante no aumento da produtividade e qualidade nas operações por meio da redução de atividades que possam gerar desperdícios nas manufaturas (Tortorella, Giglio & Van Dun, 2019). A produção enxuta e as tecnologias da Indústria 4.0 compartilham o mesmo foco de aumento na produtividade e flexibilidade dos processos de manufatura, embora atinjam esses objetivos de forma diferentes (Buer, Strandhagen & Chan, 2018). A I4.0 aumenta o fluxo de troca de informações dentro das organizações que podem ser utilizadas para otimizar operações e a produção enxuta tem como intuito eliminar desperdícios para acelerar os processos produtivos, dessa forma a utilização dessas duas técnicas de forma sinérgica pode auxiliar na melhoria dos processos nas manufaturas (Moeuf et al., 2017)

A aplicação dos conceitos da produção enxuta elimina desperdícios nas indústrias por meio da identificação de tarefas desnecessárias e criação de processos padronizados nas linhas de produção, dessa forma essa técnica aumenta o controle e monitoramento das operações nas manufaturas (Buer, Strandhagen & Chan, 2018). A Indústria 4.0 também tem como característica um maior controle operacional com base no monitoramento de processos, dessa forma a adoção dessas novas tecnologias em conjunto com a produção enxuta pode aumentar significativamente o desempenho das organizações (Tortorella, Giglio & Van Dun, 2019). Tortorella e Fettermann (2018) coletaram dados de 110 manufaturas brasileiras com o intuito de analisar a relação entre a implementação da I4.0 e as práticas de produção enxuta, os resultados do trabalho indicam que as empresas que mais adotaram essas tecnologias são as que mais utilizam técnicas de produção enxuta nas suas operações. Os benefícios provenientes da adoção da produção enxuta nas organizações podem ser melhorados com a implementação concomitante de tecnologias digitais (Tortorella & Fettermann, 2018).

A utilização de técnicas de produção enxuta nas empresas podem auxiliar na adoção com sucesso da Indústria 4.0 (Buer, Strandhagen & Chan, 2018). Tortorella, Rossini, Costa, Portioli Staudacher e Sawhney (2019) realizaram uma pesquisa com 249 manufaturas localizadas no Brasil e na Itália que estavam iniciando a adoção da I4.0 assim como práticas de produção enxuta e constataram que fatores sociais e econômicos podem afetar a utilização dessas técnicas nas operações, a pesquisa foi feita nesses dois países com o objetivo de comparar a implementação em países em desenvolvimento e desenvolvidos e os autores afirmam que é necessário uma maior compreensão a respeito dos fatores que influenciam a adoção nos dois contextos pesquisados.

Zangiacomini et al. (2020) afirmam que a aplicação de técnicas de produção enxuta deveriam ser exigidas antes do processo de implementação das tecnologias da Indústria 4.0 para dessa forma atingir resultados mais eficientes nas organizações. Tortorella, Giglio e Van Dun (2019) apontam que apenas a implementação da I4.0 não é capaz de garantir os benefícios esperados, dessa forma as empresas devem adotar práticas de produção enxuta para criar rotinas operacionais que ajudarão a potencializar os resultados da adoção desse conjunto de novas tecnologias nas manufaturas. Em suma, a produção enxuta pode minimizar os esforços necessários para implantação das tecnologias digitais nas manufaturas e por isso deveria ser utilizada como base para a adoção da I4.0 nas organizações (Buer, Strandhagen & Chan, 2018).

3.3.1.7 Produtos inteligentes

A Indústria 4.0 permite a geração de fábricas inteligentes que conseguirão desenvolver produtos inteligentes, essas mercadorias podem transmitir dados para as organizações com o objetivo de auxiliar no desenvolvimento de novos produtos e acompanhar o desempenho do item (Fatorachian & Kazemi, 2018; Frank, Dalenogare & Ayala, 2019). As fábricas inteligentes possuem grande importância para a produção de mercadorias inteligentes na medida em que criam um ambiente de sistemas integrados que permite o controle e troca de informações ao longo de toda a cadeia produtiva (Ghobakhloo, 2019)

Esses produtos inteligentes têm a capacidade de transmitir dados relevantes para as empresas nas linhas de produção, como por exemplo quais o seu desempenho atual e que etapas faltam para conclusão da sua produção, e por meio dessas informações é possível melhorar a eficiência dos processos manufatureiros (Ghobakhloo, 2018). Os produtos inteligentes podem criar diferenciação para os consumidores e atender diversos segmentos de maneira customizada (Sony & Naik, 2019).

3.3.1.8 Produtos customizados

A flexibilidade nas linhas de produção e o aumento na qualidade dos processos nas manufaturas são benefícios proporcionados pela Indústria 4.0 que permitem a montagem de produtos customizados com custo menores ou iguais a mercadorias de fabricação em massa (Buer, Strandhagen & Chan, 2018; Dachs, Kinkel & Jager, 2019).

Saniuk e Saniuk (2018) afirmam que a Indústria 4.0 combina as vantagens da produção customizada com os benefícios da fabricação em massa para as manufaturas.

A comunicação constante entre os sistemas da I4.0 e máquinas inteligentes nas indústrias permite a reconfiguração das linhas de produção para a produção de itens customizados de forma mais flexível (Dalenogare et al., 2018). Esse aumento de flexibilidade nas linhas de produção propicia a criação de processos produtivos individualizados para a produção de itens personalizados (Dalmarco et al., 2019; Fatorachian & Kazemi, 2018). Olsen e Tomlin (2020) afirmam que a utilização de impressoras 3D nas manufaturas pode acarretar profundas mudanças nas estratégias das operações visto que por meio delas é possível produzir uma grande variedade de produtos altamente personalizados ao invés de uma quantidade limitada de produtos fabricados de forma massificada.

As fábricas inteligentes têm como uma das principais vantagens a possibilidade de monitorar os processos de forma descentralizada e autônoma que aumentam a flexibilidade dos processos produtivos e auxiliam na produção de itens com maior nível de customização (Marques et al., 2017). A I4.0 objetiva o desenvolvimento de “uma produção autônoma e dinâmica, que integra as Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para permitir uma produção em massa de produtos altamente personalizados.” (Tortorella & Fettermann, 2018, p. 2976). Sendo assim a adoção desse conjunto de tecnologias permite o desenvolvimento de produtos e serviços customizados e inovadores para o mercado consumidor (Veile et al., 2019).

3.3.1.9 Tomada de decisão

O apoio à tomada de decisão é outro importante benefício proporcionado pela adoção de tecnologias digitais nas organizações (Horváth & Szabó, 2019). Sensores e equipamentos inteligentes podem coletar uma ampla variedade e volume de dados em tempo real nas fábricas (Rocha, Mamédio & Quandt, 2019). Os dados coletados pelos equipamentos são analisados baseados em modelos preditivos que reconhecem padrões nas informações e geram conhecimento para auxiliar as operações no processo de tomada de decisões (Gölzer & Fritzsche, 2017; Singh & Bhanot, 2019).

Essa alta conectividade proporcionada pela I4.0 nas manufaturas integra as operações fabris às ferramentas que auxiliam no processo de tomada de decisões (Fatorachian & Kazemi, 2018). Os dados são coletados em tempo real de diversas fontes e fundamentam melhor o processo de tomada de decisão, tornando-o mais assertivo (Dalenogare et al., 2018). Dessa forma a empresa consegue gerenciar de forma mais efetiva o conhecimento gerado pelas tecnologias da I4.0 e acessar essas informações para tomar decisões com o objetivo de promover melhorias operacionais e aumentar a sua competitividade no mercado (Dalmarco et al., 2019).

Em suma, as tecnologias da Indústria 4.0 permitem que a “a tomada de decisão se torne mais fácil e rápida extraindo dados (*big data*), exportando-os para a computação de nuvens e processando (*advanced analytics*) para gerar informações relevantes” (Rocha, Mamédio & Quandt, 2019, p. 1475).

3.3.1.10 Novos modelos de negócios

A Indústria 4.0 aumenta a troca de informações com o mercado e a cadeia de suprimentos e isso que pode gerar novas oportunidades de negócio para start-ups e empresas que pretendem explorar as novas tecnologias digitais (Dalmarco et al., 2019). A utilização de plataformas digitais nas organizações propiciará o surgimento de novas oportunidades de negócios para o mercado nos processos de coleta e processamento de dados (Müller, 2019). Além disso, na medida em que a I4.0 for adotada pelas fábricas as manufaturas tradicionais deverão mudar e permitirão o surgimento de novos modelos (Sung, 2018).

As novas tecnologias digitais, como a Internet das Coisas, são capazes de gerar novas indústrias e oportunidades de negócio, proporcionando a oportunidade de novas empresas entrarem rapidamente no mercado e oferecem desafios para indústrias estabelecidas (Kiel et al., 2017). Dalmarco et al. (2019) aponta que os sistemas digitais e a troca de informações constante com diversos *stakeholders* poderá criar novas demandas para diferentes modelos de negócio.

3.3.2 Barreiras da Indústria 4.0

Existem diversos benefícios relacionados à Indústria 4.0 para as manufaturas, em contrapartida durante a fase de implementação a organização deverá superar alguns desafios e incertezas que podem dificultar a adoção dessas tecnologias (Horváth & Szabó, 2019). Essas barreiras estão relacionadas aos altos investimentos para implementação das novas tecnologias, a necessidade de profissionais mais capacitados, a falta da padronização de *softwares* e *hardwares* para a coleta e transmissão de dados e outros desafios relacionados aos processos de adoção, gerenciamento e integração dessas novas tecnologias às operações (Kipper et al., 2019).

Kamble, Gunasekaran e Sharma (2018) identificaram doze barreiras relacionadas à adoção da Indústria 4.0 por meio de uma revisão sistemática da literatura: incerteza jurídica e contratual, perda de emprego, mudanças organizacionais, novas habilidades para os empregados, falta de sistemas de gerenciamento de conhecimento, falta de padronização, falta de infraestrutura da Internet e instalações de TI, segurança e privacidade, problemas de integração e compatibilidade, regulamentação, alto investimento de implementação, falta de compreensão acerca dos benefícios da Internet das Coisas. A capacidade de investimento das organizações, a disrupção de modelos de negócios existentes, o nível de maturidade e conhecimento do departamento de TI são outros exemplos de barreiras de adoção das novas tecnologias (Ghobakhloo, 2018; Müller, 2019). Singh e Bhanot analisaram diversas barreiras e constataram que as que se relacionam com a segurança e privacidade dos dados são mais relevantes para a adoção da I4.0. Islam et al. (2018) afirmam que a falta de infraestrutura, apoio governamental, mão de obra despreparada e altos custos para instalação das fábricas são as principais barreiras para implantação dessas tecnologias em muitos países.

As empresas devem estar cientes das barreiras de adoção da I4.0 antes de digitalizarem as suas operações, dessa forma é essencial identificar esses fatores que podem restringir a utilização das novas tecnologias (Da Silva et al., 2019; Kamble,

Gunasekaran & Sharma, 2018; Muktadir et al, 2018). Esses desafios podem se relacionar com aspectos técnicos (segurança e privacidade dos dados, padronização dos sistemas), sociais (políticas de governo, perda de empregos) ou científicos (desenvolvimento de novas habilidades para os empregados) e as empresas devem entender melhor as suas relações para adotarem a I4.0 de forma bem-sucedida (Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018; Xu, Xu & Li, 2018). Essas barreiras parecem se relacionar de forma diferente de acordo com o nível de desenvolvimento dos países, Raj et al. (2019) realizaram um levantamento de 15 barreiras para adoção da I4.0 e constataram que em países em desenvolvimento o maior desafio para implantação desse conjunto de tecnologias é a falta de regulamentações e padrões, em contrapartida nos países desenvolvidos a principal barreira foi o baixo nível de maturidade das tecnologias que integram essa nova revolução industrial.

3.3.2.1 Governo e regulamentações

O governo exerce um papel essencial no incentivo da adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas por meio da criação de regulamentações políticas e técnicas, tais como o incentivo em educação e pesquisa e a expansão da infraestrutura para instalação de redes digital, e a falta desse suporte gera um relevante desafio para as empresas (Da Silva et al., 2019; Islam et al., 2018). Os altos impostos e burocracia para importação das tecnologias que formam a I4.0 também são obstáculos no processo de adoção desse novo paradigma industrial que estão relacionados com o governo e regulamentações, dessa forma é necessário facilitar a compra desses equipamentos para as empresas (Rocha, Mamédio & Quandt, 2019). Os governos podem utilizar incentivos fiscais para auxiliar as manufaturas a adquirirem as tecnologias necessárias para implantação da I4.0 (Muktadir et al., 2018). Além disso, as políticas devem ser desenvolvidas com o intuito de incentivar a pesquisa e desenvolvimento contínuo dessas novas tecnologias, especialmente para as ferramentas que possuem muita correlação tais como os sistemas ciberfísicos e a Internet das Coisas ou o *big data* e as ferramentas de análise de dados (Lu & Weng, 2018).

Raj et al. (2019) realizaram um levantamento para identificar as barreiras mais relevantes para adoção da I4.0 e constataram que, no contexto dos países em desenvolvimento, a falta de regulamentações e certificações é o desafio mais relevante para utilização dessas novas tecnologias. Ing et al. (2018) coletaram dados por meio de entrevista semiestruturadas com pesquisadores de universidades em Bangladesh e constataram que o governo deve apoiar as empresas no processo de adoção da I4.0 para acelerar o progresso econômico no país, é importante ressaltar que Bangladesh não possuía infraestrutura e suporte governamental adequado para implementar essa nova revolução industrial no momento que foi realizada a pesquisa. Rocha, Mamédio e Quandt (2019) realizaram um estudo de caso múltiplo com quatro *startups* e constataram que os esforços do governo brasileiro são insuficientes para incentivar a criação de empresas que contribuam no desenvolvimento de tecnologias digitais para a Indústria 4.0.

Em suma, o governo e as regulamentações possuem papel essencial para incentivar a adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas, esse suporte pode vir por meio de

investimentos em treinamento e aprimoramento dos seus profissionais e criação de programas e linhas de crédito que auxiliem no processo de implantação da I4.0 no seu parque industrial (Ing et al., 2019).

3.3.2.2 Resistência organizacional

A resistência organizacional dos empregados é outra barreira importante que pode surgir devido à possibilidade de perda de emprego ou necessidade de desenvolvimento de novas habilidades (Horváth & Szabó, 2019; Raj et al., 2019). Além disso, na medida em que alguns processos manufatureiros são executados da mesma forma por muito tempo a cultura das organizações pode se tornar rígida e dificultar mudanças operacionais que são necessárias para a adoção da Indústria 4.0 (Sjodin et al., 2018). Rauch, Dallasega e Unterhofer (2019) identificaram que barreiras culturais podem tornar a organização mais resistente em adotar mudanças dos níveis gerenciais até os operacionais.

A adoção da I4.0 sofrerá o impacto da resistência organizacional por meio de profissionais que apresentam baixa disposição em mudar a maneira que trabalham e são relutantes na utilização desse novo conjunto de tecnologias digitais nas manufaturas (Raj et al., 2019). A criação de estruturas hierárquicas colaborativas e funcionais é necessária para estabelecer um ambiente flexível e reativo, dessa forma é preciso realizar uma transformação nas organizações (Kiel et al., 2017). As empresas precisam manter a transparência e a comunicação entre os membros envolvidos no processo de implementação dessas novas tecnologias, além disso a alta gerência deve apoiar as mudanças organizacionais para que a adoção da I4.0 seja bem-sucedida (Müller, 2019; Sony & Naik, 2019).

Horváth e Szabó (2019) acreditam que a resistência organizacional é o desafio mais importante para a implantação da Indústria 4.0 nas manufaturas. Sendo assim é necessário que as empresas transformem as suas estruturas organizacionais tornando-as mais flexíveis e descentralizadas para suportar a adoção desse conjunto de tecnologias de forma eficiente nas operações (Veile et al., 2019). Os níveis gerenciais mais altos das organizações devem estar completamente comprometidos com essa transição tecnológica desde o início do planejamento para garantir a utilização dessas novas tecnologias de forma eficiente nas empresas (Ghobakhloo, 2019; Sony & Naik, 2019).

3.3.2.3 Novas habilidades dos empregados

As indústrias que adotarem as tecnologias relacionadas à I4.0 precisarão de colaboradores com novas habilidades com alto nível de especificidade (Tortorella & Fettermann, 2018). Stentoft & Rajkumar (2019) afirmam que no momento existe uma falta de profissionais qualificados e preparados para a implementação da Indústria 4.0 nas manufaturas. A rapidez das inovações tecnológicas torna algumas habilidades atuais dos profissionais das manufaturas obsoletas e demanda abordagens inovadoras no treinamento e desenvolvimento de novas habilidades nas equipes (Whysall, Owtram & Brittain, 2019). O conhecimento de sistemas de comunicação e informação, automação

e análise de dados pelos colaboradores são fundamentais para as empresas se adaptarem à I4.0 (Veile et al., 2019).

Chopra e Priyadarshi (2019) utilizam o exemplo da interpretação dos dados que são processados por meio do *machine learning* para ilustrar esse contexto, segundo os autores os resultados são difíceis de serem interpretados pelos profissionais haja vista que essa é uma tecnologia nova e com escassez de mão de obra qualificada. A adoção da Internet das Coisas no contexto industrial também é outro exemplo que demonstra a necessidade de desenvolvimento de habilidades técnicas específicas nos profissionais, essa tecnologia exige que os colaboradores sejam capazes de planejar e monitorar processos operacionais ao longo de toda a linha de produção (Kiel et al., 2017; Singh & Bhanot, 2019)

Dalmarco et al. (2019) aponta a falta de mão de obra qualificada como um dos maiores desafios para a implantação dos conceitos da Indústria 4.0, segundo os autores as empresas têm dificuldade para contratação de profissionais preparados para utilização desse novo conjunto de tecnologias e isso afeta a produtividade das organizações. Essa busca por especialistas técnicos pelas empresas pode polarizar a divisão do trabalho nas empresas, as tarefas padronizadas serão executadas por colaboradores que estarão limitados à suas funções e um seleto grupo de profissionais altamente capacitados se destacarão e conseguirão evoluir nas organizações (Hirsch-Kreinsen, 2016). Rauch, Dallasega e Unterhofer (2019) destacam que nas pequenas e médias empresas essa é uma relevante barreira na medida em que essas organizações possuem escassez de profissionais altamente qualificados em comparação com as grandes empresas. Dessa forma as empresas devem ser criteriosas no processo de contratação, acompanhamento de performance, criação de benefícios e treinamento dos colaboradores para garantir uma adoção satisfatória das novas tecnologias nas indústrias (Sony & Naik, 2019).

Os profissionais que lidarão com as tecnologias da Indústria 4.0 devem estar preparados para trabalhar em ambientes mais conectados, interdisciplinares e colaborativos em comparação com as organizações atuais (Whysall, Owtram & Brittain, 2019). Esses colaboradores devem ser capazes de trabalhar em equipe em um ambiente de constante experimentação e busca por inovação (Raj et al., 2019). Além disso, esses profissionais devem ter conhecimento e habilidades específicas para manusearem de forma eficiente as novas tecnologias digitais que serão empregadas nas indústrias (Veile et al., 2019).

A adoção da Indústria 4.0 demandará um novo conjunto de habilidades e competências para os profissionais que trabalham nas manufaturas e ainda que estejamos nas fases iniciais dessa nova revolução industrial é importante que esses colaboradores busquem se capacitar para se adaptarem a esse novo paradigma tecnológico (Ing et al., 2019). As áreas industriais que apresentam tarefas repetitivas e padronizadas serão fortemente impactadas pelo advento dessas novas tecnologias visto que essas máquinas inteligentes poderão substituir a mão de obra existente nesses setores, sendo assim é necessário o desenvolvimento de novas habilidades para os profissionais se adaptarem a esse contexto (Sung, 2018). O departamento de recursos humanos das organizações possui papel fundamental para desenvolver estratégias e

ações que auxiliem na preparação dos profissionais para se adaptarem a esse novo contexto de manufaturas digitalizadas (Kamble et al., 2018; Ghobakhloo, 2019).

3.3.2.4 Perda de empregos

A demanda por novas habilidades e automação de processos nas manufaturas decorrentes da adoção das novas tecnologias pode causar a perda de empregos e gerar problemas sociais (Kamble et al., 2018; Kiel et al., 2017). Os trabalhadores que executam processos repetitivos que podem ser automatizados deverão desenvolver novas habilidades para continuarem empregados (Ing et al., 2019). Horváth e Szabó (2019) afirmam que é difícil prever como a digitalização irá impactar no aumento do desemprego, em todo caso alguns países estão expostos a riscos maiores na medida em que processos automatizados poderão substituir a mão de obra atual; segundo esse estudo em algumas regiões cerca de 25% dos empregos podem estar em risco devido a aplicação dessas novas tecnologias nas operações. Novas oportunidades surgirão com a adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas, porém elas demandarão um novo conjunto de habilidades técnicas aos profissionais que irão manusear essas tecnologias (Ing et al., 2019).

O aumento do uso de tecnologias que se relacionam com a I4.0 nas manufaturas pode aumentar a desigualdade entre os trabalhadores, especialmente pelo fato de setores que executam tarefas repetitivas estarem ameaçados com a digitalização e automatização dos processos produtivos (Ing et al., 2019; Raj et al., 2019). Além disso, os sindicatos podem aumentar esse desafio resistindo à adoção da Indústria 4.0 visto que esse fenômeno irá mudar significativamente o modelo tradicional de produção nas manufaturas (Sony & Naik, 2019). Hirsch-Kreinsen (2016) explora as duas perspectivas dessa barreira, por um lado o autor expõe trabalhos que interpretam de forma positiva o advento dessas novas tecnologias nas manufaturas argumentando que os humanos terão papel fundamental no processo de adoção da Indústria 4.0 e que novas oportunidades surgirão devido a utilização de novos sistemas e equipamentos, por outro lado destaca-se também a substituição da mão de obra que executa tarefas repetitivas pela automatização e digitalização de processos.

No geral os autores concordam que a utilização de novas tecnologias nas manufaturas tem o potencial de substituir profissionais em setores que executam atividades repetitivas e padronizadas, embora destaquem que novas oportunidades surgirão para a mão de obra mais qualificada. Em todo caso esse novo paradigma industrial irá impor dois caminhos que os profissionais deverão trilhar para se adaptar à Indústria 4.0 que são o aprimoramento das habilidades atuais e a necessidade de aprender novas qualificações técnicas para lidar com esse conjunto de tecnologias digitais (Hirsch-Kreinsen, 2016).

3.3.2.5 Segurança dos dados e privacidade

A segurança dos dados é um dos principais desafios para instalação da Indústria 4.0, os dados armazenados em nuvens são mais vulneráveis já que existe a possibilidade

de acesso remoto aos equipamentos, portanto é importante adotar procedimentos e estratégias que aumentem a segurança do sistema (Chopra & Priyadarshi, 2019; Fatorachian & Kazemi, 2018; Sony & Naik, 2019). As empresas devem garantir que a transmissão dos dados pelas tecnologias da I4.0 seja segura e que todos os equipamentos interconectados nas manufaturas estejam protegidos de invasões externas (Ing et al., 2019; Müller, 2019). Os ataques cibernéticos em manufaturas que adotaram as tecnologias da Indústria 4.0 podem causar “lesões, morte e danos à infraestrutura física, equipamentos e ambiente fabril” haja vista que os profissionais que lidam com essas tecnologias estão constantemente em contato com os dispositivos que podem ser alvo desses ataques (Tuptuk & Hailes, 2018, p.104). Atualmente existem ferramentas que auxiliam na proteção de informações organizacionais, porém essas tecnologias podem não ser totalmente efetivas na segurança dos sistemas aplicados nas linhas de produção visto que eles terão padrões e especificidades diferentes dos demais (Xu, Xu & Li, 2018).

A conectividade é uma característica intrínseca à I4.0 e essa integração on-line de diversos equipamentos, sistemas e máquinas pode gerar oportunidades de invasão dos sistemas e afetar a privacidade dos seus usuários (Sung, 2018; Zheng et al., 2019). A garantia de proteção e privacidade dos dados contra crimes cibernéticos, acessos sem autorização e espionagem industrial é fundamental para implementação da Indústria 4.0 nas organizações (Kiel et al., 2017). O desafio da privacidade está relacionado aos dados coletados dos consumidores assim como às informações extraídas das manufaturas, no contexto das empresas todo o conhecimento produzido deve ser utilizado apenas pelas organizações envolvidas (Sung, 2018). Culot et al. (2019) destacam que os produtos inteligentes também devem levar em consideração o desafio da manutenção da privacidade dos consumidores na medida em que podem transmitir dados para as organizações.

A troca de dados constante entre os dispositivos torna-os vulneráveis a ataques digitais e por isso exige a encriptação e proteção das informações coletadas e transmitidas (Singh & Bhanot, 2019). A utilização de sistemas que aumentam a segurança cibernética deve ser considerada nas políticas das empresas e ao longo de todo o processo de adoção da Indústria 4.0 para reduzir a ameaça, é importante destacar que é primordial adquirir sistemas que aumentem a proteção dessas tecnologias desde o início do processo de instalação nas operações (Dalmarco et al., 2019; Ghobakhloo, 2019; Tuptuk & Hailes, 2018; Veile et al., 2019).

Müller (2019) constata que 45 gerentes industriais de 102 empresas localizadas na Alemanha e Áustria apontaram a perda de informação confidencial por meio de invasões cibernéticas como uma importante barreira de adoção da I4.0, muitas empresas apontaram que confiam mais na comunicação *offline* para evitar o vazamento de informações e a espionagem industrial. Singh e Bhanot (2019) informam que a segurança cibernética é um dos principais fatores que restringem a adoção de novas tecnologias nas organizações, dessa forma as empresas devem desenvolver plataformas com os mesmos padrões de comunicação para proporcionar melhorias na segurança das informações coletadas e transmitidas entre diversos dispositivos. A segurança de dados também é mencionada como um aspecto relevante para os altos níveis hierárquicos nas organizações, essa barreira pode diminuir a disposição desses gerentes no processo de

implementação da Indústria 4.0 nas operações (Rauch, Dallasega & Unterhofer, 2019). A Internet das Coisas é mencionada por alguns autores para ilustrar esse desafio, essa tecnologia proporciona a integração entre diversos dispositivos que pode aumentar os riscos de ataques cibernéticos com o objetivo de acessar informações confidenciais (Ing et al., 2019; Kiel et al., 2017; Saniuk & Saniuk, 2018).

É inconcebível garantir que toda a empresa esteja segura a riscos de ataques e invasões cibernéticas no contexto da Indústria 4.0, por isso a segurança dos dados é um processo contínuo que deve ser planejado desde o início da instalação das novas tecnologias pelas organizações (Culot, Fattori, Podrecca & Sartor, 2019; Tuptuk & Hailes, 2018). Culot et al. (2019) constatam que as empresas devem compreender a segurança digital como uma estratégia que afeta diversas áreas da empresa e por isso deve ter o envolvimento de todos os seus líderes. Nessa nova revolução industrial os ataques cibernéticos podem trazer consequências mais graves às organizações, tais como danos físicos nas manufaturas e acesso a sistemas de informações internos, e por isso as empresas devem estar cientes dos desafios relacionados a segurança dos dados no processo de adoção da I4.0 (Kamble et al., 2018; Tuptuk & Hailes, 2018).

3.3.2.6 Falta de infraestrutura

A Indústria 4.0 tem como premissa a coleta constante de dados que serão processados por meio de sistemas e tecnologias interconectadas, dessa forma a falta de infraestrutura de conexão adequada é uma barreira para a adoção dessas novas tecnologias (Islam et al., 2018; Singh & Bhanot, 2019). Dessa forma a infraestrutura digital é um fator essencial para a adoção da I4.0 e mesmo países desenvolvidos, como a Alemanha, enfrentam esse desafio no processo de utilização desse conjunto de tecnologias (Raj et al., 2019).

Moktadir et al. (2018) conduziram um levantamento de barreiras para implementação da I4.0 por meio de revisão de literatura e informações coletadas de gerentes industriais de Bangladesh e os resultados demonstraram que a falta de infraestrutura tecnológica é o desafio que mais impacta a adoção desse conjunto de tecnologias nas indústrias. Saniuk & Saniuk (2018) realizaram uma pesquisa com 150 empresas que atuam no setor metalúrgico e demonstraram que o problema citado de forma mais frequente para a adoção da I4.0 é a falta de infraestrutura técnica.

As pequenas e médias empresas podem sofrer de forma mais intensa com essa barreira na medida em que não possuem os mesmos recursos que as grandes para garantir a instalação de uma infraestrutura adequada para utilização das novas tecnologias (Raj et al., 2019). Sendo assim, o desenvolvimento de uma infraestrutura tecnológica adequada é imprescindível para auxiliar no processo de adoção da I4.0 nas manufaturas (Moktadir et al., 2018).

3.3.2.7 Altos Investimentos

Os altos investimentos necessários para instalação dos sistemas de tecnologia que se relacionam com a Indústria 4.0 e a falta de recursos financeiros são uma barreira

relevante para adoção desse novo paradigma nas empresas (Da Silva et al., 2019; Horváth & Szabó, 2019; Islam et al., 2018; Kamble et al., 2018; Kiel et al., 2017). Zheng et al (2019) elencam quatro categorias de desafios na implantação da I4.0 e afirmam que os altos investimentos são a mais importante barreira para as empresas.

Raj et al. (2019) constataram que a escassez de recursos aliada a falta de estratégia digital das organizações são os desafios mais relevantes que os países enfrentarão no processo de adoção da I4.0, os autores sugerem que os gerentes devem criar planos estratégicos bem definidos para alocarem os investimentos de forma mais efetiva para implantação das novas tecnologias. O planejamento estratégico para aquisição desse conjunto de tecnologias deve iniciar desde os níveis mais altos da organização para que a transformação digital seja efetiva dado o alto volume de investimento necessário (Sung, 2018; Zheng et al., 2019). Os custos para adoção das novas tecnologias nas operações são altos, dessa forma as empresas devem remodelar as estratégias vigentes para dedicar uma parcela considerável de recursos com o intuito de adquirir e implementar o conceito da I4.0 nas suas operações (Raj et al., 2019).

Os altos custos para adoção podem reduzir a atratividade da Indústria 4.0 especialmente para empresas que possuem operações em países em desenvolvimento (Tortorella & Fettermann, 2018). Sendo assim, os altos investimentos demandados para a implantação de tecnologias e processos inovadores constituem uma relevante barreira para as organizações, dessa forma as empresas devem delinear estratégias financeiras adequadas para suportar a adoção da I4.0 nas suas operações (Ing et al., 2019).

3.3.2.8 Incertezas a respeito dos resultados financeiros

O investimento na adoção da Indústria 4.0 é importante para manter a competitividade das empresas nos próximos anos, em contrapartida as incertezas geradas por esse alto investimento e a complexidade na seleção das tecnologias que serão implementadas são desafios que as manufaturas deverão superar para implantar esse novo paradigma industrial (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019). As incertezas com relação ao retorno dos investimentos dificultam o processo de adoção de novas tecnologias na medida em que é pouco claro o potencial de mercado que a Indústria 4.0 proporciona para as indústrias (Mohamed, 2018; Raj et al., 2019; Rauch, Dallasega & Unterhofer, 2019). Os custos para a implantação de fábricas inteligentes são altos e os benefícios proporcionados por essas instalações são difíceis de mensurar em um curto prazo, dessa forma as empresas podem ser tomadas por incertezas que dificultam o processo de adoção da I4.0 nas manufaturas (Sjodin et al., 2018).

As empresas que pretendem adotar as novas tecnologias nas suas manufaturas não possuem um modelo teórico adequado, dessa forma os procedimentos necessários para direcionar os gerentes no processo de implantação da Indústria 4.0 ainda são permeados de incertezas (Da Silva et al., 2019). Rauch, Dallasega & Unterhofer (2019) afirmam que o retorno de investimento nas novas tecnologias é pouco claro para o mercado e o processo de instalação é extenso e custoso. Dessa forma, as organizações se deparam com incertezas em relação aos benefícios econômicos proporcionados pelo investimento nas tecnologias da I4.0 em suas operações (Raj et al., 2019).

3.3.2.9 Padronização

A padronização dos sistemas é fundamental para garantir que os dados sejam devidamente transmitidos e processados entre os diversos equipamentos interconectados no contexto da Indústria 4.0, dessa forma esse conjunto de tecnologias funcionará de forma interoperacional (Marques et al., 2017). Em todo caso garantir a interoperabilidade dos sistemas no contexto da I4.0 não é uma tarefa simples tendo em vista que cada equipamento utiliza uma plataforma e algoritmos diferentes para se comunicarem e muitos se conectam na rede sem a utilização de fios (Kamble et al., 2018; Singh & Bhanot, 2019). Os dados que não são integrados e analisados devido à falta de padronização dos sistemas podem gerar inconsistências e informações redundantes para as organizações aumentando a ineficiência operacional na utilização da I4.0 (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019). Sendo assim, o desenvolvimento de padrões para os sistemas que conectam a produção, entrega e os consumidores é indispensável para a criação dessa rede interligada nas organizações (Saniuk & Saniuk, 2018).

A padronização dos sistemas é um desafio para as empresas adotarem a Indústria 4.0 nas suas operações haja vista que muitas tecnologias que compõem esse novo paradigma industrial possuem sistemas que são geralmente inflexíveis e de difícil adaptação (Marques et al., 2017). As organizações enfrentam essa barreira na implantação desse conjunto de tecnologias para integrar processos internos e criar redes de cooperação externas à empresa, pois para atingir a interoperabilidade é necessário que os equipamentos interajam por meio de protocolos padronizados de comunicação (Kiel et al., 2017). A integração de sistemas, internos ou externos em relação à organização, demanda diversos tipos de interfaces e características técnicas tornando ainda mais desafiador o processo de padronização da comunicação entre as tecnologias digitais (Ing et al., 2019).

A Internet das Coisas demonstra de forma ilustrativa como essa barreira afeta o processo de adoção da Indústria 4.0 já que essa tecnologia é formada por diversos dispositivos que coletam dados de múltiplas fontes, dessa forma é imprescindível a criação de padrões de comunicação, identificação e segurança para que todos os equipamentos consigam interagir de forma eficiente e gerar conhecimento por meio do processamento das informações extraídas (Fatorachian & Kazemi, 2018; Kiel et al., 2017; Xu, Xu & Li, 2018). Raj et al. (2019) ressaltam essa barreira em seu artigo e destacam o papel que os órgãos regulatórios e legisladores possuem na criação de parâmetros atualizados que devem acompanhar o ritmo do desenvolvimento tecnológico. Em suma, é importante garantir a padronização dos sistemas para que os dispositivos atuem de forma cooperativa e os dados sejam transmitidos entre diversas tecnologias (Marques et al., 2017).

3.4 Métodos de pesquisa utilizados pela amostra de artigos

A Tabela 3.3 apresenta os métodos de pesquisa que predominam nos 53 artigos da nossa amostra, com base nela é possível constatar que a revisão de literatura – feita

de forma sistemática ou não – foi a metodologia mais utilizada pelos autores da amostra. No total, 24 trabalhos utilizaram esse método de pesquisa, representando 45% da base de artigos analisada.

Tabela 3.3 Métodos de pesquisa utilizados

Método de pesquisa	Artigos	Quantidade
Revisão de literatura	Buer et al. (2018); Chopra & Priyadarshi (2019); Da Silva et al. (2019); Fatorachian & Kazemi (2018); Ghobakhloo (2019); Ghobakhloo (2018); Gölzer & Fritzsche (2017); Hirsch-Kreinsen (2016); Ing et al. (2019); de Sousa Jabbour et al. (2018); Kamble et al. (2018); Kipper et al. (2019); Klingenberg et al. (2019); Lu & Weng (2018); Marques et al. (2017); Moeuf et al. (2017); Mohamed (2018); Olsen & Tomlin (2020); Singh & Bhanot (2019); Sony & Naik (2019); Sony & Naik (2019); Sung (2018); Tuptuk & Hailes (2018); Xu, Xu & Li (2018)	24
Entrevistas em profundidade ou questionários semi-estruturados	Calabrese et al. (2020); Culot et al. (2019); Horváth & Szabó (2019); Islam et al. (2018); Kiel et al. (2017); Moktadir (2018); Müller (2019); Raj et al. (2019); Sjodin et al. (2018); Veile et al. (2019); Whysall et al. (2019)	11
Questionários estruturados	Bosman et al. (2019); Büchi et al. (2020); Chiarini et al. (2020); Dachs et al. (2019); Dalenogare et al. (2018); Frank et al. (2019); Saniuk & Saniuk (2018); Stentoft & Rajkumar (2019); Tortorella & Fettermann (2018); Tortorella et al. (2019); Tortorella et al. (2019); Tortorella et al. (2020); Zheng et al. (2019)	13
Estudo de caso (único ou múltiplo)	Dalmarco et al. (2019); Mourtzis et al. (2019); Rauch et al. (2019); Rocha et al. (2019); Zangiacomini (2020)	5

Os questionários estruturados foram utilizados por 13 artigos, desse total, 11 trabalhos realizaram métodos estatísticos para analisar os dados coletados. Saniuk e Saniuk (2018) e Zheng et al., (2019) geraram análises descritivas das informações coletadas. O método estatístico mais utilizado nos trabalhos foram as análises de regressão, os autores Büchi et al. (2020), Dachs, Kinkel e Jager (2019), Dalenogare et al., (2018), Stentoft e Rajkumar (2019), Tortorella, Giglio e Van Dun (2019) e Tortorella et al., (2020) analisaram os resultados utilizando esse método estatístico. Desta forma, apenas 11 dos 53 trabalhos selecionados utilizaram métodos quantitativos na análise dos seus resultados.

As entrevistas em profundidade ou com questionários semi-estruturados foram empregadas por 11 autores, esses artigos utilizaram esse método para coleta de dados qualitativos e por isso não apresentaram análises estatísticas. O estudo de caso foi utilizado por 5 autores, sendo que 2 artigo aplicaram a abordagem de caso único, que são: Dalmarco et al. (2019) e Mourtzis et al. (2019).

3.5 Síntese dos benefícios e barreiras associados à adoção da Indústria 4.0

As empresas que planejam adotar inovações nas suas operações, como por exemplo as novas tecnologias da Indústria 4.0, devem conhecer antecipadamente os potenciais benefícios e barreiras que encontrarão no momento de implementação da inovação (Rogers, 2003). A maior compreensão desses fatores que impactam no processo de adoção da Indústria 4.0 pode auxiliar as empresas a implementarem as

novas tecnologias de forma bem-sucedida nas manufaturas. (Calabrese, Ghiron & Tiburzi, 2020; Horváth & Szabó, 2019; Kamble, Gunasekaran & Sharma, 2018).

Os benefícios aumento na produtividade e eficiência, aumento na qualidade, flexibilidade na produção, redução no consumo de recursos, monitoramento e reparo de máquinas possuem relação com as manufaturas e seus processos produtivos. A possibilidade de produzir itens de forma inteligente e com alto nível de customização são dois benefícios que possuem relação com o desenvolvimento de produtos e áreas relacionadas, tais como *marketing* e pesquisa e desenvolvimento. A Indústria 4.0 auxilia na implantação de técnicas de produção enxuta e no processo de tomada de decisões nas empresas. Além disso, essa rede de tecnologias proporcionará a criação de novos modelos de negócio e as manufaturas tradicionais podem se transformar em fábricas inteligentes. Os benefícios percebidos pelas organizações em relação a uma inovação são importantes preditores da adoção de novas tecnologias (Rogers, 2003; Pedroso, Zwicker & de Souza, 2009). Sendo assim foi elaborada a seguinte proposição:

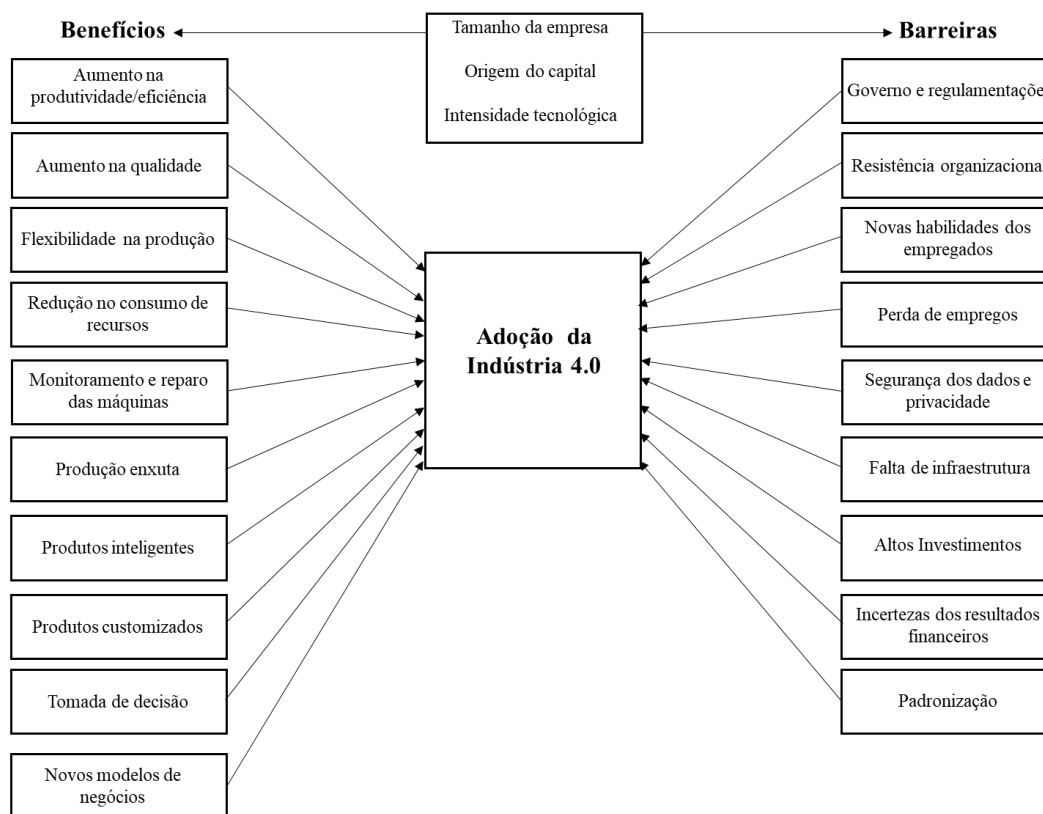
P1) O aumento na produtividade e eficiência, aumento na qualidade, flexibilidade na produção, redução no consumo de recursos, monitoramento e reparo de máquinas, produção enxuta, produtos inteligentes, produtos customizados, suporte na tomada de decisão e criação de novos modelos de negócio apresentam-se como os principais benefícios à adoção da indústria 4.0.

Em contrapartida, somente a compreensão acerca dos potenciais benefícios não é garantia da adoção em larga escala de uma inovação visto que existem barreiras e resistências das organizações que dificultam o processo de implementação de novas tecnologias (Rogers, 2003). Esses fatores não se limitam a problemas financeiros e podem dificultar a adoção de inovações nas indústrias (Pedroso, Zwicker & de Souza, 2009). As barreiras segurança e privacidade dos dados aparecem em diversos trabalhos, portanto a proteção das informações coletadas pelas tecnologias da Indústria 4.0 deve ser prioridade para uma adoção bem-sucedida. A resistência organizacional pode dificultar a adesão desse novo conceito, além disso, a necessidade de adquirir novas habilidades e a perda de empregos devido à automatização de tarefas são importantes desafios que as organizações precisam enfrentar no momento em que planejam implantar a I4.0. A falta de infraestrutura e os altos investimentos necessários para a instalação dificultam a adoção em escala desse novo conjunto de tecnologias, a incerteza nos resultados financeiros também constituiu uma barreira relacionada a utilização da I4.0. Os governos e instituições regulatórias possuem papel essencial na criação de políticas e leis que direcionem e auxiliem as empresas no processo de transformação das manufaturas em fábricas inteligentes. A padronização dos sistemas é uma importante barreira para adoção visto que os dados precisam transitar em diversos tipos de equipamentos e máquinas. Sendo assim foi elaborada a seguinte proposição.

P2) O governo e as regulamentações, resistência organizacional, novas habilidades dos empregados, perda de emprego, segurança dos dados e privacidade, falta de infraestrutura, incertezas a respeito dos resultados financeiros e padronização apresentam-se como as principais barreiras à adoção da indústria 4.0.

A Figura 3.10 representa o framework dos benefícios e barreiras que se relacionam com a adoção da indústria 4.0 em manufaturas.

Figura 3.10 Framework dos benefícios e barreiras da adoção da I4.0



As Tabelas 3.4 e 3.5 sintetizam os benefícios e barreiras encontrados na amostra de 53 artigos, foram identificados por meio da revisão sistemática da literatura um total de 10 benefícios e 9 barreiras.

Tabela 3.4 Benefícios na adoção da Indústria 4.0

Benefício	Artigo
Aumento na produtividade/eficiência	Büchi et al. (2020); Chiarini et al. (2020); Chopra & Priyadarshi (2019); Da Silva et al. (2019); Dachs et al. (2019); Dalenogare et al. (2018); Dalmarco et al. (2019); Islam et al. (2018); Kamble et al. (2018); Kipper et al. (2019); Klingenberg et al. (2019); Mohamed (2018); Sjodin, et al. (2018); Tortorella et al. (2020); Saniuk & Saniuk (2018); Sony & Naik (2019); Xu et al. (2018)
Aumento na qualidade	Dalmarco et al. (2019); Fatorachian & Kazemi (2018); Kamble et al. (2018); Mohamed (2018); Olsen & Tomlin (2020); Sjodin et al. (2018)
Flexibilidade na produção	Calabrese et al. (2020); Dalenogare et al. (2018); Fatorachian & Kazemi (2018); Frank et al. (2019); Kamble et al. (2018); Kipper et al. (2019); Moeuf et al. (2018); Mourtzis et al. (2019); Müller (2019); Olsen & Tomlin (2020); Saniuk & Saniuk (2018)
Redução no consumo de recursos	Chopra & Priyadarshi (2019); de Sousa Jabbour et. al (2018); Fatorachian & Kazemi (2018); Ghobakhloo (2018); Kiel et al. (2017); Moktadir et al. (2018); Müller (2019); Sjodin et al. (2018); Sony & Naik (2019); Zheng et al. (2019)
Monitoramento e reparo das máquinas	Chopra & Priyadarshi (2019); Ing et al. (2019); Kipper et al. (2019); Mourtzis et al. (2019); Sung (2018)
Produção enxuta	Buer et al. (2018); Moeuf et al. (2017); Tortorella & Fettermann (2018); Tortorella et al. (2019); Tortorella et al. (2019); Zangiacomi et al. (2020)
Produtos inteligentes	Fatorachian & Kazemi (2018); Frank et al. (2019); Ghobakhloo (2018); Ghobakhloo (2019); Sony & Naik (2019)
Produtos customizados	Buer et al. (2018); Dachs et al. (2019); Dalenogare et al. (2018); Dalmarco et al. (2019); Fatorachian & Kazemi (2018); Marques et al. (2017); Olsen & Tomlin (2020); Saniuk & Saniuk (2018); Tortorella & Fettermann (2018); Veile et al. (2019)
Tomada de decisão	Dalenogare et al. (2018); Dalmarco et al. (2019); Fatorachian & Kazemi (2018); Gölzer & Fritzsche, 2017; Horváth & Szabó (2019); Rocha et al. (2019); Singh & Bhanot (2019)
Novos modelos de negócios	Dalmarco et al. (2019); Kiel et al. (2017); Müller (2019); Sung (2018)

Tabela 3.5 Barreiras para a adoção da Indústria 4.0

Barreira	Artigo
Governo e regulamentações	Da Silva et al. (2019); Ing et al. (2019); Islam et al. (2018); Lu & Weng (2018); Moktadir et al. (2018); Raj et al. (2019); Rocha et al. (2019)
Resistência organizacional	Ghobakhloo (2019); Horváth & Szabó (2019); Kiel et al. (2017); Müller (2019); Raj et al. (2019); Rauch et al. (2019); Sjodin et al. (2018); Sony & Naik (2019); Veile et al. (2019)
Novas habilidades dos empregados	Chopra & Priyadarshi (2019); Dalmarco et al. (2019); Ghobakhloo (2019); Hirsch-Kreinsen (2016); Horváth & Szabó (2019); Ing et al (2019); Kamble et al. (2018); Kiel et al. (2017); Kipper et al. (2019); Raj et al. (2019); Rauch et al. (2019); Singh & Bhanot (2019); Sony & Naik (2019); Stentoft & Rajkumar (2019); Sung (2018); Tortorella & Fettermann (2018); Veile et al. (2019); Whysal et al. (2019)
Perda de empregos	Hirsch-Kreinsen (2016); Horváth & Szabó (2019); Ing (2019); Kamble et al. (2018); Kiel et al. (2017); Raj et al. (2019); Sony & Naik (2019)
Segurança dos dados e Privacidade	Chopra & Priyadarshi (2019); Culot et al. (2019); Dalmarco et al. (2019); Fatorachian & Kazemi (2018); Ghobakhloo (2019); Ing et al (2019); Kamble et al. (2018); Kiel et al. (2017); Müller (2019); Rauch et al. (2019); Singh & Bhanot (2019); Saniuk & Saniuk (2018); Sony & Naik (2019); Sung (2018); Tuptuk & Hailes (2018); Veile et al. (2019); Xu et al. (2018); Zheng et al (2019)
Falta de infraestrutura	Islam et al. (2018); Moktadir et al. (2018); Raj et al. (2019); Saniuk & Saniuk (2018); Singh & Bhanot (2019)
Altos Investimentos	Da Silva et al. (2019); Horváth & Szabó (2019); Ing et al (2019); Islam et al. (2018); Kamble et al. (2018); Kiel et al. (2017); Kipper et al. (2019); Raj et al. (2019); Sung (2018); Tortorella & Fettermann (2018); Zheng et al. (2018)
Incertezas a respeito dos resultados financeiros	Bosman et al. (2019); Da Silva et al. (2019); Mohamed (2018); Raj et al. (2019); Rauch et al. (2019); Sjodin et al. (2018)
Padronização	Bosman et al. (2019); Fatorachian & Kazemi (2018); Ing et al. (2019); Kamble et al. (2018); Kiel et al. (2017); Kipper et al. (2019); Marques et al. (2017); Raj et al. (2019); Saniuk & Saniuk (2018); Singh & Bhanot (2019); Xu et al. (2018)

3.6 Fatores organizacionais dos Benefícios e Barreiras à Adoção da Indústria 4.0

Os benefícios e barreiras que se relacionam com a adoção da Indústria 4.0 em manufaturas podem variar de acordo com alguns fatores, tais como o mercado em que a indústria está inserida, o tamanho da organização, a disponibilidade de capital para investimento, a localização geográfica, a qualidade da infraestrutura disponível para a implementação das novas tecnologias, entre outros fatores (Neirotti, Raguseo & Paolucci, 2017; Rauch, Dallasega & Unterhofer, 2019; Sony & Naik, 2019; Zheng et al., 2019). A adoção também pode variar de maneira significativa em países desenvolvidos em comparação com países em desenvolvimento. Os países desenvolvidos, no geral, possuem uma melhor infraestrutura que facilita a adoção das novas tecnologias pelas organizações (Piccarozzi, Aquilani & Gatti, 2018). Os países em desenvolvimento geralmente apresentam um nível menor na utilização de tecnologias da informação e automação nas suas manufaturas e podem ter uma dificuldade maior na adoção da Indústria 4.0 (Dalenogare et al., 2018).

Os estudos científicos sobre a adoção da Indústria 4.0 tendem a tratar as empresas de forma homogênea e sem levar em consideração algumas particularidades, todavia é necessário abordar esse tema considerando alguns fatores que podem afetar o processo de implementação, tais como o tamanho da empresa, o acesso a investimentos e os setores industriais (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019). Dentre os principais fatores que podem condicionar os efeitos dos benefícios e barreiras à adoção da indústria 4.0, levantados na revisão sistemática da literatura pesquisada, estão: o tamanho da empresa, a origem do capital e a intensidade tecnológica do setor industrial. A Tabela 3.6 relaciona os fatores organizacionais que serão estudados com as fontes científicas.

Tabela 3.6 Síntese dos fatores organizacionais

Fatores Condicionantes	Artigo
Tamanho da empresa	Bosman et al., 2019; Calabrese et al., 2020; Frank et al., 2019; Horváth & Szabó, 2019; Moeuf et al., 2018; Neirotti et al., 2017; Ooi et al., 2019; Prause, 2019; Rauch et al., 2019; Szász et al., 2020; Zheng et al., 2019
Origem do capital	Bosman et al., 2019; Dalenogare et al., 2018; Horváth & Szabó, 2019; Ing et al., 2019; Raj et al., 2019; Rauch et al., 2019
Intensidade tecnológica	Bosman et al., 2019; Calabrese et al., 2020; Ghobakhloo, 2019; Müller, 2019

3.6.1 Tamanho da empresa

O tamanho das manufaturas é um fator que pode influenciar no processo de adoção da Indústria 4.0 nas linhas de produção. As pequenas e médias empresas possuem algumas características distintas das grandes em relação a alguns aspectos, tais como um menor disponibilidade de recursos tecnológicos e financeiros para investir nesse novo paradigma industrial e um nível de qualificação menor dos seus profissionais (Neirotti, Raguseo & Paolucci, 2017; Ooi et al., 2019; Rauch, Dallasega &

Unterhofer, 2019; Szász et al., 2020). As grandes empresas aparentam ser mais bem informadas a respeito dos benefícios relacionados a utilização das novas tecnologias nas suas operações em comparação com as empresas de pequeno e médio porte (Horváth & Szabó, 2019; Zheng et al., 2019). Frank et al. (2019) analisou 92 manufaturas no Brasil e constatou que há uma relação entre as grandes empresas e a um maior nível de implementação da Indústria 4.0 nas operações.

As motivações de implementação da Indústria 4.0 nas manufaturas também podem variar de acordo com o tamanho da empresa. As motivações internas, tais como a melhoria dos processos organizacionais e aumento do suporte em outros departamentos, podem influenciar de forma mais intensa as grandes empresas (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Calabrese, Ghiron & Tiburzi, 2020). Por outro lado as pequenas e médias empresas geralmente são impactadas por fatores externos e adotam as novas tecnologias com o intuito de aumentar a produtividade e flexibilidade nas linhas de produção (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Moeuf et al., 2018; Prause, 2019).

Em suma, os estudos de adoção da Indústria 4.0 precisam diferenciar as empresas de acordo com o seu tamanho para obter resultados mais confiáveis. Existem particularidades no processo de adoção que se relacionam com o porte da empresa e as manufaturas não deveriam ser tratadas de forma homogênea nas pesquisas sobre esse tema (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019).

3.6.2 Origem do capital

A adoção da Indústria 4.0 demanda altos investimentos em novas tecnologias e sistemas, dessa forma a alocação e origem do capital são fatores importantes para a implantação bem-sucedida desse novo paradigma industrial (Ing et al., 2019). As empresas que possuem menor disponibilidade de capital para investimento na adoção da Indústria 4.0 no geral priorizam a implementação de tecnologias que impactam diretamente as manufaturas e aumentam a produtividade, qualidade e segurança dos processos produtivos, por outro lado, as empresas com maior acesso ao capital para priorizar o investimento em tecnologias que suportam e melhoram processos de outros departamentos da empresa e não se limitam a implementação da Indústria 4.0 apenas ao nível operacional das manufaturas (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019).

As empresas que estão estabelecidas em países em desenvolvimento, como o Brasil, e dependem de capital nacional geralmente possuem maiores dificuldades no processo de adoção de novas tecnologias devido a falta de políticas públicas nacionais que incentivem a adoção da Indústria 4.0 nas operações (Raj et al., 2019). No Brasil as empresas que utilizam capital nacional tendem a realizar investimento em tecnologias mais consolidadas em comparação às tecnologias mais inovadoras (Dalenogare et al., 2018). Horváth e Szabó (2019) constataram que as empresas multinacionais, as quais podem receber capital de origem externa, enfrentam barreiras menores para adoção da Indústria 4.0 em comparação com empreendimentos de pequeno e médio porte nacionais. Dessa forma, as empresas que possuem menor disponibilidade de recursos

financeiros para investimento em novas tecnologias teriam maiores dificuldades no processo de adaptação à Indústria 4.0 (Rauch, Dallasega & Unterhofer, 2019).

3.6.3 Intensidade tecnológica

O nível de maturidade tecnológica dos setores industriais pode influenciar no processo de adoção da Indústria 4.0 nas operações (Ghobakhloo, 2019). Calabrese, Ghiron & Tiburzi (2020) analisaram 39 empresas de quatro setores industriais distintos (elétrico; farmacêutico e químico; comida e bebida; borracha e plástico), com variação na intensidade do uso das tecnologias nas manufaturas e constataram que existem diferenças em relação à taxa de implementação da Indústria 4.0 entre os setores analisados.

As particularidades dos setores industriais, como por exemplo o nível de complexidade dos produtos oferecidos pelas empresas, parecem impactar na percepção dos benefícios e barreiras para adoção de tecnologias digitais nas manufaturas (Müller, 2019). Sendo assim, a intensidade no uso das tecnologias dos setores industriais pode ser um fator organizacional que impacta o processo de adoção das novas tecnologias nas operações. É importante ressaltar que atualmente existem poucas “pesquisas comparando setores da indústria e sua adoção das tecnologias da indústria 4.0” (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019, p. 15).

4. METODOLOGIA

O estudo adota uma abordagem quantitativa para auxiliar a elucidar a pergunta de pesquisa proposta, dessa forma, a pesquisa realiza um levantamento de dados primários por meio da utilização de um questionário com perguntas estruturadas. Esse capítulo apresenta os procedimentos metodológicos que a pesquisa seguiu, evidenciando a natureza da pesquisa, os critérios para seleção e separação da amostra, a elaboração do questionário e pré-teste, a coleta de dados e as ferramentas de análises dos resultados.

4.1 Pesquisa quantitativa e procedimentos

A pesquisa quantitativa é definida por Malhotra (2006) como uma “metodologia de pesquisa que procura quantificar os dados e, geralmente, aplica alguma forma de análise estatística”. A análise estatística é utilizada para ilustrar fenômenos sociais em termos quantitativos, possibilitando a comprovação de relações entre eventos estudados; sendo assim o método estatístico pretende descrever quantitativamente as relações entre fenômenos sociais (Marconi & Lakatos, 2010). Dessa forma ela pode ser utilizada para medir opiniões, hábitos, atitudes e outras reações de uma amostra que represente estatisticamente uma população. Os dados podem ser coletados através de entrevistas com questionários estruturados ou semiestruturados, essas informações são indicadores empíricos que retratam a realidade estudada (Manzato & Santos, 2012; Sale, Lohfeld & Brazil, 2002).

Na pesquisa quantitativa o pesquisador deve ser sempre neutro e focar apenas na mensuração dos fatos observados sem qualquer influência no processo de coleta de dados. O questionário é um dos instrumentos mais importantes para o pesquisador quantitativo na coleta de dados, por meio dele é possível colher informações que serão utilizadas para realizar induções na etapa de interpretação dos dados (Gomes & Araújo, 2005). Os pesquisadores quantitativos e o objeto investigado são organismos independentes pela perspectiva epistemológica e as amostras geralmente são grandes para que métodos estatísticos possam garantir sua representatividade (Sale, Lohfeld & Brazil, 2002).

O método quantitativo tem o questionário como a maior ferramenta de coleta de dados, através dele coleta-se as informações que serão posteriormente utilizadas para o entendimento das questões da pesquisa (Gomes & Araújo, 2005). Os questionários possuem vantagens e desvantagens como técnica de coleta de dados. As vantagens estão relacionadas ao atingimento de um número maior de respondentes simultaneamente, a obtenção de respostas de forma mais rápida e precisa, maior liberdade nas respostas devido ao anonimato, maior uniformidade na avaliação das respostas e menor influência do pesquisador nas respostas; as desvantagens se relacionam com baixo índice de retorno dos questionários, possibilidade de retorno com perguntas sem respostas e dificuldade na compreensão das perguntas pelos respondentes (Marconi & Lakatos, 2010).

As análises dos dados podem ser feitas de acordo com três tipos distintos de tratamento: técnicas univariadas ou estatísticas descritivas, técnicas bivariadas ou

estatística inferencial, técnicas multivariadas. As técnicas univariadas são descritivas e não permitem estabelecer conclusões das relações medidas, as técnicas bivariadas por sua vez permitem realizar inferências estatísticas, como por exemplo o teste de hipótese); as técnicas multivariadas possibilitam a análise de um conjunto de variáveis dependentes e independentes em relação ao objeto estudado (da Silva, Lopes & Junior, 2014). Dessa forma a pesquisa quantitativa é usada para representar a realidade por meio de métodos estatísticos, descrevendo matematicamente relações entre objetos estudados.

4.2 Objetivo, questão e natureza da pesquisa

O estudo da adoção da Indústria 4.0 em manufaturas é um tema de pesquisa recente e existem poucos trabalhos que apresentam os fatores que impactam a implementação com sucesso desse novo paradigma industrial (Piccarozzi, Aquilani & Gatti 2018; Sony & Naik, 2019; Veile et al., 2019). Zheng et al. (2019) sugerem que as pesquisas futuras deveriam realizar estudos em manufaturas que adotaram de maneira satisfatória a Indústria 4.0 para entender com profundidade os fatores que impactaram no processo de adoção com sucesso dessas novas tecnologias.

Os países que estão em processo de desenvolvimento, tal como o Brasil, possuem diversas incertezas a respeito do impacto econômico da adoção da Indústria 4.0 nas suas indústrias (Dalenogare et al., 2018). No Brasil, uma pesquisa realizada pela CNI com uma amostra de 632 empresas com no mínimo 250 empregados constatou que 73% das grandes indústrias brasileiras utilizam tecnologias da Indústria 4.0 nas suas operações e 48% pretendiam investir em novas tecnologias digitais (CNI, 2018). Todavia existem poucos estudos sobre o tema no mercado brasileiro, especialmente em relação à adoção da Indústria 4.0 em manufaturas de pequeno e médio porte.

Dessa forma, esse estudo tem o objetivo de identificar os benefícios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas brasileiras e entender como esses fatores se relacionam e são afetados em relação ao tamanho das empresas, intensidade tecnológica e origem do capital. A questão de pesquisa que norteia este trabalho é: quais os principais benefícios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas no Brasil?

Para responder esse questionamento, a pesquisa emprega método de natureza quantitativa que irá coletar dados por meio de questionários estruturados que são posteriormente analisados com o auxílio de técnicas estatísticas.

4.3 Critérios de seleção e separação da amostra

O planejamento ou delineamento para a seleção e separação da amostra deve respeitar quatro critérios: 1) adoção de soluções tecnológicas relacionadas à Indústria 4.0 criadas pelas integradoras listadas no Finep Inovacred 4.0; 2) seleção de empresas de tamanho pequeno-médio e grande; 3) seleção de empresas com origem de capital distintas (capital nacional e capital externo); 4) adequação aos setores industriais das

categorias de intensidade tecnológica alta, média-alta e média-baixa. A Figura 4.1 ilustra os critérios de seleção da amostra.

Figura 4.1 Critérios de seleção da amostra

Origem do Capital	Tamanho	Classificação Setorial – Intensidade Tecnológica (OCDE – ISIC 4)		
		Alta	Média-Alta	Média-Baixa
Nacional (N) Externo (E)	Grande (G)	GN	GN	GN
		GE	GE	GE
Nacional (N) Externo (E)	Pequeno-Médio (P)	PN	PN	PN
		PE	PE	PE

O primeiro critério de seleção e separação da amostra é a adoção de soluções tecnológicas relacionadas à Indústria 4.0 criadas pelas integradoras que fazem parte do Finep Inovacred 4.0 e estão listadas no Anexo 1. As integradoras cadastradas nessa iniciativa formulam e implementam “soluções de digitalização que abarquem a utilização, em linhas de produção, de serviços de implantação de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0” (Finep, 2020). Dessa forma, as empresas que utilizam as tecnologias das integradoras listadas no Finep Inovacred 4.0 foram selecionadas para a amostra. Essas empresas foram identificadas por meio dos sites de cada uma das integradoras do Finep Inovacred 4.0 listadas no Anexo 1, esse mapeamento foi feito em novembro de 2020.

O tamanho das organizações pode impactar o processo de adoção das novas tecnologias e por isso os benefícios e barreiras podem variar de acordo com o porte das manufaturas (Rauch, Dallasega & Unterhofer, 2019). O objetivo dessa divisão por tamanho da empresa é constatar possíveis particularidades acerca dos benefícios e barreiras de adoção da Indústria 4.0 de acordo com o tamanho das empresas. O critério do porte da empresa será elaborado de acordo com a definição utilizada pelo Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, os quais dividem o tamanho das indústrias em três grupos distintos: as pequenas indústrias possuem de 20 a 99 empregados, as médias possuem de 100 a 499 empregados e as grandes possuem mais de 500 empregados (SEBRAE, 2006). Neste trabalho as empresas serão divididas em dois grupos distintos de acordo com o seu tamanho, que são pequeno-médio e grande porte. As empresas de porte pequeno-médio deverão possuir de 20 a 499 empregados e as empresas de grande porte deverão possuir mais de 500 empregados.

A origem do capital é o segundo critério de escolha da amostra teórica que será utilizada nesse trabalho. Assim, a pesquisa selecionou empresas com origem de capital

nacional e empresas com origem de capital externo. Nesse sentido o intuito é verificar as particularidades no entendimento dos benefícios e barreiras das empresas que utilizam capital nacional em relação àquelas que recebem investimentos externos no contexto da adoção da Indústria 4.0 nas suas operações.

A intensidade tecnológica do setor influenciará na escolha da amostra de casos para esse estudo. As empresas serão selecionadas por meio da utilização da categorização proposta na OCDE - Revisão 4 da ISIC, sendo assim serão escolhidos casos que fazem parte das categorias alta, média-alta e média-baixa de intensidade tecnológica (Galindo-Rueda & Verger, 2016). A escolha de três categoria para a seleção da amostra permitirá um melhor entendimento acerca das particularidades de cada setor industrial em relação aos benefícios e barreiras relacionados à adoção das novas tecnologias nas manufaturas. Os setores industriais que fazem parte de cada categoria estão representados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 Setores industriais de acordo com a intensidade tecnológica

Intensidade Tecnológica	Setores Industriais
Alta	Aeronaves e veículos espaciais; Equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos; Farmacêutico
Média-alta	Armas e munições; Automotiva; Equipamento elétrico; Ferrovia, veículos militares e outros equipamentos de transporte; Instrumentos médicos e odontológicos; Maquinário e equipamento; Química e produtos químicos
Média-baixa	Coque e produtos petrolíferos refinados; Couro e produtos relacionados; Impressão e reprodução de mídia gravada; Madeira e produtos de madeira e cortiça; Móveis; Papel e produtos de papel; Produtos alimentares, bebidas e tabaco; Produtos metálicos fabricados, exceto armas e munição; Produtos têxteis e vestuário

Fonte: Galindo-Rueda & Verger, 2016.

Por meio dos critérios estabelecidos foram selecionadas 127 empresas que implementaram tecnologias associadas à Indústria 4.0; é importante ressaltar que essas empresas foram identificadas por meio dos sites das integradoras credenciadas no Finep Inovacred 4.0 (Finep, 2020). No total existem 14 integradoras que forneceram soluções tecnológicas para as 127 empresas selecionadas como amostra deste projeto. Foram selecionadas 16 empresas classificadas como alta intensidade tecnológica, 53 como média-alta intensidade tecnológica e 58 como média-baixa (Galindo-Rueda & Verger, 2016).

4.4 Desenvolvimento do questionário de pesquisa

O questionário da pesquisa utiliza perguntas estruturadas, que são questões que discriminam as alternativas e o formato da resposta (Malhotra, 2006). São empregadas

perguntas de múltipla escolha e dicotômicas. As questões de múltipla escolha serão relativas às influências dos principais benefícios e barreiras, identificados no referencial teórico da pesquisa, acerca da decisão de adoção das tecnologias de Indústria 4.0, levando em consideração os benefícios e barreiras. São empregadas questões com escalas Likert com 7 intervalos que variam de “discordo totalmente” no primeiro intervalo até “concordo totalmente” no sétimo (Hair et al. 2005; Richardson, 2007; Siegel & Castellan, 2006). No total o questionário apresenta 19 questões de múltipla escolha que se referem aos benefícios e barreiras identificados previamente por meio da revisão sistemática de literatura. Além disso, são realizadas 2 perguntas dicotômicas com o intuito de classificar as empresa de acordo com o porte e a origem do capital. O questionário tem um total de 21 perguntas estruturadas e foi desenvolvido com base nos principais benefícios, barreiras e fatores organizacionais relacionados à adoção da indústria 4.0, discutidos a partir da revisão sistemática da literatura e sintetizados nos itens 3.5 e 3.6 do capítulo anterior. Todas as perguntas formuladas no questionário são obrigatórias.

O questionário foi desenvolvido com a ajuda do Google Forms e enviado para os potenciais respondentes por meio do LinkedIn. O questionário completo pode ser encontrado no Apêndice 1.

4.5 Coleta e análise de dados

O projeto procedeu inicialmente a um pré-teste com 7 respondentes para dirimir eventuais questões mal formuladas no questionário (Hair et al. 2005; Malhotra, 2006; Marconi & Lakatos, 2010; Richardson, 2007). Os participantes do pré-teste responderam adequadamente sem nenhum questionamento ou sugestão de melhoria. Posteriormente o questionário foi enviado para 535 profissionais de cargos gerenciais que aceitaram participar da pesquisa. Esses profissionais pertencem às áreas de tecnologia da informação, inovação e operações das 127 empresas selecionadas para essa pesquisa.

O questionário foi aplicado de forma online junto a profissionais de cargos gerenciais e de diretoria nas áreas de tecnologia da informação, inovação ou manufatura das 127 empresas que fazem parte da amostra da pesquisa. Esses profissionais foram identificados por meio do LinkedIn, que é uma rede social de negócios voltada para o mundo corporativo. Para identificar os respondentes foram realizadas pesquisas nas páginas do LinkedIn de cada uma das empresas que compõem a amostra desse trabalho e que estão evidenciadas na Tabela 5.1 As pesquisas foram realizadas, junto ao linkedin, por meio das seguintes palavras-chaves, considerando as empresas da amostra da pesquisa, na Tabela 5.1:

gerente de TI, IT manager, diretor de IT, IT director, CIO, gerente de inovação, innovation manager, production manager, gerente de produção, industrial manager, gerente industrial, plant manager, gerente de fábrica, manufacture manager, gerente de manufatura

Os profissionais selecionados declaram em seus perfis no LinkedIn que atuam nas áreas de tecnologia da informação, inovação ou operações nas funções de diretores,

gerentes ou coordenadores. Foram mapeados 1035 potenciais respondentes para a pesquisa e todos receberam um convite para participarem do estudo. Desse total 535 aceitaram o convite para participarem da pesquisa e receberam o link do questionário. No final recebemos 194 questionários preenchidos, dessa forma tivemos 36% de taxa de respostas.

Os participantes que aceitaram o convite para participarem da pesquisa receberam um texto introdutório sobre a pesquisa com o link do questionário. Após essa primeira mensagem, foram realizados dois follow-ups, o primeiro depois de quinze dias do envio do questionário e o segundo depois de um mês. O link ficou disponível por mais de um mês após o envio do convite e depois desse prazo encerramos a coleta de dados. A coleta de dados foi realizada ao longo de todo o mês de Março e Abril de 2021.

A análise estatística permite ilustrar fenômenos sociais em termos quantitativos e promover um maior entendimento das relações entre os eventos estudados (Marconi & Lakatos, 2010). O trabalho irá analisar os dados por meios dos testes não-paramétricos de Mann-Whitney e de Kruskal-Wallis. Esses testes serão utilizados pois por meio deles é possível investigar se dois ou mais grupos de respondentes possuem a mesma opinião acerca dos efeitos dos benefícios e barreiras identificados no processo de adoção da Indústria 4.0 (Siegel & Castellan, 2006).

O teste de Mann-Whitney será utilizado para investigar se duas amostras possuem diferenças estatisticamente significativas nas opiniões relativas aos efeitos dos benefícios e barreiras identificados na adoção da Indústria 4.0 em manufaturas. O teste de Kruskal-Wallis será utilizado para investigar se as empresas pertencentes aos três níveis de intensidade tecnológica utilizados no trabalho (alta, média-alta, média-baixa) possuem diferenças estatisticamente significativas nas opiniões relativas aos efeitos dos benefícios e barreiras identificados na adoção da Indústria 4.0 em manufaturas. Todas as análises de resultados foram feitas com o auxílio do software estatístico SPSS Statistics 20.

5. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Esta seção apresenta a análise e discussão de resultados da pesquisa. Primeiramente é apresentada uma análise descritiva da amostra, evidenciando algumas características das empresas pesquisadas e uma análise do viés de não resposta da amostra. A seção apresenta também a análise e discussão dos principais resultados das avaliações dos respondentes das empresas da amostra, segmentadas em termos dos três fatores organizacionais (tamanho, origem do capital e intensidade tecnológica), em relação à importância e plausibilidade de ocorrência dos benefícios e barreiras à implementação da Indústria 4.0. Posteriormente, o trabalho apresenta análise e discussão dos resultados em relação aos cruzamentos ou grupos dos fatores organizacionais

5.1 Análise descritiva da amostra

Foram selecionadas 127 empresas para esse estudo de acordo com os critérios de amostragem apresentados previamente, as quais estão listadas na Tabela 5.1, já considerando a classificação nos devidos setores industriais e consequentes intensidades tecnológicas. Podemos observar, pela Tabela 5.1, que 16 empresas atuam em setores industriais classificados como alta intensidade tecnológica, 53 como média-alta intensidade tecnológica e 58 como média-baixa (Galindo-Rueda & Verger, 2016). Na sequência, a Tabela 5.2 evidencia os setores industriais que as 127 empresas selecionadas fazem parte.

Tabela 5.1 Empresas que fazem parte da amostra

Intensidade Tecnológica	Empresas
Alta	AbbVie; Aché; Bayer; Embraer; EMS; Eurofarma; GSK; IBM; Johnson & Johnson; Microsoft; Novartis; Pfizer; Positivo; Prysmian Group; Stefanini; TE Connectivity
Média-alta	3M; ABR Industria e Comércio de Autopeças; AGCO Automotive; Arteccla Química; BASF; Baxter; Benteler; BMW; Bosch; Brose; Caterpillar; CNH Industrial; Colormaq; Cooper-Standard; Dana; Delphi; Denso; Duroline; Electrolux; Evonik; Faurecia; Federal Mogul; Fiat Chrysler Automobiles; Ford; Fras-Le; Fresenius Kabi; Grupo Sada; Hewlett Packard; Honda; Honeywell; Intelbras; John Deere; Lear Corporation; Magna International; Mann-Hummel; Marcopolo; Martinrea; Midea; NTN Rolamentos do Brasil; Oxiteno; Renault; Scania; Schulz; Stahl; Thyssenkrupp; Umicore; Valeo; Vipal Borrachas; Visteon; Volkswagen; Volvo; Whirlpool Corporation; ZF Friedrichshafen
Média-baixa	AGCO; Água de Coco; Alfa Laval; Ambev; Andritz; Animale; Arauco; Arrazantty Fitness; Aryzta; Aurora; Bauducco; Bombril; Bremil; BRF; Bunge; Cenibra; Coamo; Coca-Cola; Cocamar; Docile; Duas Rodas; Duratex; Eldorado Brasil; Excelsior; Fakini Malhas; Fibria; Florestal; Gelita; Gomes da Costa; Grupo Bilton; Grupo Bimbo; Grupo Soma; Guararapes Caçador; Hering; Impress Decor; International Paper; JBS; Klabin; Labellamafia; Mangels; Masisa; Mondelez; Morena Rosa; Nestlé; Nordeste Alimentos; Nutrilite; Oderich; Pernambucanas; Piá; Placas do Brasil; Santa Clara; Souza Cruz; Stara; Suzano; Tetra Pak; Tirol; Valmet; Vonpar

Tabela 5.2 Setores que fazem parte da amostra

Intensidade Tecnológica	Setores industriais
Alta	Aeronaves e veículos espaciais; Equipamentos de informática, eletrônicos e ópticos; Farmacêutico
Média-alta	Automotivo; Equipamento elétrico; Instrumentos médicos e odontológicos; Maquinário e equipamentos; Química e produtos químicos
Média-baixa	Madeira e produtos de madeira e cortiça; Papel e produtos de papel; Produtos alimentares, bebidas e tabaco; Produtos metálicos fabricados, exceto armas e munição; Produtos têxteis e vestuário

5.1.1 Amostra final e análise do viés de não-resposta

Na medida em que foi concluído o levantamento das empresas de acordo com os critérios de amostragem estabelecidos a pesquisa procedeu ao mapeamento dos profissionais que atuam nessas empresas por meio do LinkedIn. Foram mapeados 1035 potenciais respondentes para a pesquisa de acordo com os procedimentos evidenciados no tópico 4.5 e todos esses profissionais receberam um convite para participarem do estudo. A Tabela 5.3 apresenta o mapeamento dos respondentes de acordo com o tamanho da empresa, origem do capital e nível de intensidade tecnológica.

Tabela 5.3 Mapeamento dos profissionais

Mapeamento dos profissionais	Porte grande	Porte pequeno-médio
<i>Alta intensidade tecnológica</i>		
Nacional	70	0
Internacional	103	0
<i>Média-Alta intensidade tecnológica</i>		
Nacional	55	7
Internacional	401	0
<i>Média-baixa intensidade tecnológica</i>		
Nacional	235	22
Internacional	142	0

Foram mapeados 173 potenciais respondentes que trabalham em empresas de alta intensidade tecnológica, 463 que trabalham em empresas de média-alta intensidade tecnológica e 399 que trabalham em empresas de média-baixa intensidade tecnológica, conforme a Tabela 5.3. No total foram mapeados 1035 profissionais que se encaixavam nos critérios de seleção e todos receberam um convite para participarem da pesquisa. Desse total 535 aceitaram o convite e receberam o link do questionário. A Tabela 5.4

apresenta a distribuição desses profissionais de acordo com o tamanho da empresa, origem do capital e nível de intensidade tecnológica.

Tabela 5.4 Profissionais que aceitaram participar e receberam o questionário

Profissionais que receberam o questionário	Porte grande	Porte pequeno-médio
<i>Alta intensidade tecnológica</i>		
Nacional	38	0
Internacional	62	0
<i>Média-Alta intensidade tecnológica</i>		
Nacional	28	3
Internacional	208	0
<i>Média-baixa intensidade tecnológica</i>		
Nacional	110	14
Internacional	72	0

No final foram recebidos 194 questionários preenchidos, dessa forma tivemos 19% de taxa de respostas. A Tabela 5.5 apresenta a distribuição dos respondentes de acordo com o tamanho da empresa, origem do capital e nível de intensidade tecnológica.

Tabela 5.5 Distribuição dos respondentes na amostra final

Distribuição dos respondentes	Porte grande	Porte pequeno-médio
<i>Alta intensidade tecnológica</i>		
Nacional	11	0
Internacional	23	0
<i>Média-Alta intensidade tecnológica</i>		
Nacional	9	2
Internacional	80	0
<i>Média-baixa intensidade tecnológica</i>		
Nacional	35	7
Internacional	27	0

Com o intuito de realizar o teste do viés de não-resposta as empresas foram divididas em oito grupos de acordo com a interação entre os três fatores organizacionais

estudados, que são: tamanho da empresa, origem do capital e intensidade tecnológica. Nesse aspecto é importante destacar que não tivemos na amostra nenhuma empresa internacional de tamanho pequeno-médio e nenhuma empresa pequena-média nacional de intensidade tecnológica alta, por esse motivo não foi feito o agrupamento desses fatores. Cada interação foi nomeada de acordo com a primeira letra de cada um dos três fatores organizacionais, dessa forma os grupos formados são: Pequena - Nacional - Média-Baixa (PNMB), Pequena - Nacional - Média-Alta (PNMA), Grande - Nacional - Média-Baixa (GNMB), Grande - Nacional - Média-Alta (GNMA), Grande - Nacional - Alta (GNA), Grande - Internacional - Média-Baixa (GIMB), Grande - Internacional - Média-Alta (GIMA), Grande - Internacional - Alta (GIA).

A Tabela 5.6 apresenta os valores e cálculos do qui-quadrado para o teste de viés de não-resposta da amostra final em relação ao total de mapeados (1035) e ao total de respondentes que receberam o questionário (535). Posteriormente foi calculado o p-valor para os dois casos, o p-valor calculado da amostra final em relação ao total de mapeados é 0,568 e o p-valor calculado da amostra final em relação ao total de respondentes que receberam o questionário é de 0,875. Dessa forma ambos os resultados não foram significativos, ou seja, não há diferença significativa entre as proporções ou distribuição dos grupos que responderam ao questionário na amostra final em relação à distribuição desses mesmos grupos presentes no total de mapeados e, portanto, a amostra final não apresenta viés de não-resposta.

Tabela 5.6 Resultados para o cálculo do Qui-Quadrado para o teste de viés de não-resposta na Amostra Final

Interação	Total mapeados	Receberam o questionário	Amostra final (Oi)	Mapeados		Receberam o questionário	
				Amostra esperada (Ei)	Qui-quadrado	Amostra esperada (Ei)	Qui-quadrado
PNMB	22	14	7	4,12	2,01	5,08	0,73
PNMA	7	3	2	1,31	0,36	1,09	0,76
GNMB	235	110	35	44,05	1,86	39,89	0,60
GNMA	55	28	9	10,31	0,17	10,15	0,13
GNA	70	38	11	13,12	0,34	13,78	0,56
GIMB	142	72	27	26,62	0,01	26,11	0,03
GIMA	401	208	80	75,16	0,31	75,42	0,28
GIA	103	62	23	19,31	0,71	22,48	0,01
Total	1035	535	194		5,77		3,10

5.1.2 Perfil dos respondentes

Foram obtidos 194 questionários preenchidos por profissionais de cargos gerenciais e de diretoria nas áreas de tecnologia da informação, inovação ou manufatura das empresas que fazem parte da amostra (Tabela 5.1).

A Tabela 5.7 evidencia o perfil dos respondentes. Por meio dela é possível observar que 95% da amostra é constituída de profissionais que atuam em empresas de grande porte, que possuem mais de 500 funcionários, enquanto os outros 5% abarcam as empresas de pequeno e médio porte, que possuem de 20 a 499 empregados. A maioria dos respondentes (67%) trabalham em empresas internacionais, os respondentes que fazem parte de empresas nacionais constituem 33% da amostra. Os respondentes de empresas que fazem parte dos setores industriais de intensidade tecnológica média-alta predominaram na pesquisa, com um total 47% de respostas provenientes desse nível de intensidade tecnológica, sendo seguidos pelos níveis de intensidade tecnológica média-baixa (36%) e alta (18%).

Tabela 5.7 Perfil dos respondentes

Distribuição dos respondentes	Quantidade de casos	Percentual da amostra
<i>Tamanho da empresa</i>		
Pequeno-médio	9	5%
Grande	185	95%
<i>Origem do capital</i>		
Nacional	64	33%
Internacional	130	67%
<i>Intensidade tecnológica</i>		
Média-Baixa	69	36%
Média-Alta	91	47%
Alta	34	18%

5.2 Análise e Discussão dos Benefícios e Barreiras para adoção da Indústria 4.0

Os próximos tópicos apresentam as análises e discussões dos resultados dos testes não-paramétricos de acordo com os grupos formados pelos fatores organizacionais estudados, que são tamanho da empresa, origem do capital e nível de intensidade tecnológica.

5.2.1 Análise das respostas em relação ao tamanho da empresa

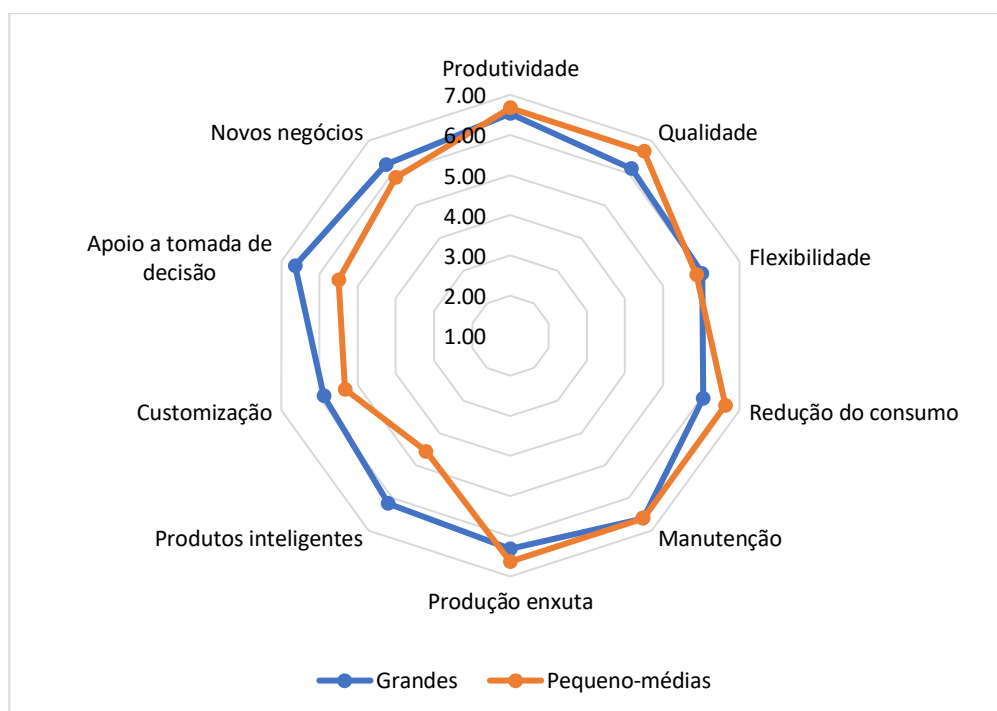
As empresas foram divididas em dois grupos distintos de acordo com o seu tamanho, que são pequeno-médio e grande porte. As empresas de porte pequeno-médio possuem de 20 a 499 empregados e as empresas de grande porte possuem mais de 500 empregados (SEBRAE, 2006). Primeiramente será analisado se as empresas de tamanho pequeno-médio e grande possuem diferenças estatisticamente significativas nas opiniões relativas aos efeitos dos benefícios identificados na adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas e posteriormente essa mesma análise será feita com as barreiras de implementação.

5.2.1.1 Análise das respostas sobre os benefícios

A Tabela 5.8 apresenta as médias e medianas das respostas de todos os benefícios pelo tamanho da empresa. A Figura 5.1 apresenta o gráfico de radar com os valores das medianas agrupadas de todos os benefícios pelo tamanho da empresa. Por meio dessas informações é possível perceber que, independentemente do tamanho, os respondentes das empresas deram, no geral, grande importância aos benefícios decorrentes da adoção da Indústria 4.0. Alguns benefícios estratégicos para a empresa, tais como criação de novos negócios, apoio na tomada de decisão, customização e produtos inteligentes, foram avaliados como mais importante pelos respondentes das empresas grandes em comparação com os das empresas pequeno-médias. Por outro lado os benefícios de natureza mais operacional, tais como o aumento na produtividade, aumento na qualidade, redução no consumo de recursos e produção enxuta foram mais bem avaliados pelos respondentes das empresas pequeno-médias em comparação com os das empresas grandes.

Tabela 5.8 Médias e medianas das respostas dos benefícios por tamanho das empresas

Tamanho da empresa	Empresas Grandes			Empresas Pequeno-médias		
	Média	Mediana	Mediana agrupada	Média	Mediana	Mediana agrupada
Produtividade	6,43	7,00	6,53	6,67	7,00	6,67
Qualidade	5,97	6,00	6,14	6,67	7,00	6,67
Flexibilidade	5,84	6,00	6,02	5,89	6,00	5,88
Redução do consumo	5,90	6,00	6,05	6,56	7,00	6,63
Manutenção	6,54	7,00	6,63	6,56	7,00	6,63
Produção enxuta	6,12	6,00	6,31	6,56	7,00	6,63
Produtos inteligentes	5,92	6,00	6,17	4,78	4,00	4,57
Customização	5,74	6,00	5,88	5,44	5,00	5,33
Apoio a tomada de decisão	6,57	7,00	6,64	5,56	5,00	5,50
Novos negócios	6,02	6,00	6,27	5,78	6,00	5,86

Figura 5.1 Medianas das respostas dos benefícios por tamanho das empresas

A Tabela 5.9 apresenta as comparações, pelo teste de Mann-Whitney, entre os benefícios e as empresas de tamanho pequeno-médio e grande. O nível de significância do teste foi definido no p-valor de 0,10, que corresponde a um nível de confiança de 90 por cento, dessa forma é possível observar que quatro benefícios apresentaram diferenças significativas no teste: o aumento na qualidade (Qualidade), a redução no consumo de recursos (Consumo), a fabricação de produtos inteligentes (Inteligentes) e o apoio na tomada de decisões (Decisões). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção desses quatro benefícios entre as empresas de porte pequeno-médio e grande.

Tabela 5.9 Teste Mann-Whitney dos benefícios por tamanho da empresa

Benefícios	Rank Médio (Pequeno-médio)	Rank Médio (Grande)	Mann-Whitney <i>p</i> valor
Aumento na produtividade/eficiência	108,33	96,97	0,498
Aumento na qualidade	131,83	95,83	0,047*
Flexibilidade na produção	91,83	97,78	0,746
Redução no consumo de recursos	130,94	95,87	0,055 ⁺
Monitoramento e reparo de máquinas	97,39	97,51	0,994
Produção enxuta	117,61	96,52	0,235
Produtos inteligentes	48,33	99,89	0,005**
Produtos customizados	78,89	98,41	0,289
Tomada de decisão	45,33	100,04	0,001***

Novos modelos de negócios

76,11

98,54

0,211

Nota.

+p<0.1

*p<0.05

**p<0.01

***p<0.001

A Figura 5.2 apresenta as medianas agrupadas dos quatro benefícios que apresentaram resultados estatisticamente significativos no teste de Mann-Whitney. A Tabela 5.10 apresenta as médias e medianas desses benefícios. Por meio dessas informações é possível perceber que os benefícios aumento de qualidade e diminuição no consumo de recursos foram considerados mais importantes pelas empresas de porte pequeno e médio, em contrapartida os benefícios de fabricação de produtos inteligentes e apoio no processo de tomada de decisões foram considerados mais importantes pelas empresas de grande porte.

Figura 5.2 Gráfico de barras dos benefícios significativos por tamanho de empresa

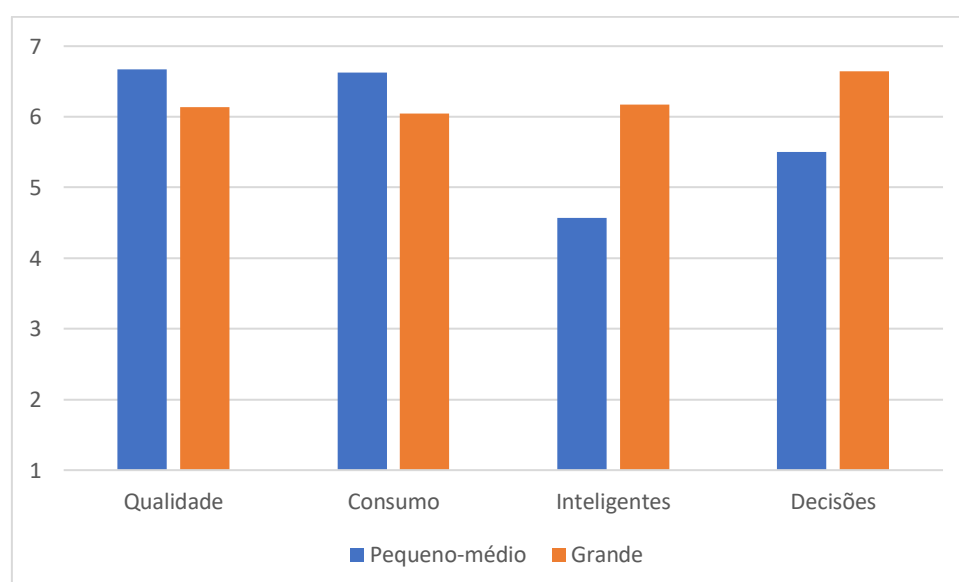


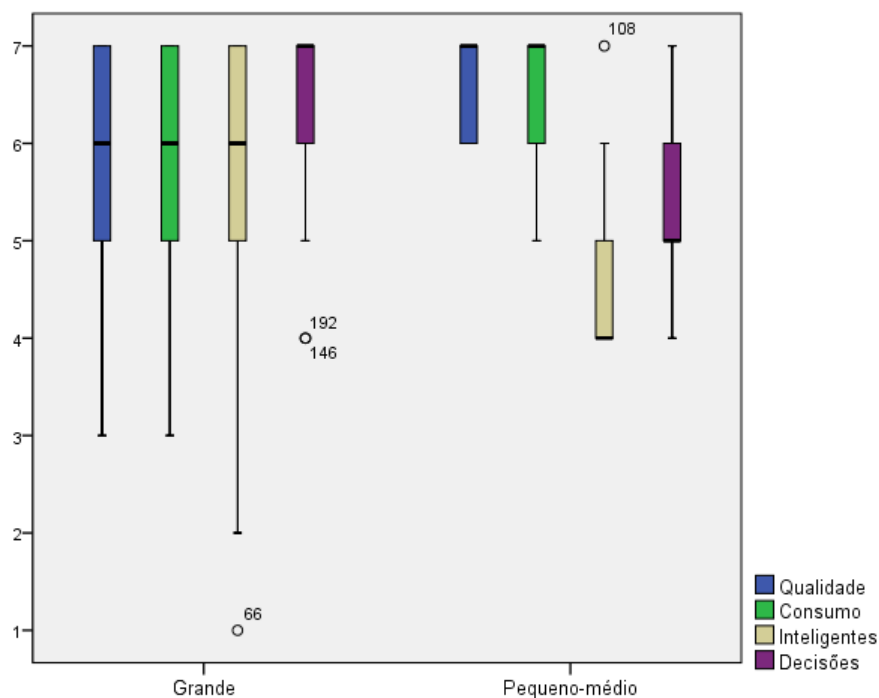
Tabela 5.10 Resumo dos benefícios significativos por tamanho de empresa

Origem do capital	Qualidade	Consumo	Inteligentes	Decisões
<i>Pequeno-médio</i>				
Média	6,67	6,56	4,78	5,56
Mediana agrupada	6,67	6,63	4,57	5,50
Mediana	7,00	7,00	4,00	5,00
<i>Grande</i>				
Média	5,97	5,90	5,92	6,57

Mediana agrupada	6,14	6,05	6,17	6,64
Mediana	6,00	6,00	6,00	7,00

A Figura 5.3 apresenta o boxplot dos benefícios que apresentaram diferenças significativas no teste de Mann-Whitney, em relação aos grupos de tamanho das empresas. Por meio desse gráfico é possível observar os valores mínimos e máximos das respostas dos quatro benefícios.

Figura 5.3 Boxplot dos benefícios significativos por tamanho da empresa



Foram criadas tabelas de referências cruzadas e histogramas para os quatro benefícios que se mostraram significativos em relação ao tamanho das empresas. Os respondentes que optaram na escala Likert por avaliar as afirmativas nas medidas 5, 6 e 7 parecem concordar com as assertivas, considerando que o número 7 apresenta o grau mais forte de concordância. Os respondentes que optaram por avaliar as afirmativas nas medidas 1, 2 e 3 parecem discordar das assertivas, considerando que o número 1 apresenta o grau mais forte de discordância. Os respondentes que optaram por avaliar as afirmativas na medida 4 parecem não concordar ou discordar das assertivas.

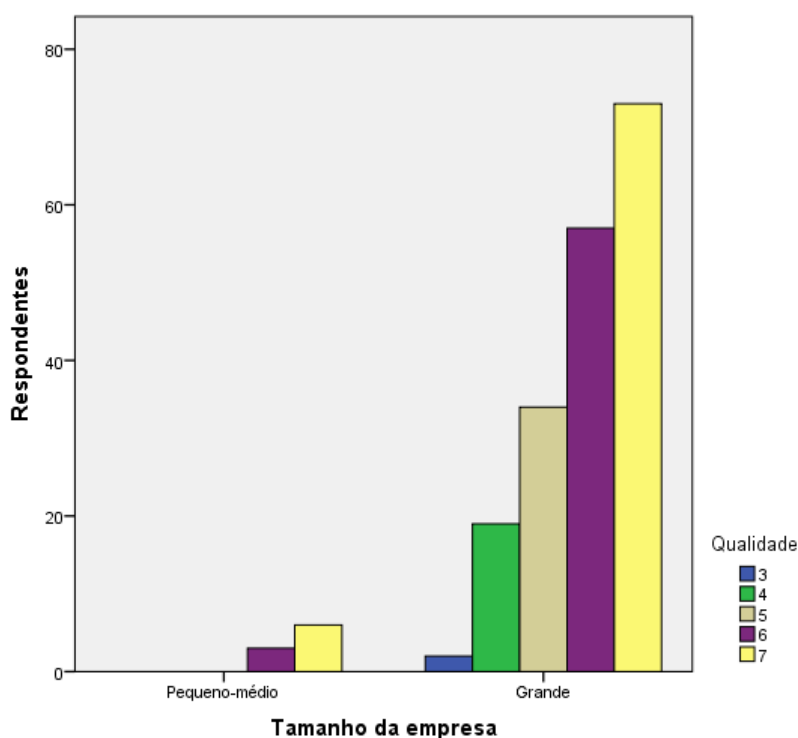
A tabela 5.11 e a Figura 5.4 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício aumento da qualidade de acordo com o tamanho da empresa. Por meio dela é possível observar que todos os respondentes das empresas de porte pequeno-médio concordam que a adoção da Indústria 4.0 pode auxiliar no aumento da qualidade nas manufaturas. Em contrapartida, 2 (1,1%) respondentes das empresas de grande porte não concordaram com essa afirmação e 19 (10,3%) se mostraram neutros, ou seja, não concordam e nem

discordam que o aumento da qualidade é um benefício que provém da adoção da Indústria 4.0. Dessa forma, os respondentes das empresas de tamanho pequeno-médio avaliam a melhoria da qualidade como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas grandes.

Tabela 5.11 Tabela de referência cruzada entre qualidade e tamanho da empresa

Tamanho da empresa	Qualidade					Total
	3	4	5	6	7	
<i>Pequeno-médio</i>						
Contagem				3	6	9
%				33,3%	66,7%	100,0%
<i>Grande</i>						
Contagem	2	19	34	57	73	185
%	1,1%	10,3%	18,4%	30,8%	39,5%	100,0%

Figura 5.4 Histograma entre qualidade e tamanho da empresa



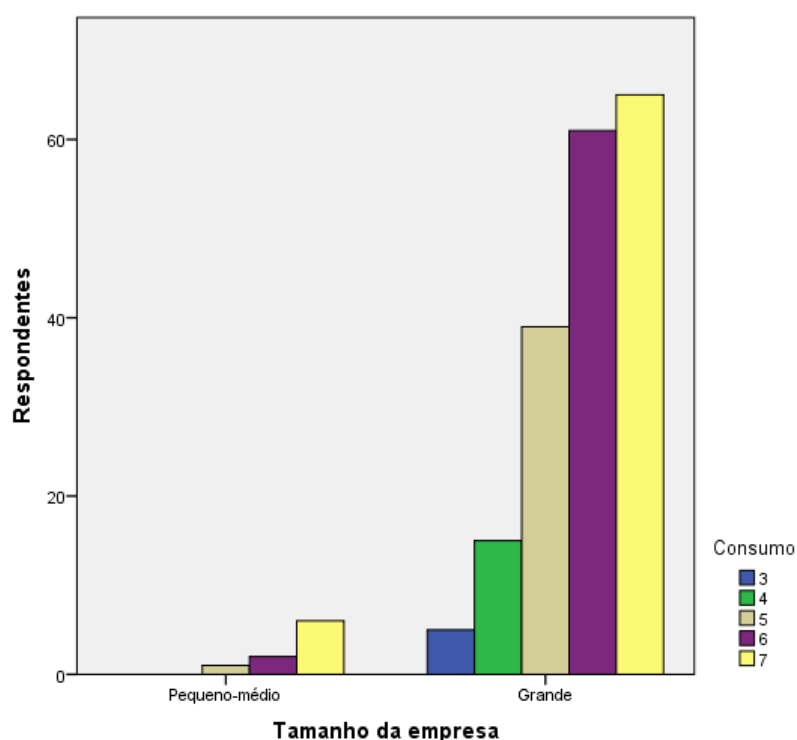
A tabela 5.12 e a Figura 5.5 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício redução no consumo de recursos de acordo com o tamanho da empresa. Por meio dela é possível observar

que todos os respondentes das empresas de porte pequeno-médio parecem concordar que a adoção da Indústria 4.0 pode auxiliar na redução no consumo de recursos nas manufaturas. Em contrapartida, 5 (2,7%) respondentes das empresas de grande porte não concordaram com essa afirmação e 15 (8,1%) se mostraram neutros, ou seja, não concordam e nem discordam que a redução no consumo dos recursos é um benefício que provém da adoção da Indústria 4.0. Dessa forma, os respondentes das empresas de tamanho pequeno-médio avaliam a redução do consumo de recursos como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas grandes.

Tabela 5.12 Tabela de referência cruzada entre consumo e tamanho da empresa

Tamanho da empresa	Consumo					Total
	3	4	5	6	7	
<i>Pequeno-médio</i>						
Contagem			1	2	6	9
%			11,1%	22,2%	66,7%	100,0%
<i>Grande</i>						
Contagem	5	15	39	61	65	185
%	2,7%	8,1%	21,1%	33,0%	35,1%	100,0%

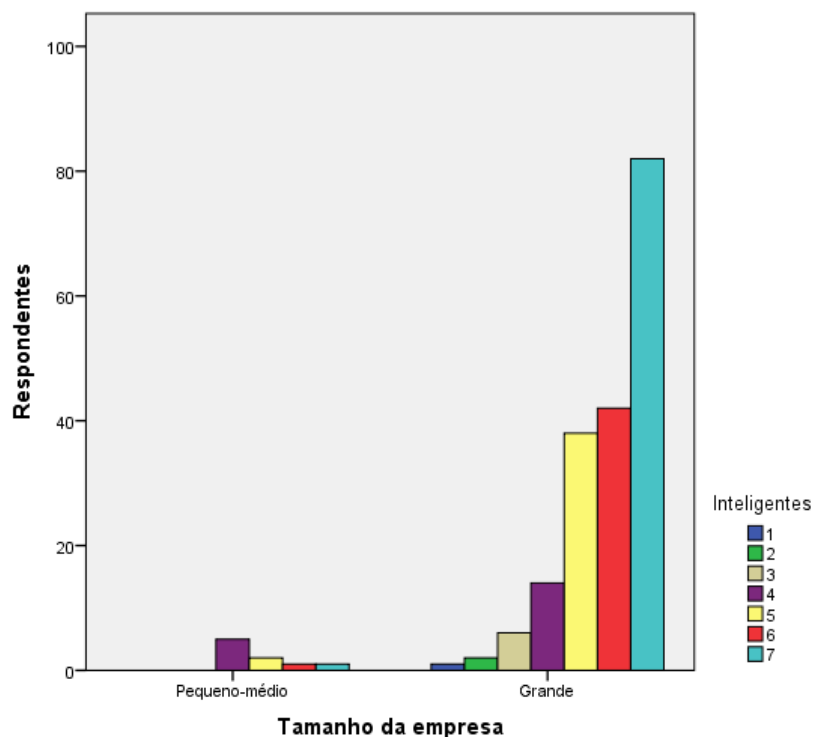
Figura 5.5 Histograma entre consumo e tamanho da empresa



A tabela 5.13 e a Figura 5.6 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício fabricação de produtos inteligentes de acordo com o tamanho da empresa. Por meio dela é possível observar que 5 (55,6%) dos respondentes das empresas de tamanho pequeno-médio não concordam e nem discordam que esse benefício provém da adoção da Indústria 4.0, os outros 4 respondentes (44,4%) parecem concordar que a fabricação de produtos inteligentes é um benefício advindo da adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de porte grande é possível perceber que houve respostas em todos os níveis de concordância da assertiva, distribuídos da seguinte forma: 9 (4,8%) parecem discordar da afirmação, 14 (7,6%) não concordam e nem discordam e 162 (87,5%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 gera o benefício de fabricação de produtos inteligentes. Dessa forma, os respondentes das empresas de tamanho grande avaliam a fabricação de produtos inteligentes como um benefício mais importante proveniente da implementação da indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas pequeno-médias.

Tabela 5.13 Tabela de referência cruzada entre produtos inteligentes e tamanho da empresa

Tamanho da empresa	Inteligentes							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Pequeno-médio</i>								
Contagem				5	2	1	1	9
%				55,6%	22,2%	11,1%	11,1%	100,0%
<i>Grande</i>								
Contagem	1	2	6	14	38	42	82	185
%	0,5%	1,1%	3,2%	7,6%	20,5%	22,7%	44,3%	100,0%

Figura 5.6 Histograma entre produtos inteligentes e tamanho da empresa

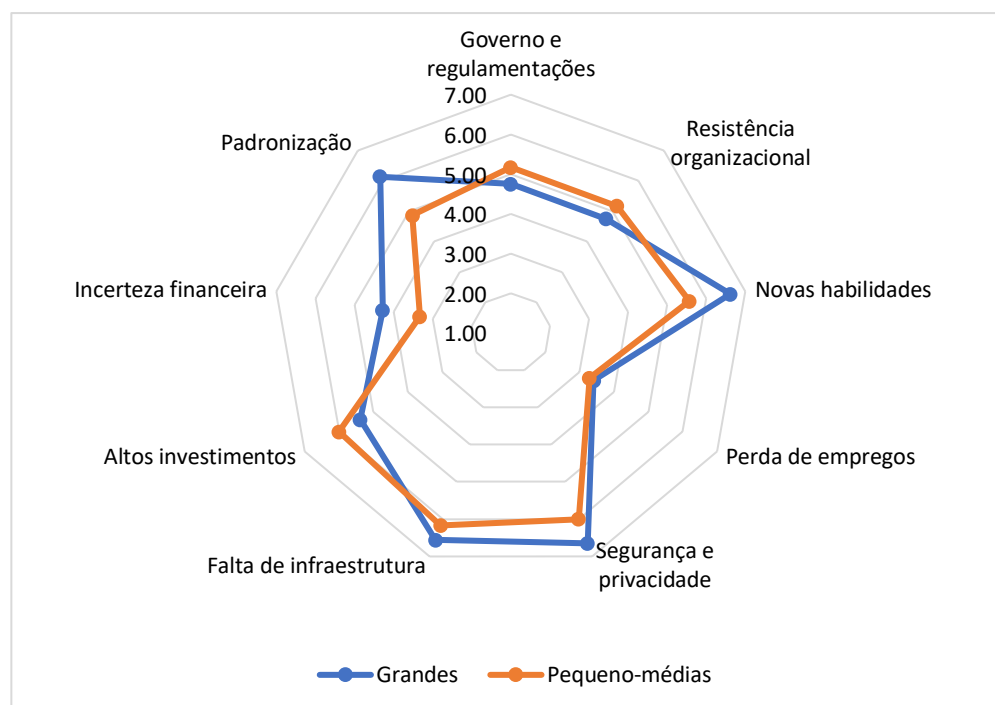
A tabela 5.14 e a Figura 5.7 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício apoio na tomada de decisões de acordo com o tamanho da empresa. Por meio dela é possível observar que 8 (89,9%) respondentes das empresas de porte pequeno-médio parecem concordar que a adoção da Indústria 4.0 pode apoiar a tomada de decisões nas manufaturas. Nas empresas de grande porte, apenas 2 (1,1%) respondentes não concordam e nem discordam da afirmação e 183 (98,9%) concordam que o apoio na tomada de decisões é um benefício que provém da adoção da Indústria 4.0. Dessa forma, os respondentes das empresas de tamanho grande avaliam o apoio na tomada de decisões como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas pequeno-médias.

Tabela 5.14 Tabela de referência cruzada entre tomada de decisões e tamanho da empresa

Tamanho da empresa	Decisões				Total
	4	5	6	7	
<i>Pequeno-médio</i>					
Contagem	1	4	2	2	9
%	11,1%	44,4%	22,2%	22,2%	100,0%
<i>Grande</i>					
Contagem	2	15	44	124	185

Falta de infraestrutura	6,37	7,00	6,56	5,56	6,00	6,17
Altos investimentos	5,30	5,00	5,38	6,00	6,00	6,00
Incerteza financeira	4,19	4,00	4,28	3,44	3,00	3,33
Padronização	5,86	6,00	6,13	4,78	6,00	4,86

Figura 5.8 Medianas das respostas das barreiras por tamanho das empresas



A Tabela 5.16 apresenta as comparações, pelo teste de Mann-Whitney, entre as barreiras e as empresas de tamanho pequeno-médio e grande. Dessa forma é possível observar que três barreiras apresentaram diferenças significativas no teste: demanda por novas habilidades dos empregados (Habilidades), segurança dos dados e privacidade (Segurança) e a padronização dos sistemas (Padronização). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção dessas três barreiras entre as empresas de porte pequeno-médio e grande.

Tabela 5.16 Teste Mann-Whitney das barreiras por tamanho da empresa

Barreiras	Rank Médio (Pequeno-médio)	Rank Médio (Grande)	Mann-Whitney <i>p</i> valor
Governo e regulamentações	106,61	97,06	0,612
Resistência organizacional	113,00	96,75	0,387
Novas habilidades dos empregados	49,56	99,83	0,002**
Perda de empregos	95,00	97,62	0,890
Segurança dos dados e privacidade	48,00	99,91	0,001***

Falta de infraestrutura	75,44	98,57	0,166
Altos investimentos	125,00	96,16	0,117
Incerteza dos resultados financeiros	72,44	98,72	0,164
Padronização	56,78	99,48	0,019*

Nota.

+p<0.1

*p<0.05

**p<0.01

***p<0.001

A Figura 5.9 apresenta as medianas agrupadas das três barreiras que apresentaram resultados estatisticamente significativos no teste de Mann-Whitney. A Tabela 5.17 apresenta as médias e medianas dessas barreiras. Por meio dessas informações é possível perceber que as barreiras demanda por novas habilidades dos empregados, segurança dos dados e privacidade e a padronização dos sistemas foram considerados mais importantes pelas empresas de grande porte.

Figura 5.9 Gráfico de barras das barreiras significativas por tamanho de empresa

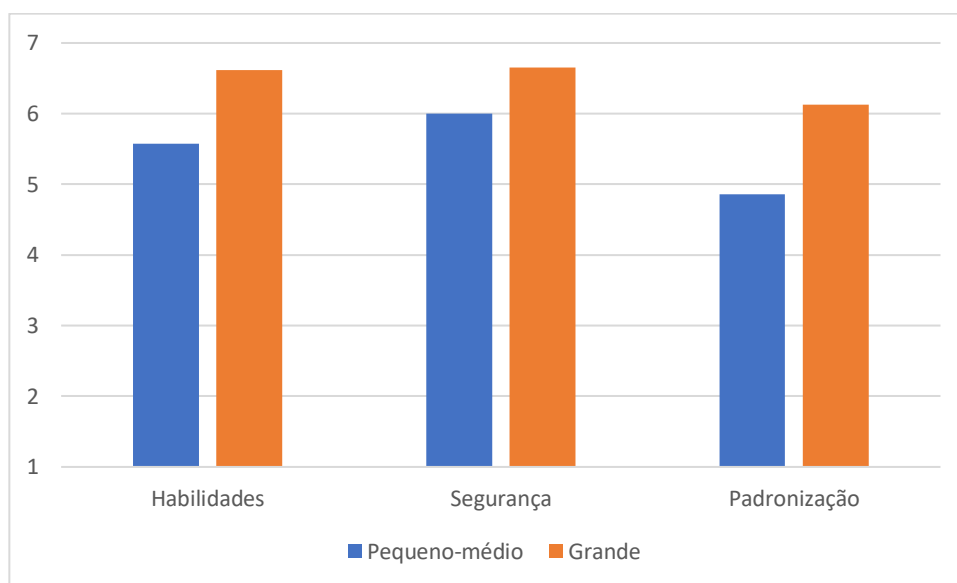


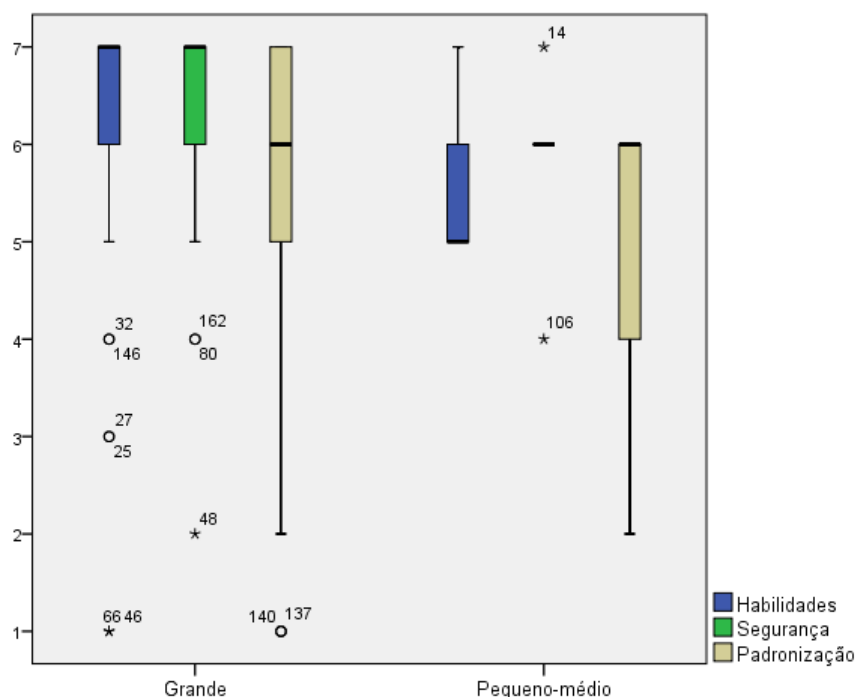
Tabela 5.17 Resumo das barreiras significativas por tamanho de empresa

Origem do capital	Habilidades	Segurança	Padronização
<i>Pequeno-médio</i>			
Média	5,67	5,89	4,78
Mediana agrupada	5,57	6,00	4,86
Mediana	5,00	6,00	6,00
<i>Grande</i>			
Média	6,47	6,57	5,86

Mediana agrupada	6,62	6,65	6,13
Mediana	7,00	7,00	6,00

A Figura 5.10 apresenta o boxplot das barreiras que apresentaram diferenças significativas no teste de Mann-Whitney, em relação aos grupos de tamanho das empresas. Por meio desse gráfico é possível observar os valores mínimos e máximos das respostas das três barreiras.

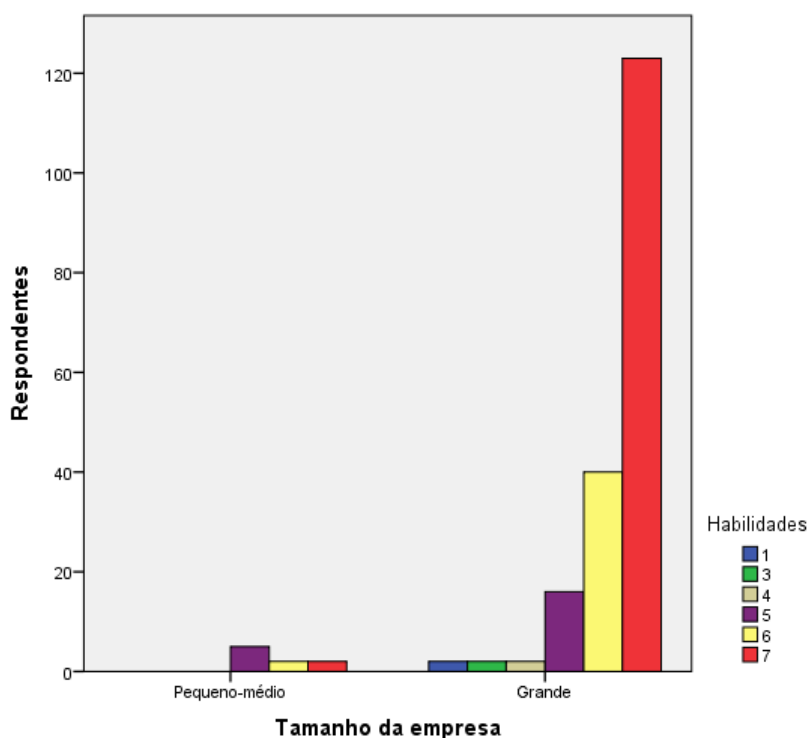
Figura 5.10 Boxplot das barreiras significativas por tamanho da empresa



A tabela 5.18 e a Figura 5.11 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira demanda por novas habilidades dos empregados de acordo com o tamanho da empresa. Por meio dela é possível observar que todos os respondentes das empresas de porte pequeno-médio parecem concordar que a demanda por novas habilidades dos empregados é um desafio na adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de porte grande é possível perceber que houve respostas em quase todos os níveis de concordância da assertiva, distribuídos da seguinte forma: 4 (2,2%) parecem discordar da afirmação, 2 (1,1%) não concordam e nem discordam e 179 (96,7%) concordam que a demanda por novas habilidades dos empregados é uma importante barreira para adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas. Dessa forma, os respondentes das empresas de tamanho grande avaliam a demanda por novas habilidades dos empregados como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas pequeno-médias.

Tabela 5.18 Tabela de referência cruzada entre habilidades e tamanho da empresa.

Tamanho da empresa	Habilidades						Total
	1	3	4	5	6	7	
<i>Pequeno-médio</i>							
Contagem				5	2	2	9
%				55,6%	22,2%	22,2%	100,0%
<i>Grande</i>							
Contagem	2	2	2	16	40	123	185
%	1,1%	1,1%	1,1%	8,6%	21,6%	66,5%	100,0%

Figura 5.11 Histograma entre habilidades e tamanho da empresa

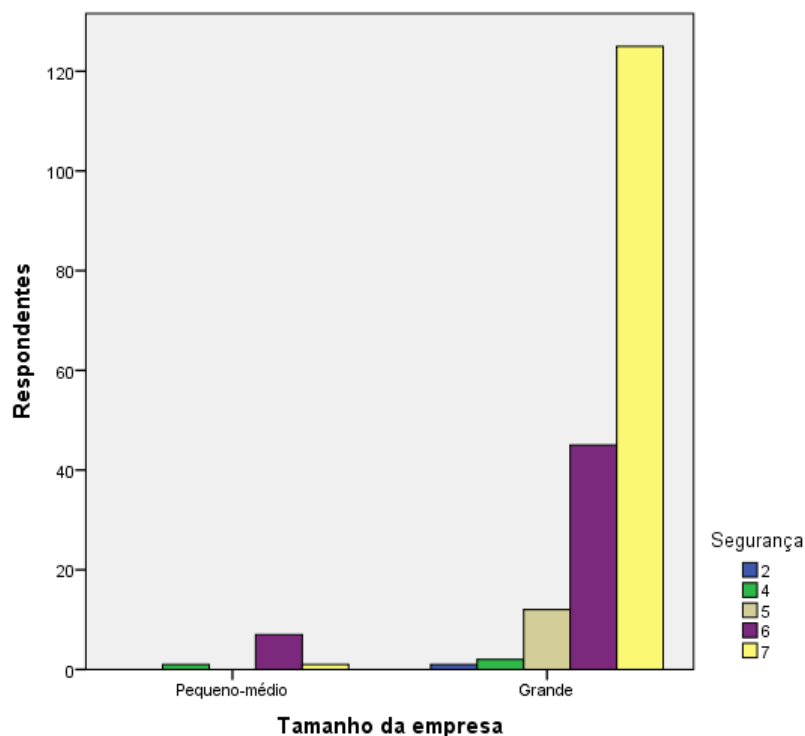
A tabela 5.19 e a Figura 5.12 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira segurança dos dados e privacidade de acordo com o tamanho da empresa. Por meio dela é possível observar que 8 (88,9%) respondentes das empresas de porte pequeno-médio parecem concordar que segurança dos dados e privacidade é um desafio na adoção da Indústria 4.0, apenas 1 (11,1%) respondente não concorda e nem discorda da afirmação. Nas empresas de porte grande é possível perceber que houve respostas em diversos níveis de concordância da assertiva, distribuídos da seguinte forma: 1 (0,5%) parece discordar da afirmação, 2 (1,1%) não concordam e nem discordam e 182 (98,4%) concordam que a segurança dos dados e privacidade é uma importante barreira para adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas. Dessa forma os respondentes das empresas de tamanho grande

avaliam a segurança dos dados e privacidade como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas pequeno-médias.

Tabela 5.19 Tabela de referência cruzada entre segurança e tamanho da empresa.

Tamanho da empresa	Segurança					Total
	2	4	5	6	7	
<i>Pequeno-médio</i>						
Contagem		1		7	1	9
%		11,1%		77,8%	11,1%	100,0%
<i>Grande</i>						
Contagem	1	2	12	45	125	185
%	0,5%	1,1%	6,5%	24,3%	67,6%	100,0%

Figura 5.12 Histograma entre segurança e tamanho da empresa



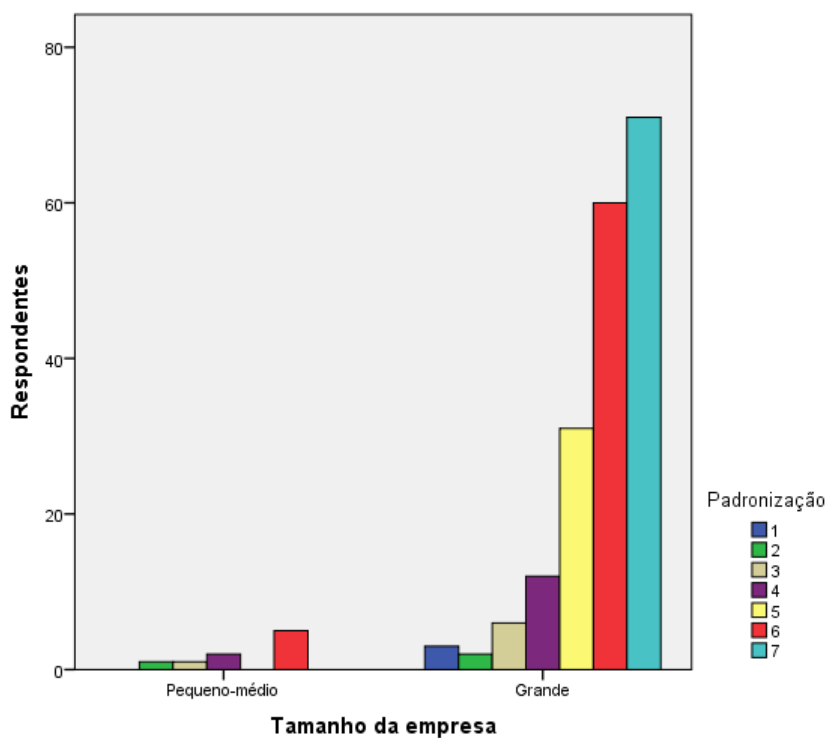
A tabela 5.20 e a Figura 5.13 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira padronização dos sistemas de acordo com o tamanho da empresa. Por meio dela é possível observar que 5 (55,6%) respondentes das empresas de porte pequeno-médio parecem concordar que a padronização dos sistemas é um desafio na adoção da Indústria 4.0, 2 (22,2%) respondentes não concordam e nem discordam da afirmação e 2 (22,2%) dos

respondentes discordam da assertiva. Nas empresas de porte grande é possível perceber que houve respostas em todos os níveis de concordância da assertiva, distribuídos da seguinte forma: 11 (5,9%) parecem discordar da afirmação, 12 (6,5%) não concordam e nem discordam e 162 (87,6%) concordam que a padronização dos sistemas é uma importante barreira para adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas. Dessa forma, os respondentes das empresas de tamanho grande avaliam a padronização dos sistemas como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas pequeno-médias.

Tabela 5.20 Tabela de referência cruzada entre padronização e tamanho da empresa

Tamanho da empresa	Padronização							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Pequeno-médio</i>								
Contagem		1	1	2		5		9
%		11,1%	11,1%	22,2%		55,6%		100,0%
<i>Grande</i>								
Contagem	3	2	6	12	31	60	71	185
%	1,6%	1,1%	3,2%	6,5%	16,8%	32,4%	38,4%	100,0%

Figura 5.13 Histograma entre padronização e tamanho da empresa



5.2.1.3 Discussão dos resultados em relação ao Tamanho das empresas

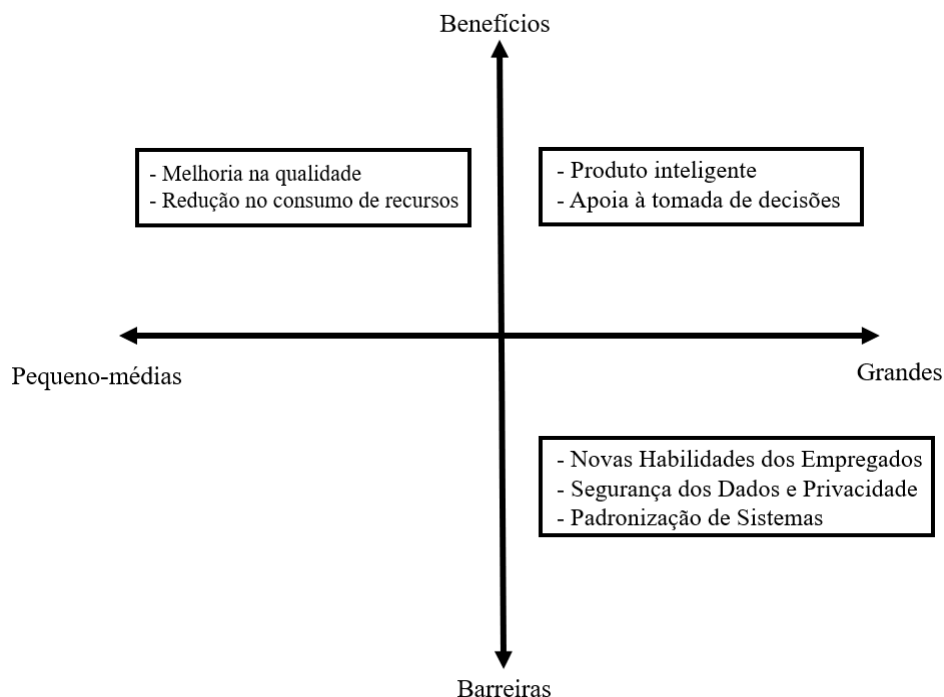
Esse tópico apresenta uma discussão e síntese dos principais resultados encontrados na pesquisa sobre os benefícios e barreiras em relação ao fator organizacional tamanho das empresas.

Os benefícios aumento na qualidade e redução no consumo de recursos foram avaliados como mais importante pelos respondentes das empresas de tamanho pequeno-médio em comparação com os respondentes de empresas grandes, dessa forma esses benefícios, mais operacionais, decorrentes da implementação da Indústria 4.0, são avaliados como mais importantes pelas empresas de porte pequeno-médio do que pelas empresas grandes. Por outro lado, os benefícios fabricação de produtos inteligentes e apoio no processo de tomada de decisões foram avaliados como mais importante pelos respondentes das empresas de tamanho grande em comparação com os respondentes de empresas pequeno-médio, dessa forma esses benefícios, de natureza mais gerencial e estratégica, são avaliados como mais importantes pelas empresas de porte grande do que pelas empresas pequeno-médias.

As barreiras demanda por novas habilidades dos empregados, segurança dos dados e privacidade e padronização dos sistemas foram avaliadas como mais importante pelos respondentes das empresas de tamanho grande em comparação com os respondentes de empresas pequeno-médio.

A Figura 5.14 apresenta a síntese dos resultados encontrados em relação ao tamanho das empresas numa disposição que mostra, nos quadrantes, os benefícios e barreiras avaliados como mais importantes pelas empresas grandes em relação às avaliações das empresas pequeno-médias e vice-versa.

Figura 5.14 Síntese dos resultados em relação ao Tamanho das empresas



Os resultados encontrados apresentam concordância com trabalhos da literatura pesquisada, que descobriram que as empresas de porte pequeno-médio geralmente priorizam a implementação de tecnologias de Indústria 4.0 que impactam a produtividade e qualidade dos seus processos manufatureiros enquanto as empresas grandes tendem a adotar novas tecnologias com intuito de suportar aspectos mais gerenciais e estratégicos da organização, tal como o apoio em tomadas de decisões, e não se restringem ao uso de tecnologias apenas com o objetivo de melhorar os processos produtivos (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Moeuf et al., 2018).

As empresas grandes tendem a adotar as tecnologias da Indústria 4.0 devido a motivações internas mais relacionadas a aspectos e objetivos estratégicos da empresa, por outro lado as implementações das tecnologias digitais em empresas de tamanho pequeno-médio geralmente são motivadas por fatores mais externos, com objetivos de satisfazer requisitos operacionais estabelecidas para competir nos mercados. Dessa forma as organizações de porte pequeno-médio adotam a Indústria 4.0 para atender melhor às demandas do mercado devido as melhorias operacionais que esse novo paradigma industrial promove nas manufaturas, tais como o aumento na produtividade, na qualidade e na flexibilidade das linhas de produção (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Calabrese, Ghiron & Tiburzi, 2020; Prause, 2019). Moeuf et al. (2018) constataram que as empresas de tamanho pequeno-médio geralmente adotam tecnologias que exigem menos investimentos financeiros e características disruptivas, como por exemplo a computação em nuvem, negligenciando a adoção de tecnologias mais aprimoradas que promovem benefícios mais estratégicos para as organizações, como por exemplo o big data, a robótica e os sistemas ciber-físicos.

Por outro lado, os resultados encontrados, pela pesquisa, em relação às barreiras para implementação da indústria 4.0, mostram que as empresas grandes apresentam maiores preocupações, isto é, avaliam mais barreiras como mais significativamente importantes se comparadas às empresas de pequeno-médio porte. Neste sentido, estes resultados estão em concordância com alguns trabalhos (Horváth & Szabó, 2019; Zheng et al., 2019) sobre o tema que descobriram que as grandes empresas parecem ser mais informadas em relação às barreiras de adoção da Indústria 4.0. Zheng et al. (2019) examinaram 103 manufaturas italianas e os seus resultados demonstram que as empresas de porte grande possuem melhores condições para capturar mais informações acerca do potencial da utilização e desafios das tecnologias da Indústria 4.0 em comparação com empresas menores. Dessa forma, as empresas maiores tendem a possuir um maior conhecimento em relação aos potenciais desafios inerentes ao processo de implementação desse novo paradigma industrial nas manufaturas.

Os resultados encontrados nesta pesquisa de que a barreira de novas demandas de habilidades dos empregados é avaliada como mais importante pelos respondentes das empresas grandes em comparação aos respondentes das empresas pequeno-médias está em desacordo com a pesquisa de Rauch, Dallasega e Unterhofer (2019), a qual destaca que nas empresas de porte pequeno-médio essa barreira é mais relevante visto que essas organizações possuem uma escassez de profissionais altamente qualificados em relação as grandes empresas.

5.2.2 Análise das respostas em relação à origem do capital

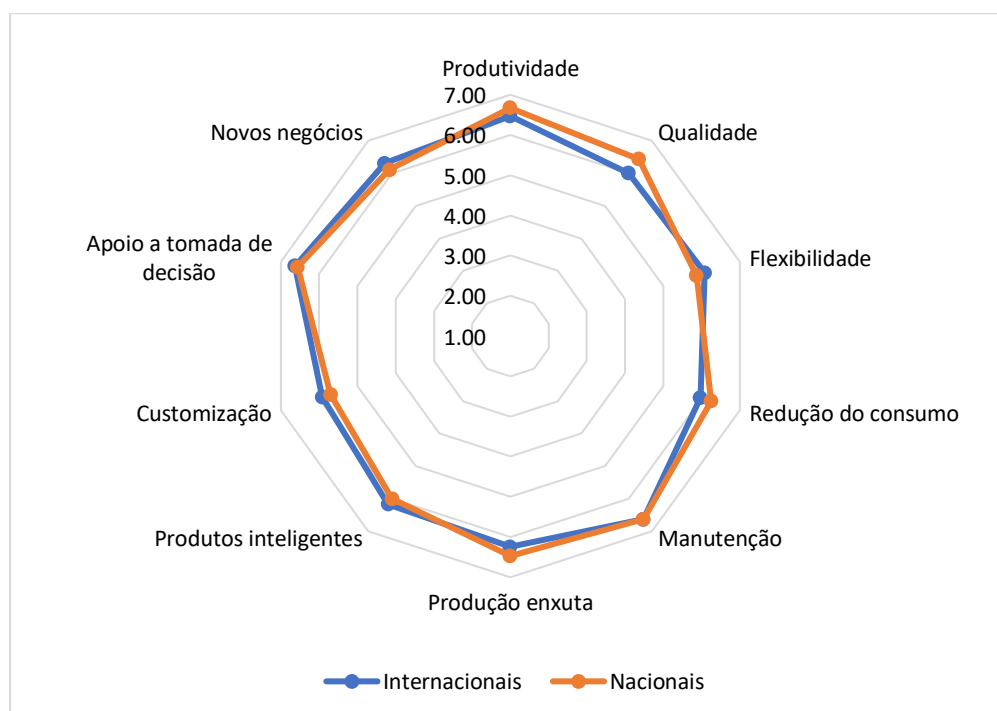
As empresas foram divididas em dois grupos distintos de acordo com a origem do capital, que são nacional e internacional. Primeiramente será analisado se as empresas de origem de capital nacional e internacional possuem diferenças estatisticamente significativas nas opiniões dos respondentes relativas aos efeitos dos benefícios identificados na adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas e posteriormente essa mesma análise será feita com as barreiras de implementação.

5.2.2.1 Análise das respostas sobre os benefícios

A Tabela 5.21 apresenta as médias e medianas das respostas de todos os benefícios pela origem de capital. A Figura 5.15 apresenta o gráfico de radar com os valores das medianas agrupadas de todos os benefícios pela origem de capital. Por meio dessas informações é possível perceber que, independentemente da origem do capital, os respondentes das empresas deram, no geral, grande importância aos benefícios decorrentes da adoção da Indústria 4.0. Alguns benefícios estratégicos para a empresa, tais como criação de novos negócios, apoio na tomada de decisão, customização e produtos inteligentes, foram avaliados como um pouco mais importante pelos respondentes das empresas internacionais em comparação com os das empresas nacionais. Por outro lado os benefícios de natureza mais operacional, tais como o aumento na produtividade, aumento na qualidade, redução no consumo de recursos e produção enxuta foram mais bem avaliados pelos respondentes das empresas nacionais em comparação com os das empresas internacionais.

Tabela 5.21 Médias e medianas das respostas dos benefícios por origem de capital

Origem de capital	Empresas Internacionais			Empresas Nacionais		
	Média	Mediana	Mediana agrupada	Média	Mediana	Mediana agrupada
Produtividade	6,34	7,00	6,47	6,64	7,00	6,67
Qualidade	5,85	6,00	6,00	6,31	7,00	6,44
Flexibilidade	5,87	6,00	6,08	5,80	6,00	5,87
Redução do consumo	5,84	6,00	5,97	6,11	6,00	6,25
Manutenção	6,54	7,00	6,63	6,53	7,00	6,63
Produção enxuta	6,00	6,00	6,24	6,42	7,00	6,47
Produtos inteligentes	5,92	6,00	6,17	5,75	6,00	6,00
Customização	5,75	6,00	5,92	5,67	6,00	5,70
Apoio a tomada de decisão	6,56	7,00	6,63	6,44	7,00	6,56
Novos negócios	6,05	7,00	6,31	5,92	6,00	6,11

Figura 5.15 Medianas das respostas dos benefícios por tamanho das empresas

A Tabela 5.22 apresenta as comparações, pelo teste de Mann-Whitney, entre os benefícios e as empresas de capital nacional e internacional. Dessa forma é possível observar que quatro benefícios apresentaram diferenças significativas no teste: aumento na produtividade/eficiência (Produtividade), aumento na qualidade (Qualidade), a redução no consumo de recursos (Consumo) e a implementação de técnicas de produção enxuta (Enxuta). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção desses quatro benefícios entre as empresas de capital nacional e internacional.

Tabela 5.22 Teste Mann-Whitney dos benefícios por origem do capital

Benefícios	Rank Médio (Nacional)	Rank Médio (Internacional)	Mann-Whitney <i>p</i> valor
Aumento na produtividade/eficiência	108,05	92,30	0,036*
Aumento na qualidade	113,42	89,66	0,003**
Flexibilidade na produção	92,52	99,95	0,365
Redução no consumo de recursos	106,73	92,96	0,092 ⁺
Monitoramento e reparo de máquinas	97,63	97,43	0,978
Produção enxuta	107,52	92,57	0,060 ⁺
Produtos inteligentes	92,22	100,10	0,333
Produtos customizados	93,16	99,63	0,432
Tomada de decisão	93,83	99,31	0,449

Novos modelos de negócios 91,00 100,70 0,227

Nota.

+p<0.1

*p<0.05

**p<0.01

***p<0.001

A Figura 5.16 apresenta as medianas agrupadas dos quatro benefícios que apresentaram resultados estatisticamente significativos no teste de Mann-Whitney. A Tabela 5.23 apresenta as médias e medianas desses benefícios. Por meio dessas informações é possível perceber que os benefícios aumento na produtividade/eficiência, aumento na qualidade, a redução no consumo de recursos e a implementação de técnicas de produção enxuta foram considerados mais importantes pelas empresas de capital nacional.

Figura 5.16 Gráfico de barras dos benefícios significativos por origem de capital

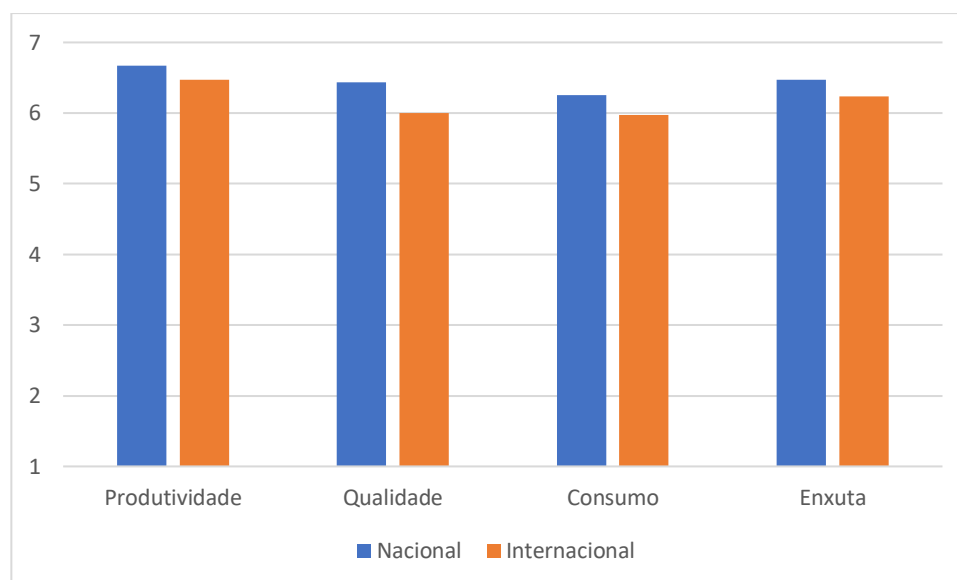


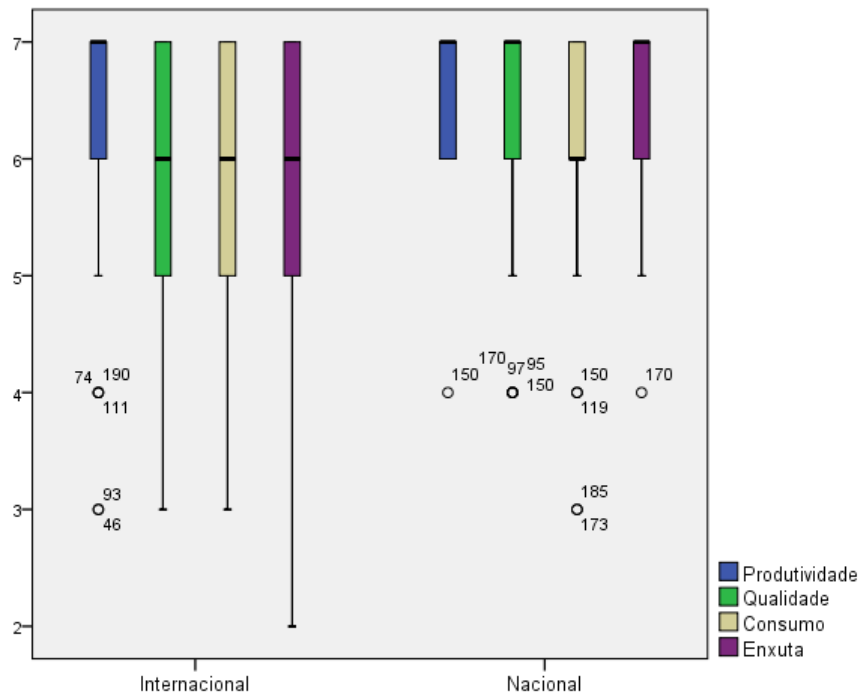
Tabela 5.23 Resumo dos benefícios significativos por origem do capital

Origem do capital	Produtividade	Qualidade	Consumo	Enxuta
<i>Nacional</i>				
Média	6,64	6,31	6,11	6,42
Mediana agrupada	6,67	6,44	6,25	6,47
Mediana	7,00	7,00	6,00	7,00
<i>Internacional</i>				
Média	6,34	5,85	5,84	6,00
Mediana agrupada	6,47	6,00	5,97	6,24

Mediana	7,00	6,00	6,00	6,00
---------	------	------	------	------

A Figura 5.17 apresenta o boxplot dos benefícios que apresentaram diferenças significativas no teste de Mann-Whitney, em relação aos grupos de origem do capital. Por meio desse gráfico é possível observar os valores mínimos e máximos das respostas dos quatro benefícios.

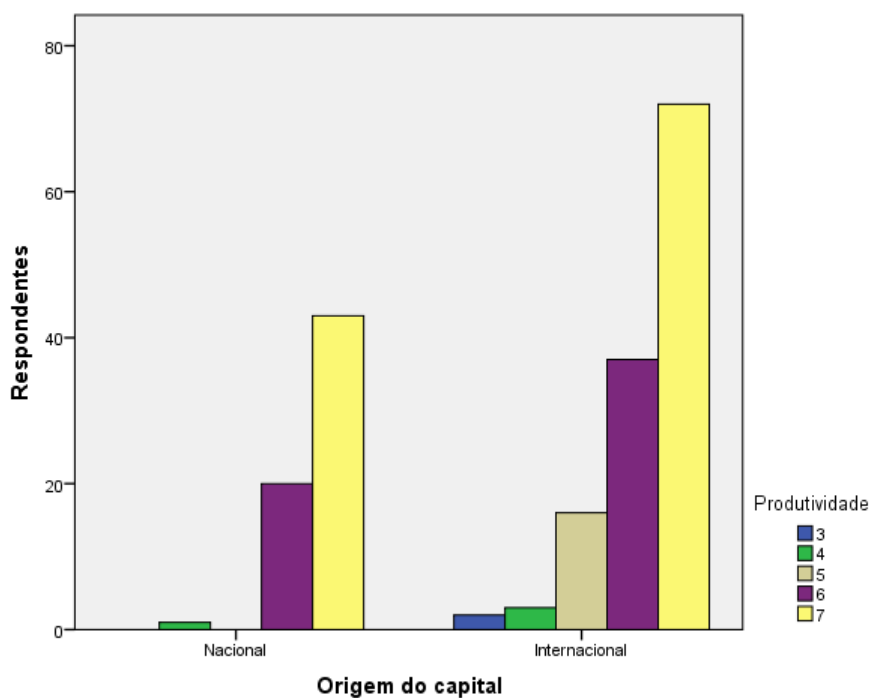
Figura 5.17 Boxplot dos benefícios significativos por origem do capital



A tabela 5.24 e a Figura 5.18 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício aumento na produtividade/eficiência de acordo com a origem do capital da empresa. Por meio dela é possível observar que 63 (98,5%) respondentes das empresas nacionais parecem concordar que a adoção da Indústria 4.0 pode auxiliar no aumento na produtividade/eficiência e apenas 1 (1,6%) não concorda e nem discorda com a assertiva. Nas empresas internacionais 2 (1,5%) não concordam que esse benefício provém da adoção da Indústria 4.0, 3 (2,3%) respondentes não concordam e nem discordam e 125 (96,2%) concordam com a afirmação. Dessa forma, os respondentes das empresas nacionais avaliam o aumento na produtividade/eficiência como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas internacionais.

Tabela 5.24 Tabela de referência cruzada entre produtividade e origem do capital

Origem do capital	Produtividade					Total
	3	4	5	6	7	
<i>Nacional</i>						
Contagem		1		20	43	64
%		1,6%		31,3%	67,2%	100,0%
<i>Internacional</i>						
Contagem	2	3	16	37	72	130
%	1,5%	2,3%	12,3%	28,5%	55,4%	100,0%

Figura 5.18 Histograma entre produtividade e origem do capital

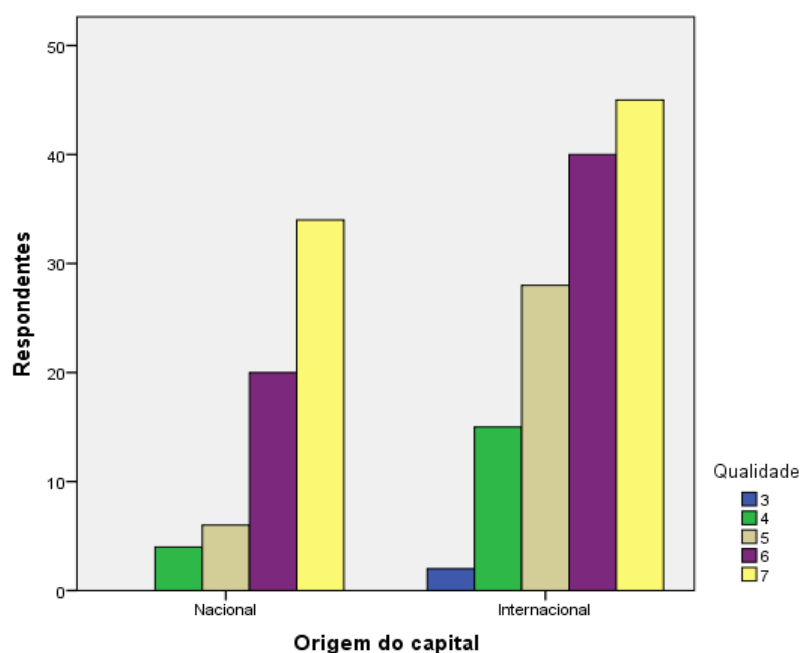
A tabela 5.25 e a Figura 5.19 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício aumento na qualidade de acordo com a origem do capital da empresa. Por meio dela é possível observar que 60 (93,7%) respondentes das empresas nacionais parecem concordar que a adoção da Indústria 4.0 pode auxiliar no aumento na qualidade nas manufaturas e apenas 4 (6,3%) não concordam e nem discordam com a assertiva. Nas empresas internacionais 2 (1,5%) não concordam que esse benefício provém da adoção da Indústria 4.0, 15 (11,5%) respondentes não concordam e nem discordam e 113 (87,0%) concordam com a afirmação. Dessa forma, os respondentes das empresas nacionais avaliam o aumento na qualidade como um benefício mais importante proveniente da

implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas internacionais.

Tabela 5.25 Tabela de referência cruzada entre qualidade e origem do capital

Origem do capital	Qualidade					Total
	3	4	5	6	7	
<i>Nacional</i>						
Contagem		4	6	20	34	64
%		6,3%	9,4%	31,3%	53,1%	100,0%
<i>Internacional</i>						
Contagem	2	15	28	40	45	130
%	1,5%	11,5%	21,5%	30,8%	34,6%	100,0%

Figura 5.19 Histograma entre qualidade e origem do capital



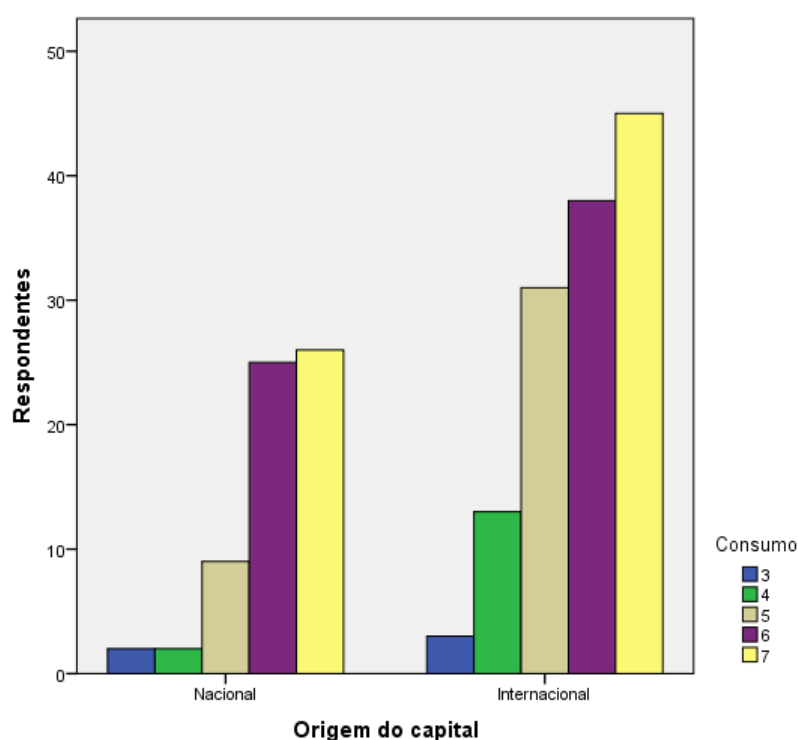
A tabela 5.26 e a Figura 5.20 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício redução no consumo de recursos de acordo com a origem do capital da empresa. Por meio dela é possível observar que 60 (93,8%) respondentes das empresas nacionais parecem concordar que a adoção da Indústria 4.0 pode auxiliar no aumento na qualidade nas manufaturas, 2 (3,1%) não concordam e nem discordam da assertiva e 2 (3,1%) discordam da afirmação. Nas empresas internacionais 3 (2,3%) não concordam que esse benefício provém da adoção da Indústria 4.0, 13 (10,0%) respondentes não concordam e nem discordam e 114 (87,7%) concordam com a afirmação. Dessa forma, os respondentes

das empresas nacionais avaliam a redução no consumo de recursos como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas internacionais.

Tabela 5.26 Tabela de referência cruzada entre consumo e origem do capital

Origem do capital	Consumo					Total
	3	4	5	6	7	
<i>Nacional</i>						
Contagem	2	2	9	25	26	64
%	3,1%	3,1%	14,1%	39,1%	40,6%	100,0%
<i>Internacional</i>						
Contagem	3	13	31	38	45	130
%	2,3%	10,0%	23,8%	29,2%	34,6%	100,0%

Figura 5.20 Histograma entre consumo e origem do capital



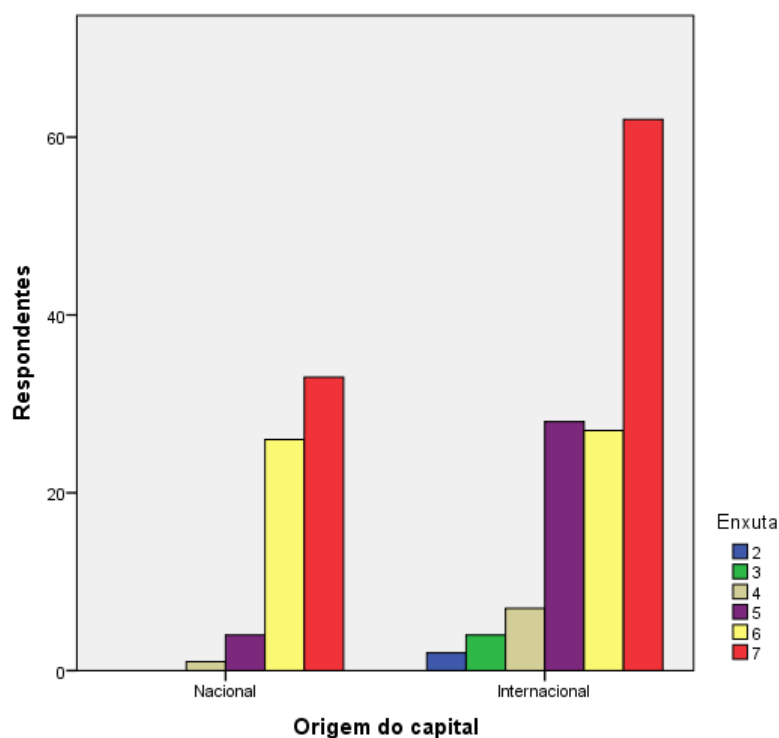
A tabela 5.27 e a Figura 5.21 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício implementação de técnicas de produção enxuta de acordo com a origem do capital da empresa. Por meio dela é possível observar que 63 (98,4%) respondentes das empresas nacionais parecem concordar que a adoção da Indústria 4.0 pode auxiliar na implementação de técnicas de produção enxuta nas manufaturas, apenas 1 (1,6%) respondente não concorda e nem discorda da assertiva. Nas empresas internacionais 6 (4,6%) não concordam que esse

benefício provém da adoção da Indústria 4.0, 7 (5,4%) respondentes não concordam e nem discordam e 117 (90,0%) concordam com a afirmação. Dessa forma, os respondentes das empresas nacionais avaliam a implementação de técnicas de produção enxuta como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas internacionais.

Tabela 5.27 Tabela de referência cruzada entre produção enxuta e origem do capital

Origem do capital	Enxuta						Total
	2	3	4	5	6	7	
<i>Nacional</i>							
Contagem			1	4	26	33	64
%			1,6%	6,3%	40,6%	51,6%	100,0%
<i>Internacional</i>							
Contagem	2	4	7	28	27	62	130
%	1,5%	3,1%	5,4%	21,5%	20,8%	47,7%	100,0%

Figura 5.21 Histograma entre produção enxuta e origem do capital



5.2.2.2 Análise das respostas sobre as barreiras

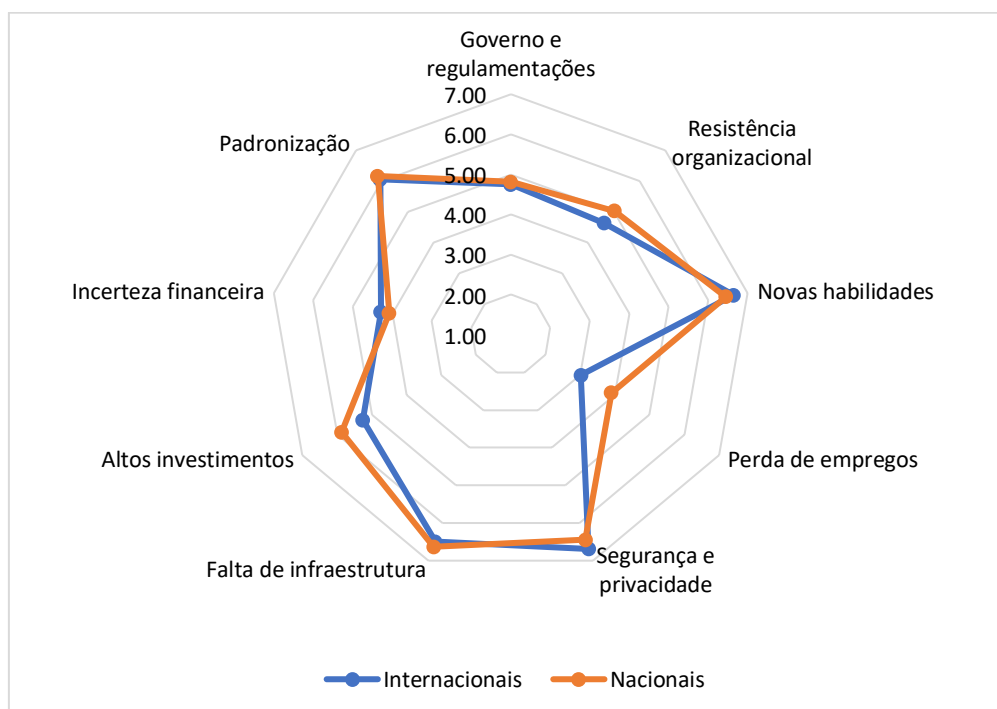
A Tabela 5.28 apresenta as médias e medianas das respostas de todas as barreiras pela origem de capital. A Figura 5.22 apresenta o gráfico de radar com os valores das medianas agrupadas de todas as barreiras pela origem de capital. Por meio

dessas informações é possível perceber que, independentemente da origem do capital, os respondentes das empresas deram, no geral, importância de forma parecida às barreiras decorrentes da adoção da Indústria 4.0. Todavia é importante destacar que as barreiras governo e regulamentações, resistência organizacional, perda de emprego, falta de infraestrutura, altos investimentos e padronização foram avaliadas como mais importante pelos respondentes das empresas nacionais em comparação aos das empresas internacionais. Por outro lado, as barreiras novas habilidades, segurança de dados e privacidade e incerteza financeira foram avaliadas como mais importante pelos respondentes das empresas internacionais em comparação aos das empresas nacionais.

Tabela 5.28 Médias e medianas das respostas das barreiras por origem de capital

Origem de capital	Empresas Internacionais			Empresas Nacionais		
	Média	Mediana	Mediana agrupada	Média	Mediana	Mediana agrupada
Governo e regulamentações	4,55	5,00	4,75	4,84	5,00	4,81
Resistência organizacional	4,50	5,00	4,63	4,88	5,00	5,03
Novas habilidades	6,46	7,00	6,65	6,38	7,00	6,45
Perda de empregos	3,28	3,00	3,02	3,86	4,00	3,90
Segurança e privacidade	6,63	7,00	6,69	6,34	7,00	6,45
Falta de infraestrutura	6,29	7,00	6,50	6,42	7,00	6,63
Altos investimentos	5,16	5,00	5,26	5,69	6,00	5,87
Incerteza financeira	4,19	4,00	4,29	4,09	4,00	4,08
Padronização	5,73	6,00	6,06	5,98	6,00	6,17

Figura 5.22 Medianas das respostas das barreiras por origem de capital



A Tabela 5.29 apresenta as comparações, pelo teste de Mann-Whitney, entre as barreiras e as empresas de capital nacional e internacional. Dessa forma é possível observar que quatro barreiras apresentaram diferenças significativas no teste: demanda por novas habilidades dos empregados (Habilidades), perda de empregos (Desemprego), segurança dos dados e privacidade (Segurança) e os altos investimentos (Investimentos). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção dessas quatro barreiras entre as empresas de capital nacional e internacional.

Tabela 5.29 Teste Mann-Whitney das barreiras por origem do capital

Barreiras	Rank Médio (Nacional)	Rank Médio (Internacional)	Mann-Whitney <i>p</i> valor
Governo e regulamentações	102,18	95,20	0,408
Resistência organizacional	105,87	93,38	0,137
Novas habilidades dos empregados	88,75	101,81	0,073 ⁺
Perda de empregos	110,98	90,87	0,017*
Segurança dos dados e privacidade	84,93	103,69	0,009**
Falta de infraestrutura	103,40	94,60	0,239
Altos investimentos	113,40	89,67	0,004**
Incerteza dos resultados financeiros	95,30	98,58	0,698
Padronização	102,30	95,14	0,381

Nota.

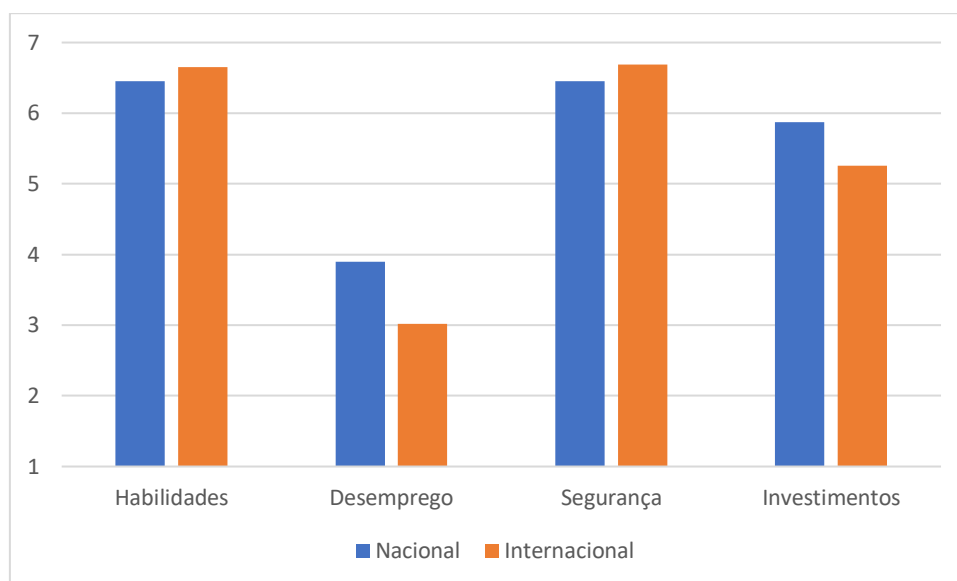
+ $p < 0.1$

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

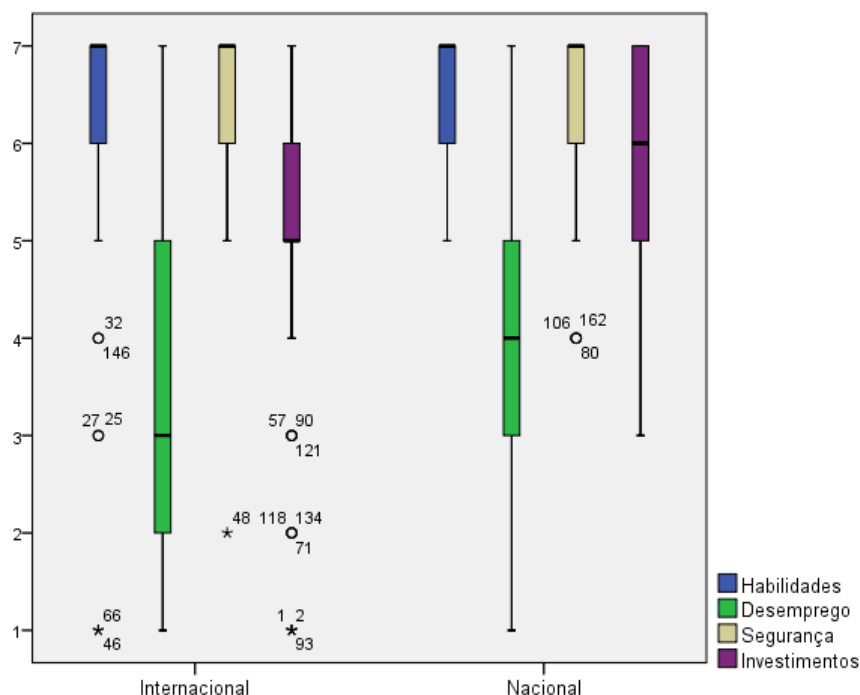
*** $p < 0.001$

A Figura 5.23 apresenta as medianas agrupadas das quatro barreiras que apresentaram resultados estatisticamente significativos no teste de Mann-Whitney. A Tabela 5.30 apresenta as médias e medianas dessas barreiras. Por meio dessas informações é possível perceber que as barreiras demanda por novas habilidades dos empregados e segurança dos dados e privacidade foram consideradas mais importantes pelas empresas de capital internacional, em contrapartida as barreiras perda de empregos e altos investimentos foram considerados mais importantes pelas empresas de capital nacional.

Figura 5.23 Gráfico de barras das barreiras significativas por origem de capital**Tabela 5.30** Resumo das barreiras significativas por origem do capital

Origem do capital	Habilidades	Desemprego	Segurança	Investimentos
<i>Nacional</i>				
Média	6,38	3,86	6,34	5,69
Mediana agrupada	6,45	3,90	6,45	5,87
Mediana	7,00	4,00	7,00	6,00
<i>Internacional</i>				
Média	6,46	3,28	6,63	5,16
Mediana agrupada	6,65	3,02	6,69	5,26
Mediana	7,00	3,00	7,00	5,00

A Figura 5.24 apresenta o boxplot das barreiras que apresentaram diferenças significativas no teste de Mann-Whitney, em relação aos grupos de origem de capital. Por meio desse gráfico é possível observar os valores mínimos e máximos das respostas das quatro barreiras.

Figura 5.24 Boxplot das barreiras significativas por origem do capital

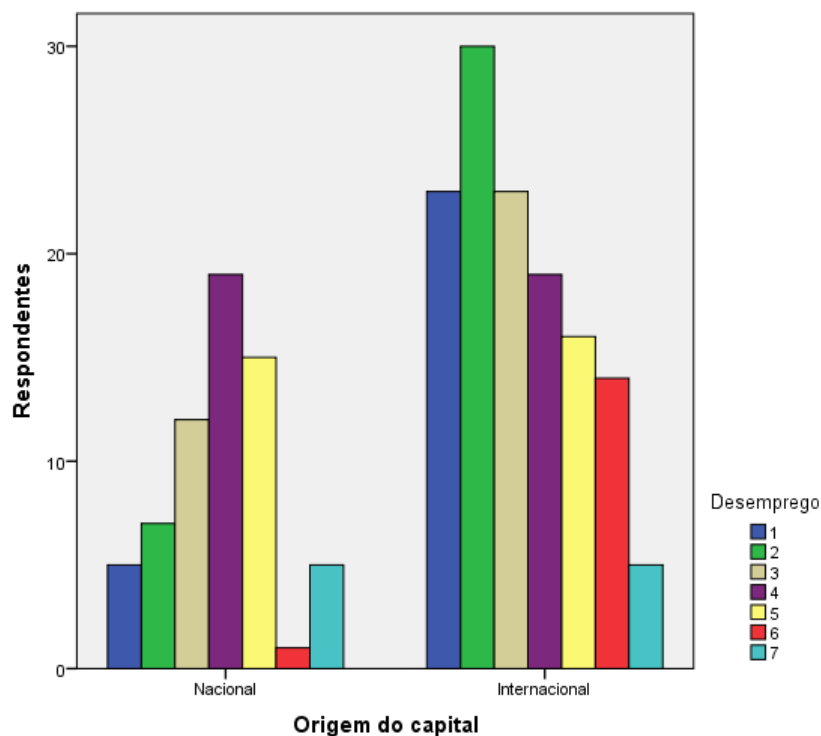
A tabela 5.31 e a Figura 5.25 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira demanda por novas habilidades dos empregados de acordo a origem do capital da empresa. Por meio dela é possível observar que todos os 64 respondentes das empresas nacionais parecem concordar que a demanda por novas habilidades é um desafio na adoção da Indústria 4.0. Nas empresas internacionais é possível perceber que houve respostas em diversos níveis de concordância da assertiva, distribuídos da seguinte forma: 4 (3,0%) parecem discordar da afirmação, 2 (1,5%) não concordam e nem discordam e 124 (95,5%) concordam que a demanda por novas habilidades dos empregados é uma importante barreira para adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas. Dessa forma, os respondentes das empresas nacionais avaliam a demanda por novas habilidades dos empregados como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas internacionais.

Tabela 5.31 Tabela de referência cruzada entre habilidades e origem do capital

Origem do capital	Habilidades						Total
	1	3	4	5	6	7	
<i>Nacional</i>							
Contagem				11	18	35	64
%				17,2%	28,1%	54,7%	100,0%
<i>Internacional</i>							
Contagem	2	2	2	10	24	90	130

Internacional

Contagem	23	30	23	19	16	14	5	130
%	17,7%	23,1%	17,7%	14,6%	12,3%	10,8%	3,8%	100,0%

Figura 5.26 Histograma entre desemprego e origem do capital

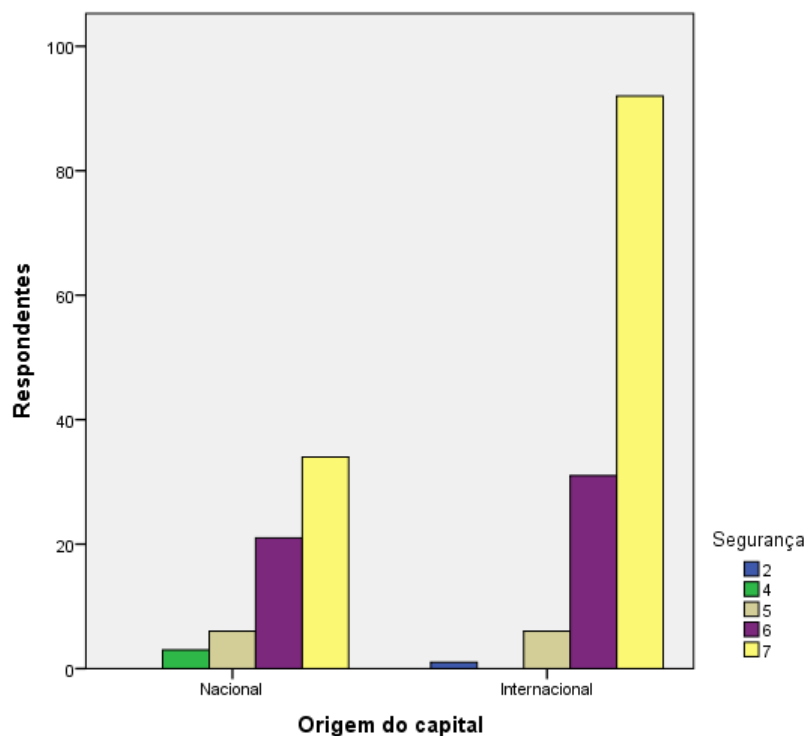
A tabela 5.33 e a Figura 5.27 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira segurança dos dados e privacidade de acordo a origem do capital da empresa. Por meio dela é possível observar que 61 (95,3%) respondentes das empresas nacionais parecem concordar que segurança dos dados e privacidade é um desafio na adoção da Indústria 4.0, apenas 3 respondentes (4,7%) não concordam e nem discordam da assertiva. Nas empresas internacionais 129 (99,2%) concordam que a segurança dos dados e privacidade é uma importante barreira para adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas, apenas 1 (0,8%) respondente discordou da afirmação. Dessa forma parece que as empresas internacionais avaliam a segurança dos dados e privacidade como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresa nacionais.

Tabela 5.33 Tabela de referência cruzada entre segurança e origem do capital

Origem do capital	Segurança					Total
	2	4	5	6	7	
<i>Nacional</i>						

Contagem	3	6	21	34	64
%	4,7%	9,4%	32,8%	53,1%	100,0%
<i>Internacional</i>					
Contagem	1	6	31	92	130
%	0,8%	4,6%	23,8%	70,8%	100,0%

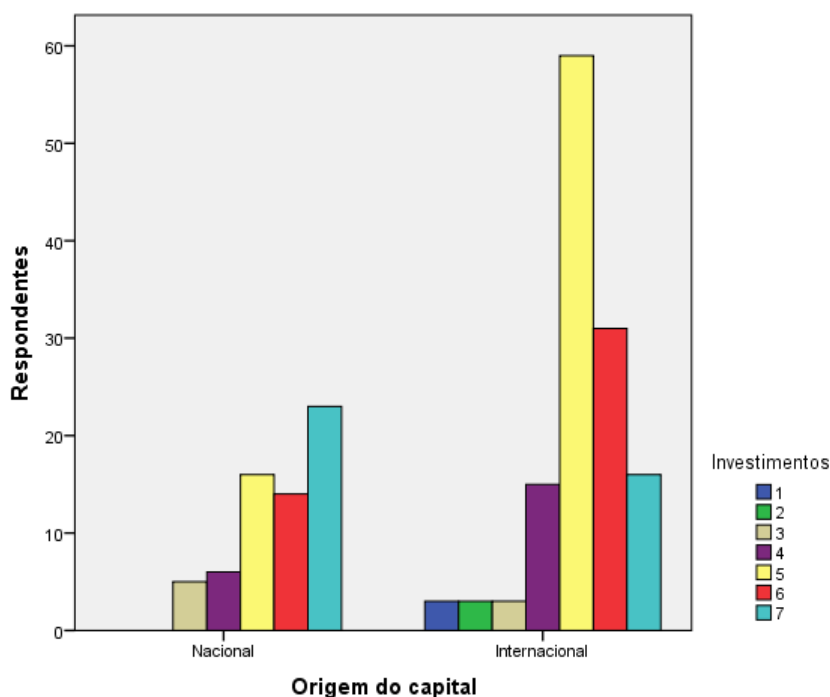
Figura 5.27 Histograma entre segurança e origem do capital



A tabela 5.34 e a Figura 5.28 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira altos investimentos de acordo a origem do capital da empresa. Por meio dela é possível observar que nas empresas nacionais houve respostas em diversos níveis de concordância da assertiva, distribuídos da seguinte forma: 5 (7,8%) parecem discordar da afirmação, 6 (9,4%) não concordam e nem discordam e 53 (82,8%) concordam que o alto investimento é uma importante barreira para adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas. Nas empresas internacionais houve respostas em todos os níveis de concordância da assertiva, distribuídos da seguinte forma: 9 (6,9%) parecem discordar da afirmação, 15 (11,5%) não concordam e nem discordam e 106 (81,6%) concordam que o alto investimento é uma importante barreira para adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas. Dessa forma parece que as empresas nacionais avaliam os altos investimentos como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas internacionais.

Tabela 5.34 Tabela de referência cruzada entre investimentos e origem do capital

Origem do capital	Investimentos							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Nacional</i>								
Contagem			5	6	16	14	23	64
%			7,8%	9,4%	25,0%	21,9%	35,9%	100,0%
<i>Internacional</i>								
Contagem	3	3	3	15	59	31	16	130
%	2,3%	2,3%	2,3%	11,5%	45,4%	23,8%	12,3%	100,0%

Figura 5.28 Histograma entre investimentos e origem do capital

5.2.2.3 Discussão dos resultados em relação à Origem do Capital

Esse tópico apresenta uma discussão e síntese dos principais resultados encontrados na pesquisa sobre os benefícios e barreiras em relação ao fator organizacional origem do capital.

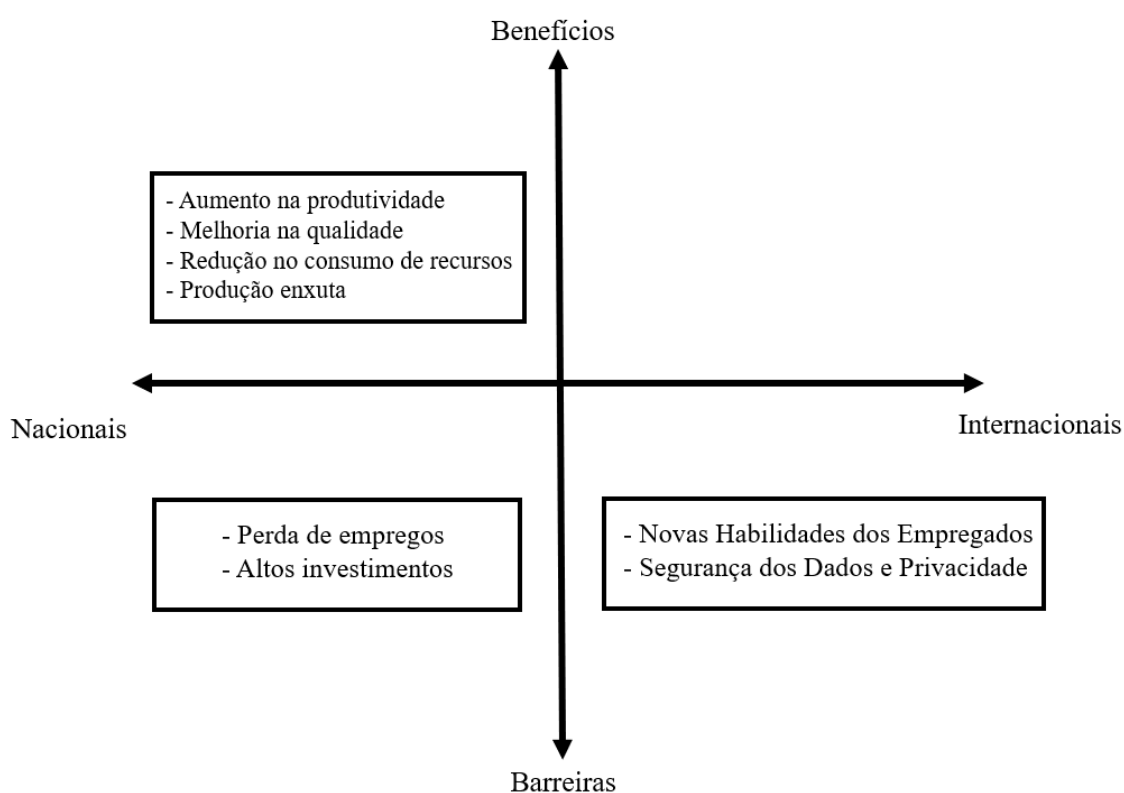
Os benefícios aumento na produtividade/eficiência, aumento na qualidade, redução no consumo de recursos e produção enxuta foram avaliados como mais importante pelos respondentes das empresas nacionais em comparação com os respondentes de empresas internacionais.

As barreiras perda de empregos e altos investimentos foram avaliadas como mais importante, para a implementação da indústria 4.0, pelos respondentes das

empresas nacionais em comparação com os respondentes das empresas internacionais. Por outro lado as barreiras demanda por novas habilidades dos empregados e segurança dos dados e privacidade foram avaliadas como mais importante, para a implementação da Indústria 4.0, pelos respondentes das empresas internacionais em comparação com os respondentes das empresas nacionais.

A Figura 5.29 apresenta a síntese dos resultados encontrados em relação à origem de capital numa disposição que mostra, nos quadrantes, os benefícios e barreiras avaliados como mais importantes pelas empresas nacionais em relação às avaliações das empresas internacionais e vice-versa.

Figura 5.29 Síntese dos resultados em relação à Origem de capital



Os resultados desta pesquisa apontam para a importância que as empresas nacionais dão aos benefícios mais operacionais, como aumentos de produtividade, da qualidade, da produção enxuta e redução do consumo de recursos se comparadas às avaliações de empresas internacionais. Tais resultados estão em concordância com alguns trabalhos na literatura pertinente pesquisada (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Horváth & Szabó, 2019; Tortorella & Fettermann, 2018), que afirmam que empresas que possuem menor disponibilidade de capital para investir na Indústria 4.0, tal qual boa parte das empresas nacionais, tendem a priorizar a adoção de tecnologias que impactam diretamente as suas linhas de produção e melhoram a produtividade e qualidade nas manufaturas.

Dalenogare et al. (2018) realizaram uma pesquisa com empresas brasileiras e constataram que as organizações nacionais tendem a realizar investimentos em

tecnologias mais consolidadas e que demandam menos capital em comparação com tecnologias mais inovadoras. Os respondentes das empresas internacionais da amostra de pesquisa avaliaram a demanda por novas habilidades dos empregados como mais importante em comparação com os respondentes das empresas nacionais. Essa diferença pode estar relacionada com o fato das empresas de capital nacional investirem mais em tecnologias que são mais conhecidas do que em tecnologias inovadoras que possam exigir novas habilidades dos seus colaboradores.

A barreira segurança dos dados e privacidade foi percebida como mais importante pelos respondentes das empresas internacionais da amostra da pesquisa. Esse resultado está alinhado com a pesquisa de Müller (2019) que, constatou por meio de uma pesquisa com 102 empresas localizadas na Alemanha e Áustria, que o risco de invasão cibernética é uma importante barreira de adoção da Indústria 4.0 em países desenvolvidos.

Raj et al. (2019) constataram que empresas em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil, geralmente possuem maiores dificuldades na adoção da Indústria 4.0 devido à falta de políticas públicas e regulamentações nacionais que incentivem a adoção desse novo paradigma industrial. Nesse sentido é importante destacar que, neste trabalho, a barreira governo e regulamentações não apresentou diferenças estatisticamente significativas na comparação entre empresas nacionais e internacionais. Conforme é possível observar na Tabela 5.28 e na Figura 5.22, apesar de, tanto os respondentes das empresas internacionais quanto os das nacionais avaliarem essa barreira como importantes, não a consideraram como a mais importante, apresentando respectivamente médias agrupadas de 4,75 e 4,81 na avaliação desse desafio.

5.2.3 Análise das respostas em relação à intensidade tecnológica

As empresas foram divididas em três grupos de acordo com o nível de intensidade tecnológica dos seus setores industriais, que são: média-baixa, média-alta e alta, conforme OCDE (Galindo-Rueda & Verger, 2016). Primeiramente será analisado se as empresas de intensidade tecnológicas distintas possuem diferenças estatisticamente significativas nas opiniões relativas aos efeitos dos benefícios identificados na adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas e posteriormente essa mesma análise será feita com as barreiras de implementação.

5.2.3.1 Análise das respostas sobre os benefícios

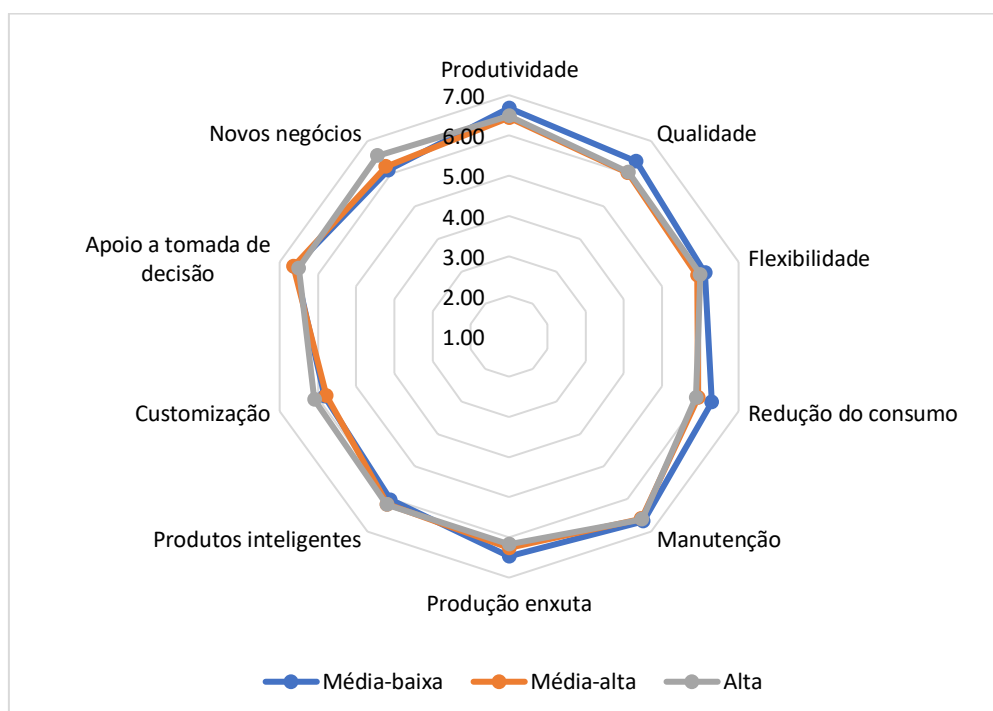
A Tabela 5.35 apresenta as médias e medianas das respostas de todos os benefícios pelo nível de intensidade tecnológica. A Figura 5.30 apresenta o gráfico de radar com os valores das medianas agrupadas de todos os benefícios pelo nível de intensidade tecnológica. Por meio dessas informações é possível perceber que, independentemente da intensidade tecnológica, os respondentes das empresas deram, no geral, grande importância aos benefícios decorrentes da adoção da Indústria 4.0. Todavia é importante destacar que o benefício estratégico de criação de novos negócios

foi avaliado como um pouco mais importante pelos respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta em comparação com os das empresas com intensidade tecnológica média-alta e média-baixa. Por outro lado os benefícios operacionais aumento na produtividade e eficiência, aumento na qualidade, aumento na flexibilidade e redução no consumo de recursos foram avaliadas como um pouco mais importante pelos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa em comparação com os das empresas com intensidade tecnológica média-alta e alta.

Tabela 5.35 Médias e medianas agrupadas das respostas dos benefícios por intensidade tecnológica

Intensidade tecnológica	Média-baixa		Média-alta		Alta	
	Média	Mediana agrupada	Média	Mediana agrupada	Média	Mediana agrupada
Produtividade	6,59	6,68	6,35	6,44	6,35	6,48
Qualidade	6,20	6,38	5,92	6,03	5,82	6,05
Flexibilidade	5,97	6,12	5,76	5,92	5,82	6,00
Redução do consumo	6,19	6,30	5,80	5,94	5,74	5,89
Manutenção	6,58	6,68	6,54	6,60	6,44	6,62
Produção enxuta	6,32	6,47	6,05	6,26	6,00	6,17
Produtos inteligentes	5,74	6,02	5,91	6,16	6,00	6,17
Customização	5,71	5,82	5,65	5,78	5,94	6,09
Apoio a tomada de decisão	6,48	6,60	6,59	6,64	6,41	6,50
Novos negócios	5,83	6,11	6,01	6,22	6,35	6,56

Figura 5.30 Medianas das respostas dos benefícios por intensidade tecnológica



A Tabela 5.36 apresenta as comparações, pelo teste de Kruskal-Wallis, entre os benefícios e as empresas dos níveis de intensidade tecnológica média-baixa, média-alta e alta. Dessa forma é possível observar que quatro benefícios apresentaram diferenças significativas no teste: aumento na produtividade/eficiência (Produtividade), aumento na qualidade (Qualidade), a redução no consumo de recursos (Consumo) e a criação de novos modelos de negócios (Negócios). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção desses quatro benefícios entre as empresas que pertencem aos níveis de intensidade tecnológica média-baixa, média-alta e alta.

Tabela 5.36 Teste Kruskal-Wallis dos benefícios por intensidade tecnológica

Benefícios	Rank Médio (Média-baixa)	Rank Médio (Média-alta)	Rank Médio (Alta)	Kruskal-Wallis <i>p</i> valor
Aumento na produtividade/eficiência	108,76	90,35	93,78	0,057 ⁺
Aumento na qualidade	108,43	92,00	90,03	0,102 ⁺
Flexibilidade na produção	102,54	94,25	95,96	0,615
Redução no consumo de recursos	109,71	91,29	89,35	0,060 ⁺
Monitoramento e reparo de máquinas	101,64	94,76	96,44	0,646
Produção enxuta	106,51	93,64	89,54	0,186
Produtos inteligentes	92,25	100,21	100,9	0,594
Produtos customizados	96,96	94,20	107,41	0,474
Tomada de decisão	97,33	100,65	89,41	0,498
Novos modelos de negócios	90,36	96,73	114,07	0,097 ⁺

Nota.

⁺p<0.1

*p<0.05

**p<0.01

***p<0.001

Na medida em que foram identificadas diferenças estatisticamente significativas na percepção de quatro benefícios entre as empresas, segmentadas nos três diferentes níveis de intensidade tecnológica, são feitos, na sequência, testes de Mann-Whitney com o objetivo de comparações sempre entre dois grupos de níveis diferentes de intensidade tecnológica. Os resultados desses cruzamentos serão apresentados da seguinte forma nos próximos tópicos: média-baixa e média-alta, média-baixa e alta, média-alta e alta.

5.2.3.1.1 Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-baixa e Média-alta

A Tabela 5.37 apresenta as comparações, pelo teste de Mann-Whitney, entre os quatro benefícios estatisticamente significativos identificados pelo teste de Kruskal-

Wallis e as empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Dessa forma, é possível observar que três benefícios apresentaram diferenças significativas no teste: aumento na produtividade/eficiência (Produtividade), aumento na qualidade (Qualidade) e a redução no consumo de recursos (Consumo). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção desses três benefícios entre as empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta.

Tabela 5.37 Teste Mann-Whitney dos benefícios por intensidade tecnológica

Benefícios	Rank Médio (Média-baixa)	Rank Médio (Média-alta)	Mann-Whitney <i>p</i> valor
Aumento na produtividade/eficiência	89,31	73,82	0,016*
Aumento na qualidade	88,41	74,51	0,046*
Redução no consumo de recursos	89,19	73,91	0,030*
Novos modelos de negócios	77,45	82,81	0,443

Nota.

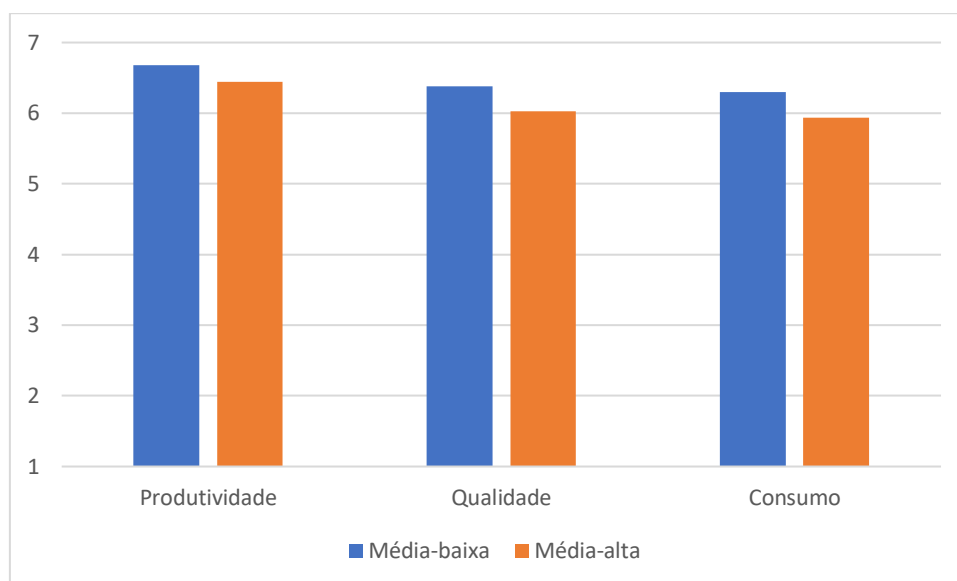
+p<0.1

*p<0.05

**p<0.01

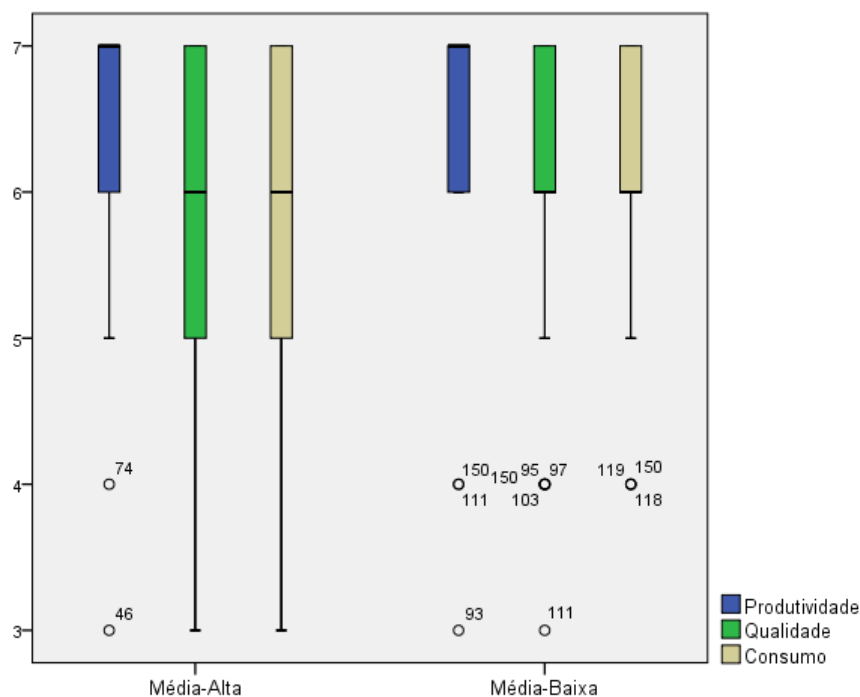
***p<0.001

A Figura 5.31 apresenta as medianas agrupadas dos três benefícios que apresentaram resultados estatisticamente significativos no teste de Mann-Whitney. A Tabela 5.38 apresenta as médias e medianas desses benefícios. Por meio dessas informações é possível perceber que os benefícios aumento na produtividade/eficiência, aumento na qualidade e a redução no consumo de recursos foram considerados mais importantes pelas empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa.

Figura 5.31 Gráfico de barras dos benefícios significativos por intensidade tecnológica**Tabela 5.38** Resumo dos benefícios significativas por nível de intensidade tecnológica

Intensidade	Produtividade	Qualidade	Consumo
<i>Média-baixa</i>			
Média	6,59	6,20	6,19
Mediana agrupada	6,68	6,38	6,30
Mediana	7,00	6,00	6,00
<i>Média-alta</i>			
Média	6,35	5,92	5,74
Mediana agrupada	6,44	6,03	5,94
Mediana	7,00	6,00	6,00

A Figura 5.32 apresenta o boxplot dos benefícios que apresentaram diferenças significativas no teste de Mann-Whitney, em relação aos grupos de intensidade tecnológica Média-baixa e Média-alta. Por meio desse gráfico é possível observar os valores mínimos e máximos das respostas dos três benefícios.

Figura 5.32 Boxplot das barreiras significativas por intensidade tecnológica

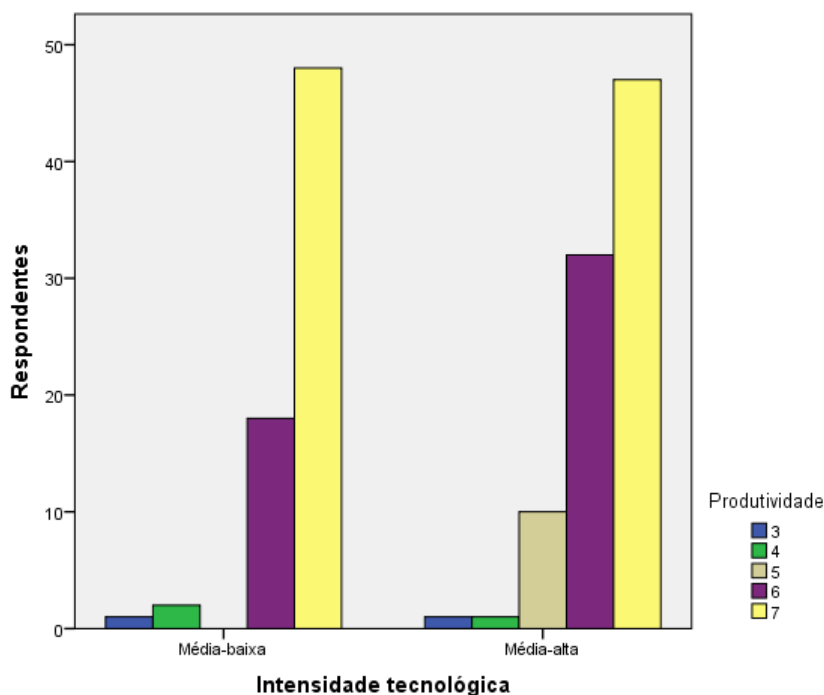
A tabela 5.39 e a Figura 5.33 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício aumento na produtividade/eficiência de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Por meio dela é possível observar que 1 (1,4%) respondente das empresas de intensidade média-baixa não concorda que esse benefício provém da adoção da Indústria 4.0, 2 (2,9%) não concordam e nem discordam e 66 (95,7%) respondentes parecem concordar que o aumento na produtividade/eficiência é um benefício advindo da adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica média-alta é possível perceber que 1 (1,1%) respondente parece discordar da afirmação, 1 (1,1%) não concorda e nem discorda e 89 (97,8%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 gera o benefício de aumento na produtividade/eficiência nas manufaturas. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-alta avaliam o aumento da produtividade/eficiência como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-baixa.

Tabela 5.39 Tabela de referência cruzada entre produtividade e intensidade tecnológica

Intensidade	Produtividade					Total
	3	4	5	6	7	
<i>Média-baixa</i>						
Contagem	1	2		18	48	69
%	1,4%	2,9%		26,1%	69,6%	100,0%

Média-alta

Contagem	1	1	10	32	47	91
%	1,1%	1,1%	11,0%	35,2%	51,6%	100,0%

Figura 5.33 Histograma entre produtividade e intensidade tecnológica

A tabela 5.40 e a Figura 5.34 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício aumento na qualidade de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Por meio dela é possível observar que 1 (1,4%) respondente das empresas de intensidade média-baixa não concorda que esse benefício provém da adoção da Indústria 4.0, 5 (7,2%) não concordam e nem discordam e 63 (91,4%) respondentes parecem concordar que o aumento na qualidade é um benefício advindo da adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica média-alta é possível perceber que 1 (1,1%) respondente parece discordar da afirmação, 7 (7,7%) não concordam e nem discordam e 83 (91,2%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 gera o benefício de aumento na qualidade nas manufaturas. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa avaliam o aumento na qualidade como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-alta.

Tabela 5.40 Tabela de referência cruzada entre qualidade e intensidade tecnológica

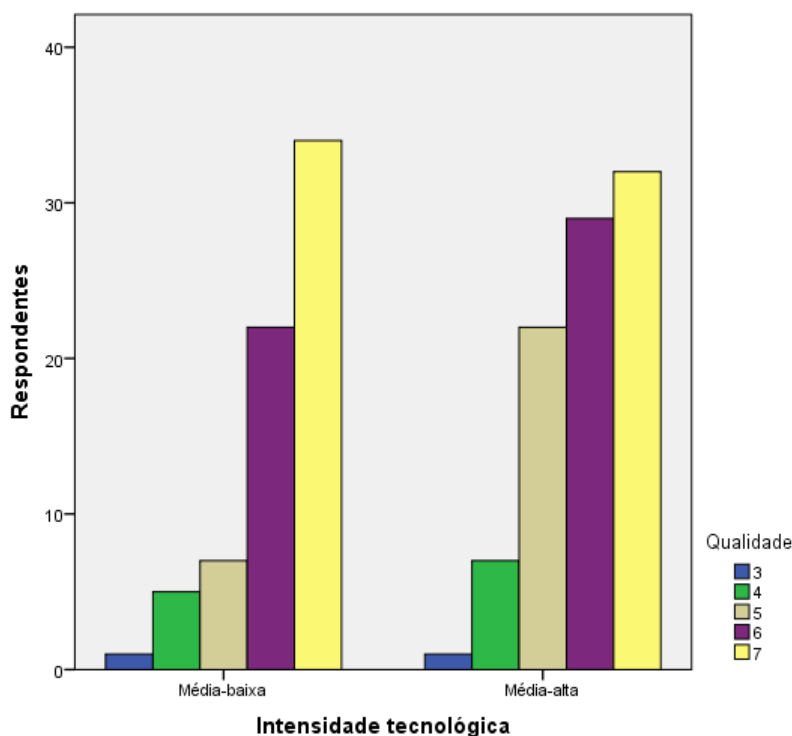
Intensidade	Qualidade					Total
	3	4	5	6	7	

Média-baixa

Contagem	1	5	7	22	34	69
%	1,4%	7,2%	10,1%	31,9%	49,3%	100,0%

Média-alta

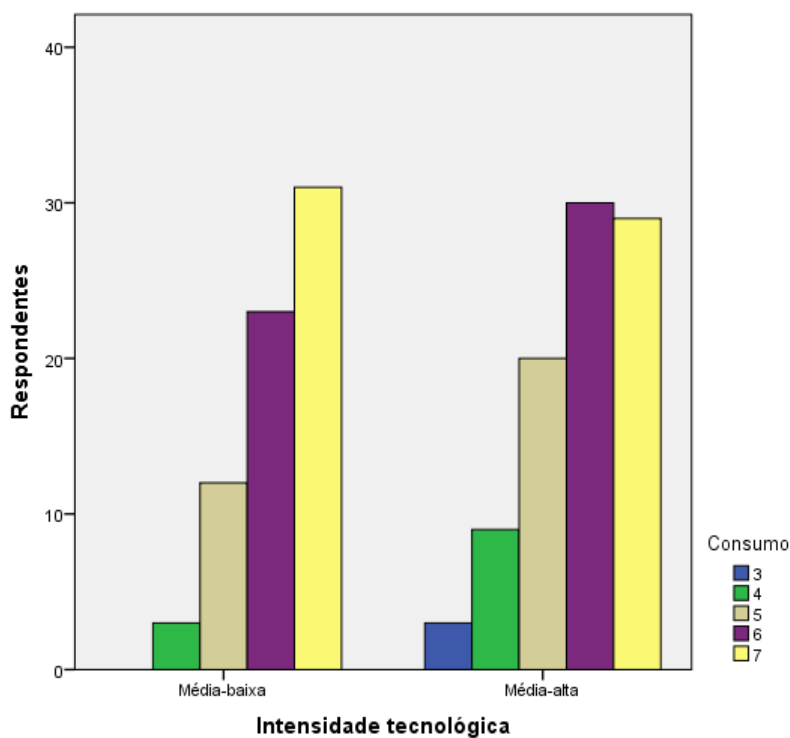
Contagem	1	7	22	29	32	91
%	1,1%	7,7%	24,2%	31,9%	35,2%	100,0%

Figura 5.34 Histograma entre qualidade e intensidade tecnológica

A tabela 5.41 e a Figura 5.35 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício redução no consumo de recursos de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Por meio dela é possível observar que 3 (4,3%) respondente das empresas de intensidade média-baixa não concordam e nem discordam e 66 (95,7%) respondentes parecem concordar que a redução no consumo de recursos é um benefício advindo da adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica média-alta é possível perceber que 3 (3,3%) respondentes parecem discordar da afirmação, 9 (9,9%) não concordam e nem discordam e 79 (86,8%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 gera o benefício de redução no consumo de recursos nas manufaturas. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa avaliam a redução no consumo de recurso como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-alta.

Tabela 5.41 Tabela de referência cruzada entre consumo e intensidade tecnológica

Intensidade	Consumo					Total
	3	4	5	6	7	
<i>Média-baixa</i>						
Contagem		3	12	23	31	69
%		4,3%	17,4%	33,3%	44,9%	100,0%
<i>Média-alta</i>						
Contagem	3	9	20	30	29	91
%	3,3%	9,9%	22,0%	33,0%	31,9%	100,0%

Figura 5.35 Histograma entre consumo e intensidade tecnológica

5.2.3.1.2 Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-baixa e Alta

A Tabela 5.42 apresenta as comparações, pelo teste de Mann-Whitney, entre os quatro benefícios estatisticamente significativos identificados pelo teste de Kruskal-Wallis e as empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa e alta. Dessa forma é possível observar que dois benefícios apresentaram diferenças significativas no teste: redução no consumo de recursos (Consumo) e a criação de novos modelos de negócios (Negócios). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção desses dois benefícios entre as empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa e alta.

Tabela 5.42 Teste Mann-Whitney dos benefícios por intensidade tecnológica

Benefícios	Rank Médio (Média-baixa)	Rank Médio (Alta)	Mann-Whitney <i>p</i> valor
Aumento na produtividade/eficiência	54,45	47,03	0,156
Aumento na qualidade	55,03	45,85	0,117
Redução no consumo de recursos	55,52	44,85	0,071 ⁺
Novos modelos de negócios	47,91	60,21	0,034*

Nota.

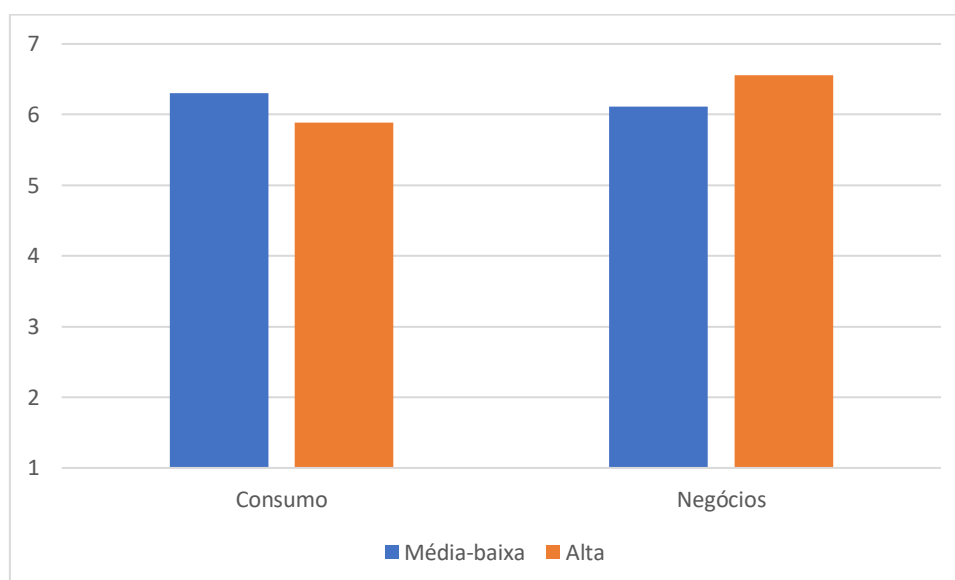
+ $p < 0.1$

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

*** $p < 0.001$

A Figura 5.36 apresenta as medianas agrupadas dos dois benefícios que apresentaram resultados estatisticamente significativos no teste de Mann-Whitney. A Tabela 5.43 apresenta as médias e medianas desses benefícios. Por meio dessas informações é possível perceber que o benefício aumento na produtividade/eficiência foi considerado mais importante pelas empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa, em contrapartida o benefício criação de novos modelos de negócios foi considerado mais importante pelas empresas de nível de intensidade tecnológica alta.

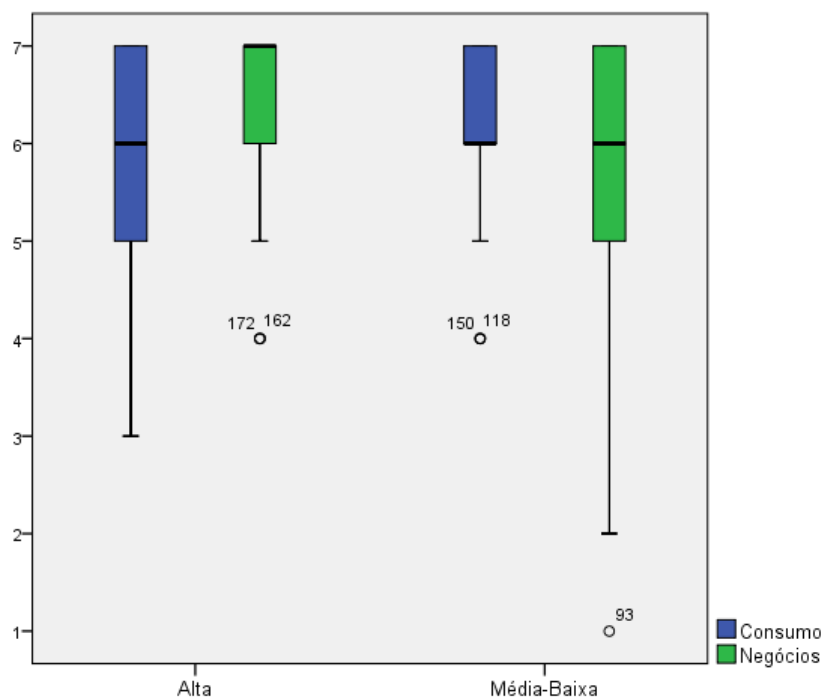
Figura 5.36 Gráfico de barras dos benefícios significativos por intensidade tecnológica**Tabela 5.43** Resumo dos benefícios significativas por nível de intensidade tecnológica

Intensidade	Consumo	Negócios
--------------------	----------------	-----------------

<i>Média-baixa</i>		
Média	6,19	5,83
Mediana agrupada	6,30	6,11
Mediana	6,00	6,00
<i>Alta</i>		
Média	5,74	6,35
Mediana agrupada	5,89	6,56
Mediana	6,00	7,00

A Figura 5.37 apresenta o boxplot dos benefícios que apresentaram diferenças significativas no teste de Mann-Whitney, em relação aos grupos de intensidade tecnológica Média-baixa e Alta. Por meio desse gráfico é possível observar os valores mínimos e máximos das respostas dos dois benefícios.

Figura 5.37 Boxplot dos benefícios significativos por intensidade tecnológica



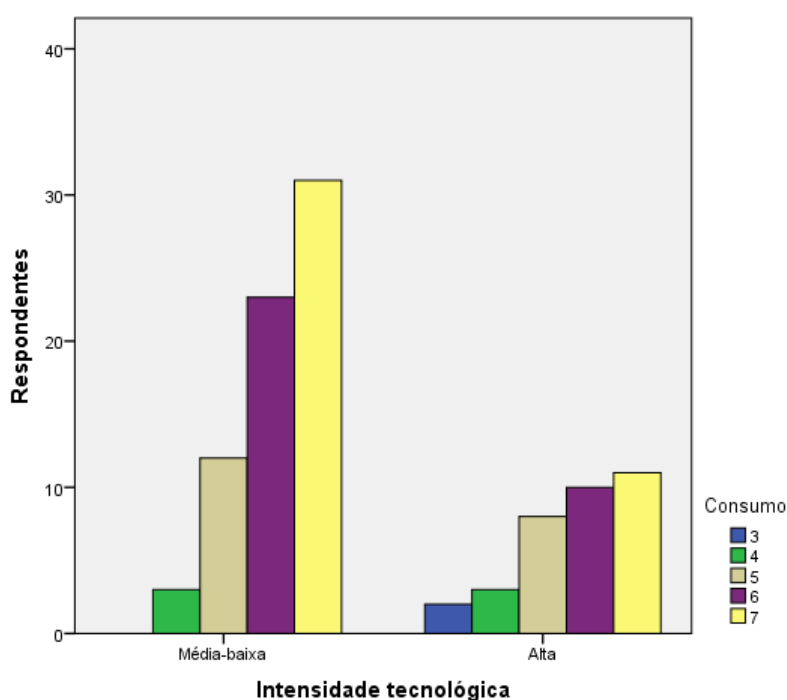
A tabela 5.44 e a Figura 5.38 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício redução no consumo de recursos de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e alta. Por meio dela é possível observar que 3 (4,3%) respondente das empresas de intensidade média-baixa não concordam e nem discordam que esse benefício provém da adoção da Indústria 4.0 e 66 (95,7%) respondentes parecem concordar que a redução no consumo de recursos é um benefício advindo da adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica alta é possível perceber que 2 (5,9%) respondentes parecem

discordar da afirmação, 3 (8,8%) não concordam e nem discordam e 29 (85,3%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 gera o benefício de redução no consumo de recursos nas manufaturas. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa avaliam a redução no consumo de recursos como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade alta.

Tabela 5.44 Tabela de referência cruzada entre consumo e intensidade tecnológica

Intensidade	Consumo					Total
	3	4	5	6	7	
<i>Média-baixa</i>						
Contagem		3	12	23	31	69
%		4,3%	17,4%	33,3%	44,9%	100,0%
<i>Alta</i>						
Contagem	2	3	8	10	11	34
%	5,9%	8,8%	23,5%	29,4%	32,4%	37,4%

Figura 5.38 Histograma entre consumo e intensidade tecnológica



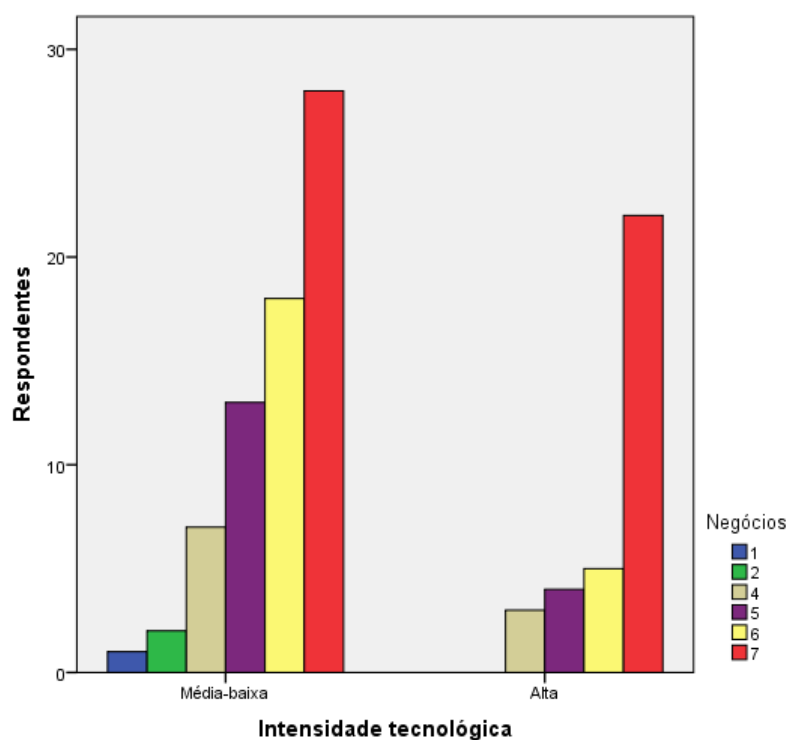
A tabela 5.45 e a Figura 5.39 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício criação de novos modelos de negócios de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e alta. Por meio dela é possível observar que 3 (4,3%) respondente das empresas de intensidade média-baixa não concordam que esse benefício provém da adoção da

Indústria 4.0, 7 (10,1%) não concordam e nem discordam da afirmação e 59 (85,6%) respondentes parecem concordar que a criação de novos modelos de negócios é um benefício advindo da adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica alta é possível perceber que 3 (8,8%) não concordam e nem discordam e 31 (91,2%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 gera o benefício de criação de novos modelos de negócios para as empresas. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta avaliam a criação de novos modelos de negócios como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-baixa.

Tabela 5.45 Tabela de referência cruzada entre negócios e intensidade tecnológica

Intensidade	Negócios						Total
	1	2	4	5	6	7	
<i>Média-baixa</i>							
Contagem	1	2	7	13	18	28	69
%	1,4%	2,9%	10,1%	18,8%	26,1%	40,6%	100,0%
<i>Alta</i>							
Contagem			3	4	5	22	34
%			8,8%	11,8%	14,7%	64,7%	37,4%

Figura 5.39 Histograma entre negócios e intensidade tecnológica



5.2.3.1.3 Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-alta e Alta

A Tabela 5.46 apresenta as comparações, pelo teste de Mann-Whitney, entre os quatro benefícios estatisticamente significativos identificados pelo teste de Kruskal-Wallis e as empresas de nível de intensidade tecnológica média-alta e alta. Dessa forma, é possível observar que um benefício apresentou diferença significativa no teste: a criação de novos modelos de negócios (Negócios). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção desse benefício entre as empresas de nível de intensidade tecnológica média-alta e alta.

Tabela 5.46 Teste Mann-Whitney dos benefícios por intensidade tecnológica

Benefícios	Rank Médio (Média-alta)	Rank Médio (Alta)	Mann-Whitney <i>p</i> valor
Aumento na produtividade/eficiência	62,53	64,25	0,794
Aumento na qualidade	63,49	61,68	0,794
Redução no consumo de recursos	63,37	62,00	0,844
Novos modelos de negócios	59,91	71,26	0,092 ⁺

Nota.

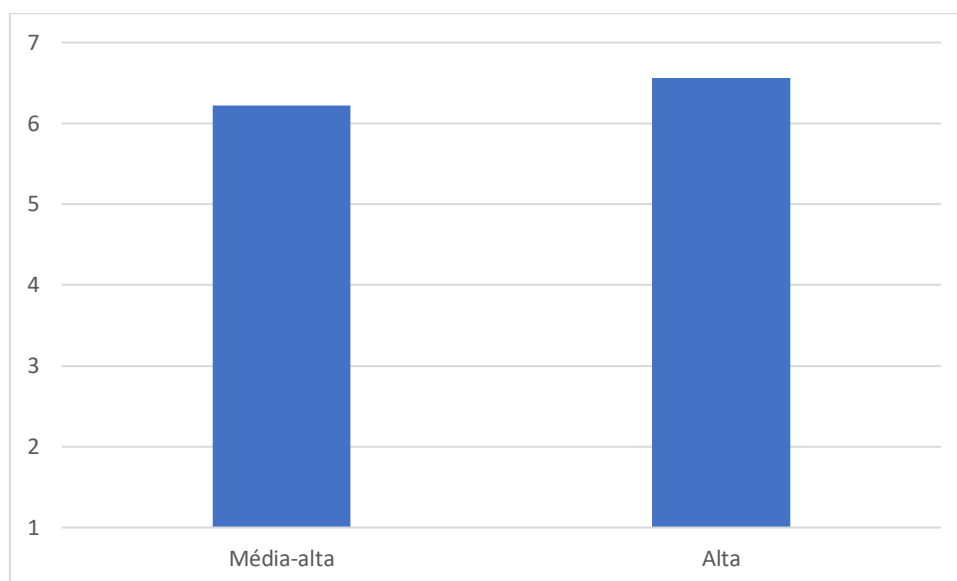
+ $p < 0.1$

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

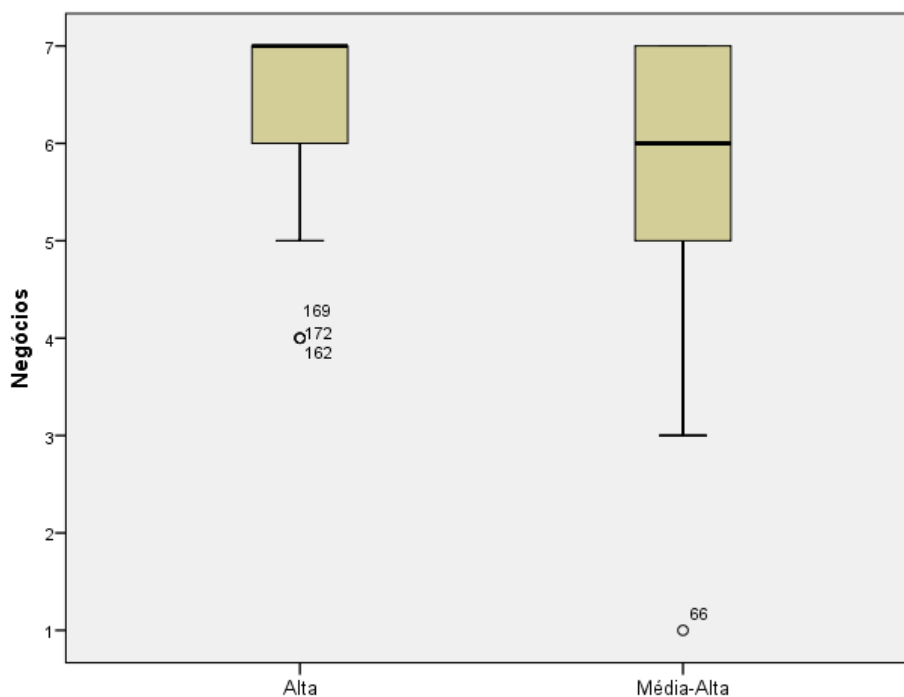
*** $p < 0.001$

A Figura 5.40 apresenta as medianas agrupadas do benefício que apresentou resultado estatisticamente significativo no teste de Mann-Whitney. A Tabela 5.47 apresenta as médias e medianas desses benefícios. Por meio dessas informações é possível perceber que o benefício criação de novos modelos de negócios foi considerado mais importante pelas empresas de nível de intensidade tecnológica alta.

Figura 5.40 Gráfico de barras do benefício significativo por intensidade tecnológica**Tabela 5.47** Resumo dos benefício significativo por nível de intensidade tecnológica

Intensidade	Negócios
<i>Média-alta</i>	
Média	6,01
Mediana agrupada	6,22
Mediana	6,00
<i>Alta</i>	
Média	6,35
Mediana agrupada	6,56
Mediana	7,00

A Figura 5.41 apresenta o boxplot do benefício que apresentou diferença significativa no teste de Mann-Whitney, em relação aos grupos de intensidade tecnológica Média-alta e Alta. Por meio desse gráfico é possível observar os valores mínimos e máximos das respostas desse benefício.

Figura 5.41 Boxplot dos benefícios significativos por intensidade tecnológica

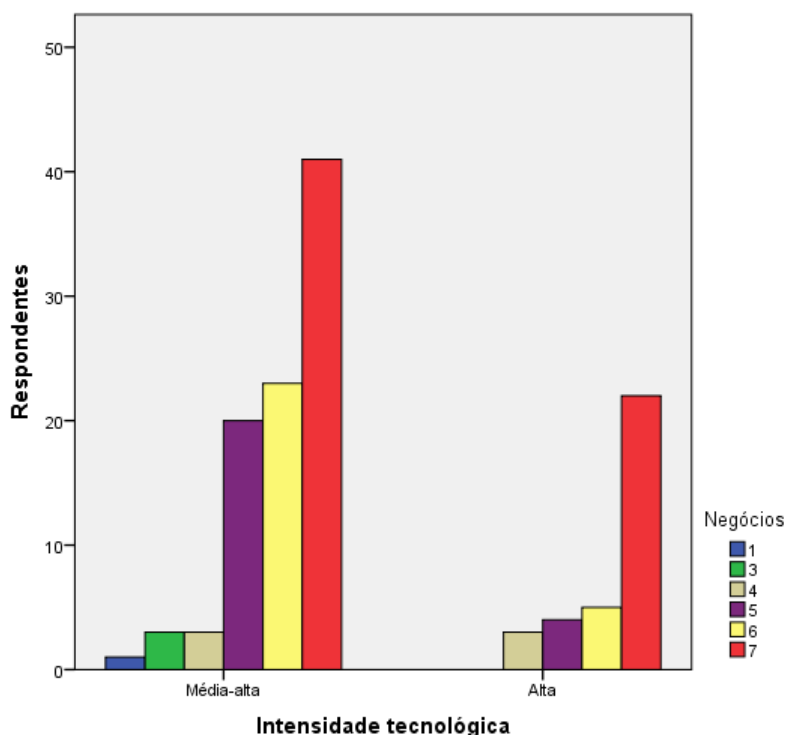
A tabela 5.48 e a Figura 5.42 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação ao benefício criação de novos modelos de negócios de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-alta e alta. Por meio dela é possível observar que 4 (4,4%) respondente das empresas de intensidade média-alta não concordam que esse benefício provém da adoção da Indústria 4.0, 3 (3,3%) não concordam e nem discordam da afirmação e 84 (92,3%) respondentes parecem concordar que a criação de novos modelos de negócios é um benefício advindo da adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica alta é possível perceber que 3 (8,8%) não concordam e nem discordam e 31 (91,2%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 gera o benefício de criação de novos modelos de negócios para as empresas. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-alta avaliam a criação de novos modelos de negócios como um benefício mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade alta.

Tabela 5.48 Tabela de referência cruzada entre negócios e intensidade tecnológica

Intensidade	Negócios						Total
	1	3	4	5	6	7	
<i>Média-alta</i>							
Contagem	1	3	3	20	23	41	91
%	1,1%	3,3%	3,3%	22,0%	25,3%	45,1%	131,9%
<i>Alta</i>							
Contagem			3	4	5	22	34

% 8,8% 11,8% 14,7% 64,7% 37,4%

Figura 5.42 Histograma entre negócios e intensidade tecnológica



5.2.3.2 Análise das respostas sobre as barreiras

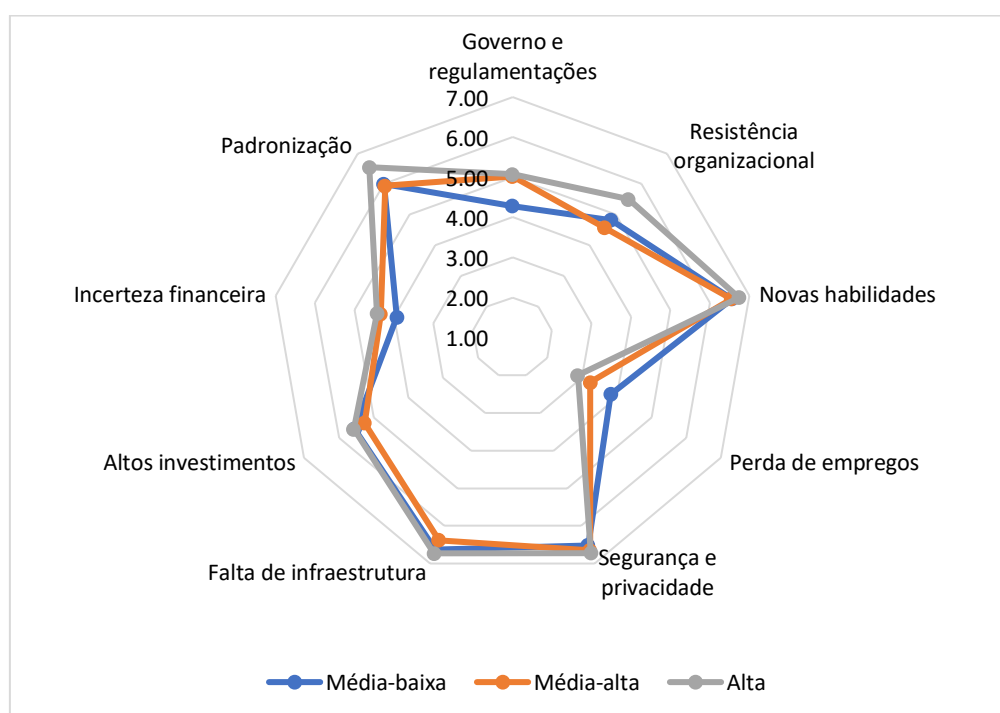
A Tabela 5.49 apresenta as médias e medianas das respostas de todas as barreiras pelo nível de intensidade tecnológica. A Figura 5.43 apresenta o gráfico de radar com os valores das medianas agrupadas de todas as barreiras pelo nível de intensidade tecnológica. Por meio dessas informações é possível perceber que os respondentes das empresas, no geral, avaliam de forma parecida as barreiras decorrentes da adoção da Indústria 4.0. Todavia é importante destacar que os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta consideraram quase todas as barreiras como mais importante em relação aos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-alta e média-baixa, com exceção apenas da barreira perda de empregos que parece ser uma preocupação maior para as empresas de menor nível de intensidade tecnológica.

Tabela 5.49 Médias e medianas agrupadas das respostas das barreiras por intensidade tecnológica

Intensidade tecnológica	Média-baixa		Média-alta		Alta	
	Média	Mediana agrupada	Média	Mediana agrupada	Média	Mediana agrupada
Governo e regulamentações	4,22	4,28	4,79	5,02	5,15	5,07

Resistência organizacional	4,52	4,83	4,46	4,58	5,26	5,50
Novas habilidades	6,46	6,56	6,32	6,55	6,68	6,74
Perda de empregos	3,74	3,83	3,41	3,24	3,12	2,88
Segurança e privacidade	6,45	6,52	6,56	6,65	6,65	6,72
Falta de infraestrutura	6,49	6,63	6,08	6,38	6,71	6,73
Altos investimentos	5,46	5,55	5,15	5,26	5,56	5,57
Incerteza financeira	4,00	3,93	4,20	4,34	4,38	4,43
Padronização	5,68	6,00	5,70	5,94	6,38	6,55

Figura 5.43 Medianas das respostas das barreiras por intensidade tecnológica



A Tabela 5.50 apresenta as comparações, pelo teste de Kruskal-Wallis, entre as barreiras e as empresas dos níveis de intensidade tecnológica média-baixa, média-alta e alta. Dessa forma é possível observar que quatro barreiras apresentaram diferenças significativas no teste: governo e regulamentações (Governo), resistência organizacional (Resistência), falta de infraestrutura (Infraestrutura) e a falta de padronização dos sistemas (Padronização). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção dessas quatro barreiras entre as empresas que pertencem aos níveis de intensidade tecnológica média-baixa, média-alta e alta.

Tabela 5.50 Teste Kruskal-Wallis das barreiras por intensidade tecnológica

Barreiras	Média-baixa	Média-alta	Alta	Kruskal-Wallis <i>p</i> valor
Governo e regulamentações	84,42	102,14	111,63	0,035*

Resistência organizacional	95,99	90,75	118,62	0,040*
Novas habilidades dos empregados	95,80	94,27	109,57	0,261
Perda de empregos	107,52	94,75	84,53	0,113 ⁺
Segurança dos dados e privacidade	90,28	99,86	105,84	0,234
Falta de infraestrutura	103,89	87,02	112,59	0,014*
Altos investimentos	104,24	89,44	105,40	0,146
Incerteza dos resultados financeiros	92,29	98,88	104,38	0,551
Padronização	92,86	91,01	124,31	0,006**

Nota.

+p<0.1

*p<0.05

**p<0.01

***p<0.001

Na medida em que foram identificadas diferenças estatisticamente significativas na percepção de cinco barreiras entre as empresas que pertencem aos três diferentes níveis de intensidade tecnológica pesquisados será feito testes de Mann-Whitney comparando cada nível entre si. Os resultados desses cruzamentos serão apresentados da seguinte forma nos próximos tópicos: média-baixa e média-alta, média-baixa e alta, média-alta e alta.

5.2.3.2.1 Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-baixa e Média-alta

A Tabela 5.51 apresenta as comparações, pelo teste de Mann-Whitney, entre as cinco barreiras estatisticamente significativas identificadas pelo teste de Kruskal-Wallis e as empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Dessa forma é possível observar que duas barreiras apresentaram diferenças significativas no teste: governo e regulamentações (Governo) e a falta de infraestrutura (Infraestrutura). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção dessas duas barreiras entre as empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta.

Tabela 5.51 Teste Mann-Whitney das barreiras por intensidade tecnológica

Barreiras	Rank Médio (Média-baixa)	Rank Médio (Média-alta)	Mann-Whitney <i>p</i> valor
Governo e regulamentações	72,33	86,70	0,049*
Resistência organizacional	83,17	78,47	0,515
Perda de empregos	86,17	76,20	0,171
Falta de infraestrutura	88,38	74,53	0,035*
Padronização	81,38	79,83	0,826

Nota.

+p<0.1

*p<0.05

**p<0.01

***p<0.001

A Figura 5.44 apresenta as medianas agrupadas das duas barreiras que apresentaram resultados estatisticamente significativos no teste de Mann-Whitney. A Tabela 5.52 apresenta as médias e medianas dessas barreiras. Por meio dessas informações é possível perceber que a barreira governo e regulamentações foi considerada mais importante pelas empresas de nível tecnológica média-alta, em contrapartida a barreira falta de infraestrutura foi considerada mais importante pelas empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa.

Figura 5.44 Gráfico de barras das barreiras significativas por intensidade tecnológica

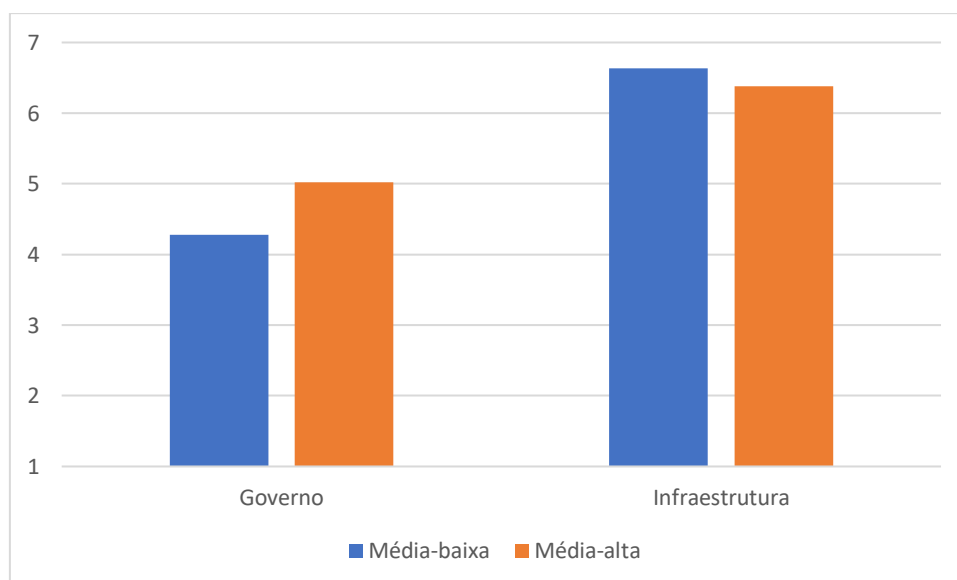
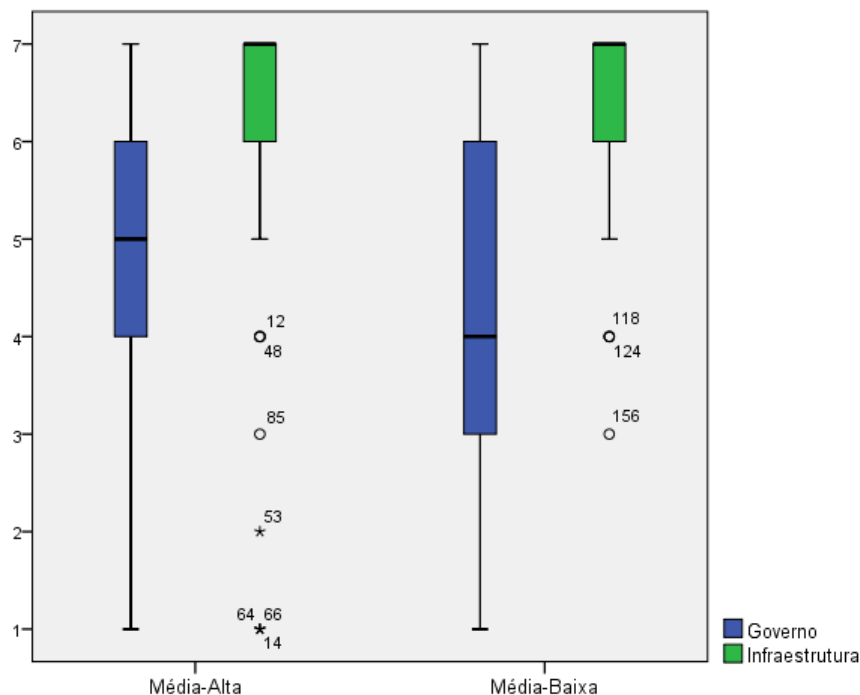


Tabela 5.52 Resumo das barreiras significativas por nível de intensidade tecnológica.

Intensidade	Governo	Infraestrutura
<i>Média-baixa</i>		
Média	4,22	6,49
Mediana agrupada	4,28	6,63
Mediana	4,00	7,00
<i>Média-alta</i>		
Média	4,79	6,08
Mediana agrupada	5,02	6,38
Mediana	5,00	7,00

A Figura 5.45 apresenta o boxplot das barreiras que apresentaram diferenças significativas no teste de Mann-Whitney, em relação aos grupos de intensidade tecnológica Média-baixa e Média-alta. Por meio desse gráfico é possível observar os valores mínimos e máximos das respostas das duas barreiras.

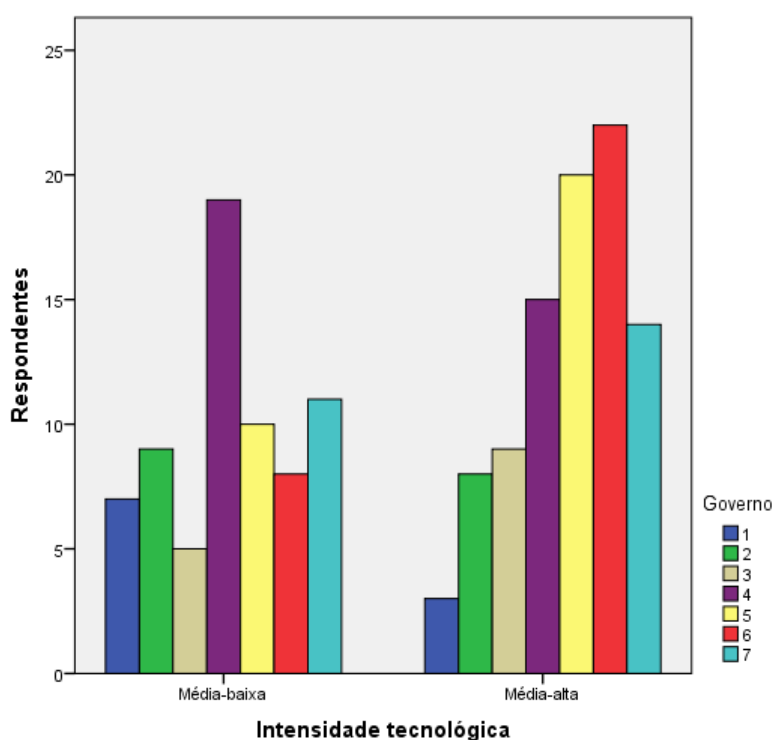
Figura 5.45 Boxplot das barreiras significativas por intensidade tecnológica



A tabela 5.53 e a Figura 5.46 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira governo e regulamentações de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Por meio dela é possível observar que 21 (30,3%) respondentes das empresas de intensidade média-baixa não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 19 (27,5%) não concordam e nem discordam da afirmação e 29 (42,2%) respondentes parecem concordar que o governo e regulamentações é uma barreira que impacta a adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica média-alta é possível perceber que 20 (22,0%) não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 15 (16,5%) não concordam e nem discordam e 56 (61,5%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 é impactada pela barreira governo e regulamentações. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-alta avaliam o governo e regulamentações como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-baixa.

Tabela 5.53 Tabela de referência cruzada entre governo e intensidade tecnológica

Intensidade	Governo							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Média-baixa</i>								
Contagem	7	9	5	19	10	8	11	69
%	10,1%	13,0%	7,2%	27,5%	14,5%	11,6%	15,9%	100,0%
<i>Média-alta</i>								
Contagem	3	8	9	15	20	22	14	91
%	3,3%	8,8%	9,9%	16,5%	22,0%	24,2%	15,4%	100,0%

Figura 5.46 Histograma entre governo e intensidade tecnológica

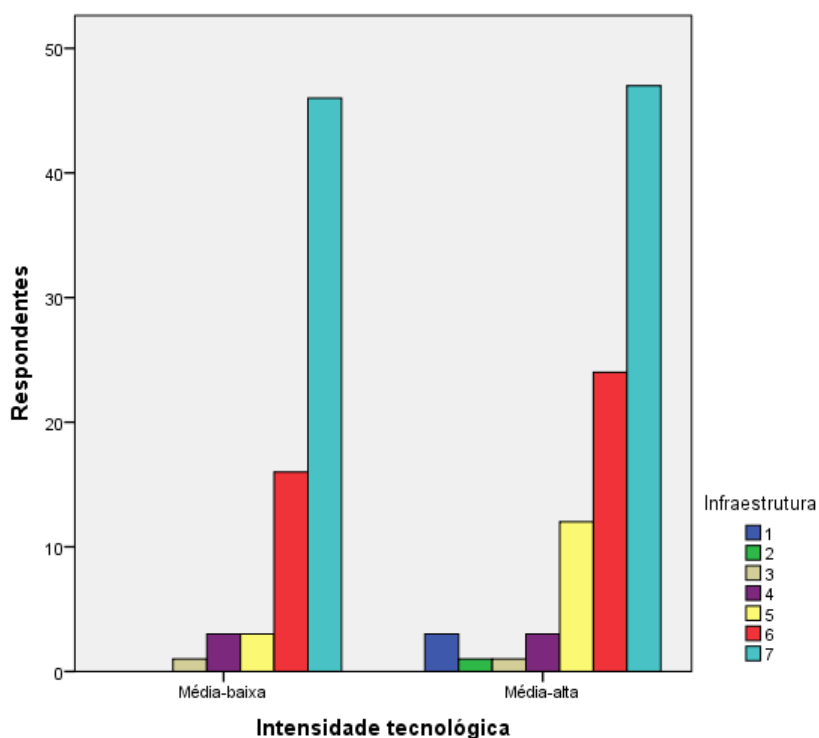
A tabela 5.54 e a Figura 5.47 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira falta de infraestrutura de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Por meio dela é possível observar que 1 (1,4%) respondente das empresas de intensidade média-baixa não concorda que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 3 (4,3%) não concordam e nem discordam da afirmação e 65 (94,3%) respondentes parecem concordar que a falta de infraestrutura é uma barreira que impacta a adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica média-alta é possível perceber que 5 (5,5%) não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 3 (3,3%) não concordam e nem discordam e 83 (91,2%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 é impactada pela falta de infraestrutura. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa avaliam a falta de infraestrutura como uma barreira

mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-alta.

Tabela 5.54 Tabela de referência cruzada entre infraestrutura e intensidade tecnológica

Intensidade	Infraestrutura							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Média-baixa</i>								
Contagem			1	3	3	16	46	69
%			1,4%	4,3%	4,3%	23,2%	66,7%	100,0%
<i>Média-alta</i>								
Contagem	3	1	1	3	12	24	47	91
%	3,3%	1,1%	1,1%	3,3%	13,2%	26,4%	51,6%	100,0%

Figura 5.47 Histograma entre infraestrutura e intensidade tecnológica



5.2.3.2.2 Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-baixa e Alta

A Tabela 5.55 apresenta as comparações, pelo teste de Mann-Whitney, entre as cinco barreiras estatisticamente significativas identificadas pelo teste de Kruskal-Wallis e as empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa e alta. Dessa forma é possível observar que quatro barreiras apresentaram diferenças significativas no teste: governo e regulamentações (Governo), resistência organizacional (Resistência), perda de empregos (Desemprego) e a falta de padronização dos sistemas (Padronização).

Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção dessas quatro barreiras entre as empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa e alta.

Tabela 5.55 Teste Mann-Whitney das barreiras por intensidade tecnológica

Barreiras	Rank Médio (Média-baixa)	Rank Médio (Alta)	Mann-Whitney <i>p</i> valor
Governo e regulamentações	47,09	61,96	0,016*
Resistência organizacional	47,82	60,49	0,039*
Perda de empregos	56,35	43,18	0,032*
Falta de infraestrutura	50,51	55,01	0,376
Padronização	46,47	63,22	0,005**

Nota.

+ $p < 0.1$

* $p < 0.05$

** $p < 0.01$

*** $p < 0.001$

A Figura 5.48 apresenta as medianas agrupadas das quatro barreiras que apresentaram resultados estatisticamente significativos no teste de Mann-Whitney. A Tabela 5.56 apresenta as médias e medianas dessas barreiras. Por meio dessas informações é possível perceber que as barreiras governo e regulamentações, resistência organizacional e a falta de padronização dos sistemas foram consideradas mais importantes pelas empresas de nível de intensidade tecnológica alta, em contrapartida a barreira perda de empregos foi considerada mais importante pelas empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa.

Figura 5.48 Gráfico de barras das barreiras significativas por intensidade tecnológica

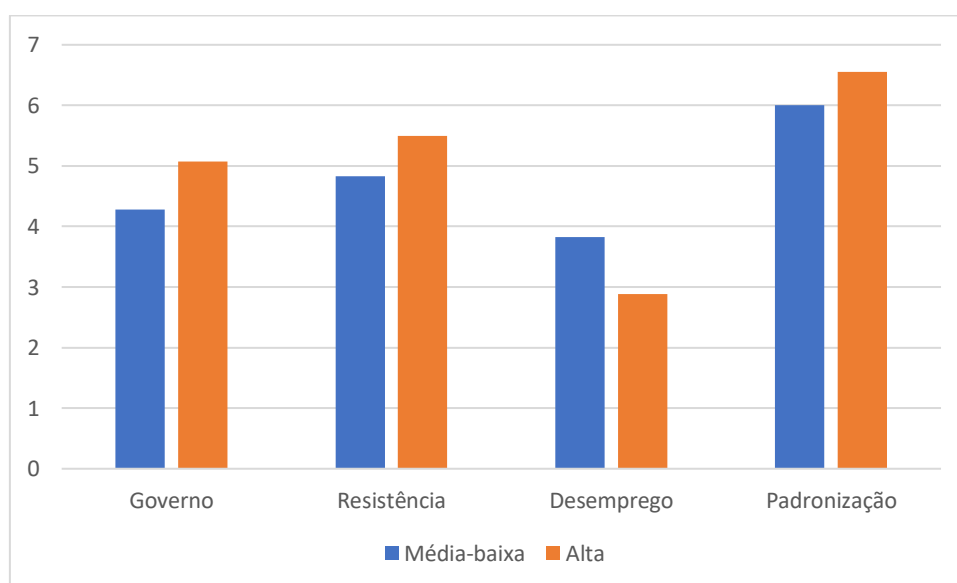
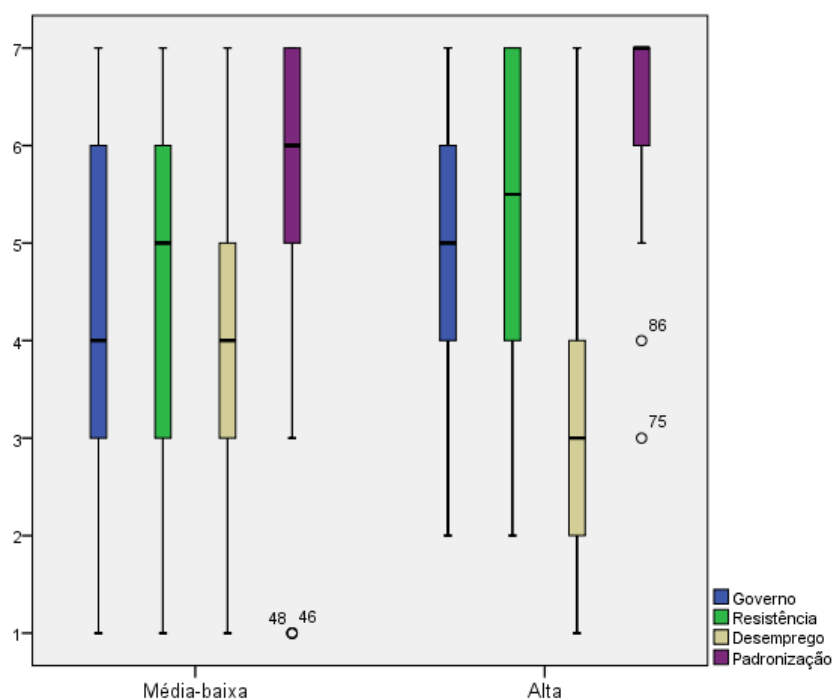


Tabela 5.56 Resumo das barreiras significativas por nível de intensidade tecnológica

Intensidade	Governo	Resistência	Desemprego	Padronização
<i>Média-baixa</i>				
Média	4,22	4,52	3,74	5,68
Mediana agrupada	4,28	4,83	3,83	6,00
Mediana	4,00	5,00	4,00	6,00
<i>Alta</i>				
Média	5,15	5,26	3,12	6,38
Mediana agrupada	5,07	5,50	3,00	6,55
Mediana	5,00	5,00	2,88	7,00

A Figura 5.49 apresenta o boxplot das barreiras que apresentaram diferenças significativas no teste de Mann-Whitney, em relação aos grupos de intensidade tecnológica Média-baixa e Alta. Por meio desse gráfico é possível observar os valores mínimos e máximos das respostas das quatro barreiras.

Figura 5.49 Boxplot das barreiras significativas por intensidade tecnológica

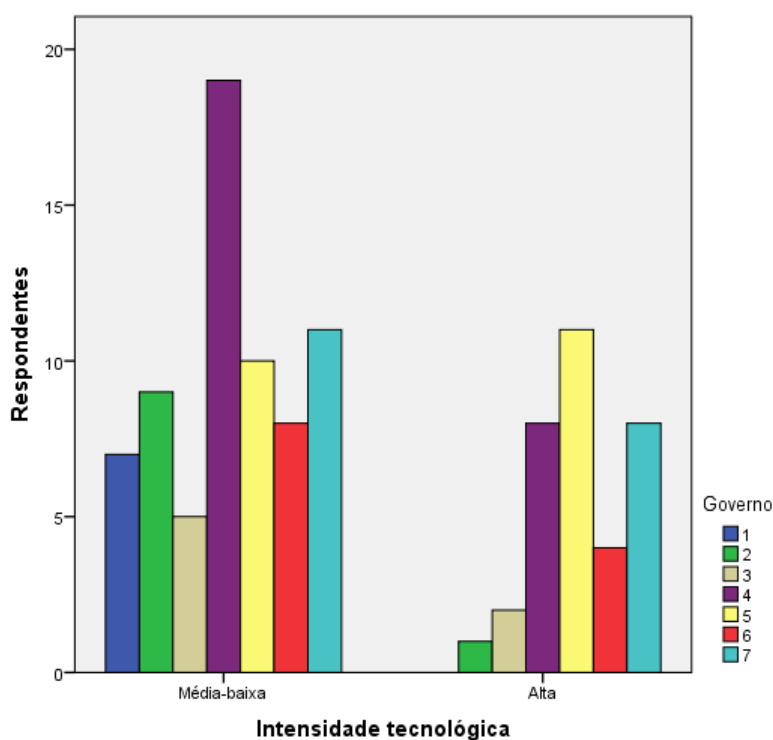
A tabela 5.57 e a Figura 5.50 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira governo e regulamentações de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e alta. Por meio dela é possível observar que 21 (30,3%) respondentes das empresas de intensidade média-baixa não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 19 (27,5%) não concordam e nem discordam da afirmação e 29 (42,2%)

respondentes parecem concordar que o governo e regulamentações é uma barreira que impacta a adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica alta é possível perceber que 3 (8,8%) não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 8 (23,5%) não concordam e nem discordam e 23 (67,7%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 é impactada pelo governo e regulamentações. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta avaliam o governo e regulamentações como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-baixa.

Tabela 5.57 Tabela de referência cruzada entre governo e intensidade tecnológica

Intensidade	Governo							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Média-baixa</i>								
Contagem	7	9	5	19	10	8	11	69
%	10,1%	13,0%	7,2%	27,5%	14,5%	11,6%	15,9%	100,0%
<i>Alta</i>								
Contagem		1	2	8	11	4	8	34
%		2,9%	5,9%	23,5%	32,4%	11,8%	23,5%	37,4%

Figura 5.50 Histograma entre governo e intensidade tecnológica



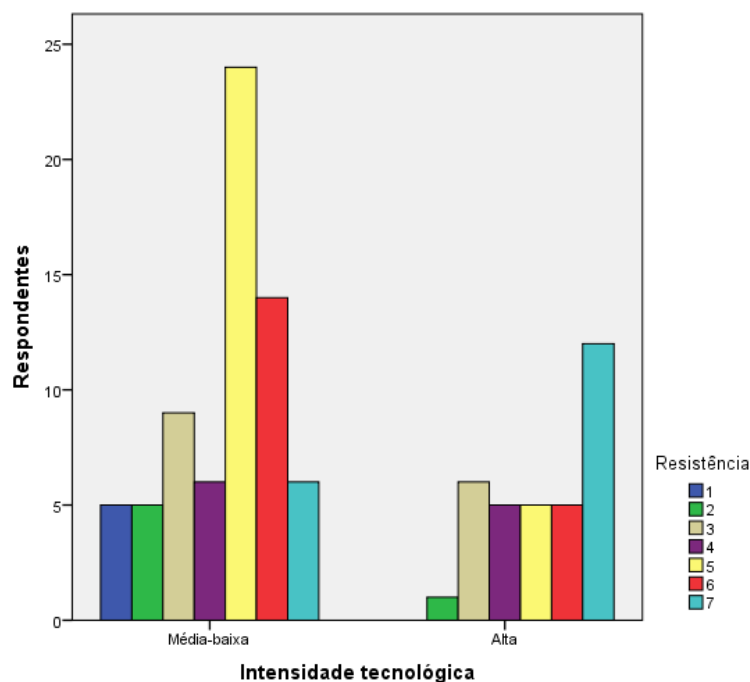
A tabela 5.58 e a Figura 5.51 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira resistência

organizacional de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e alta. Por meio dela é possível observar que 19 (27,4%) respondentes das empresas de intensidade média-baixa não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 6 (8,7%) não concordam e nem discordam da afirmação e 44 (63,9%) respondentes parecem concordar que a resistência organizacional é uma barreira que impacta a adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica alta é possível perceber que 7 (20,5%) não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 5 (14,7%) não concordam e nem discordam e 22 (64,8%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 é impactada pela resistência organizacional. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta avaliam a resistência organizacional como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-baixa.

Tabela 5.58 Tabela de referência cruzada entre resistência e intensidade tecnológica

Intensidade	Resistência							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Média-baixa</i>								
Contagem	5	5	9	6	24	14	6	69
%	7,2%	7,2%	13,0%	8,7%	34,8%	20,3%	8,7%	100,0%
<i>Alta</i>								
Contagem		1	6	5	5	5	12	34
%		2,9%	17,6%	14,7%	14,7%	14,7%	35,3%	37,4%

Figura 5.51 Histograma entre resistência e intensidade tecnológica

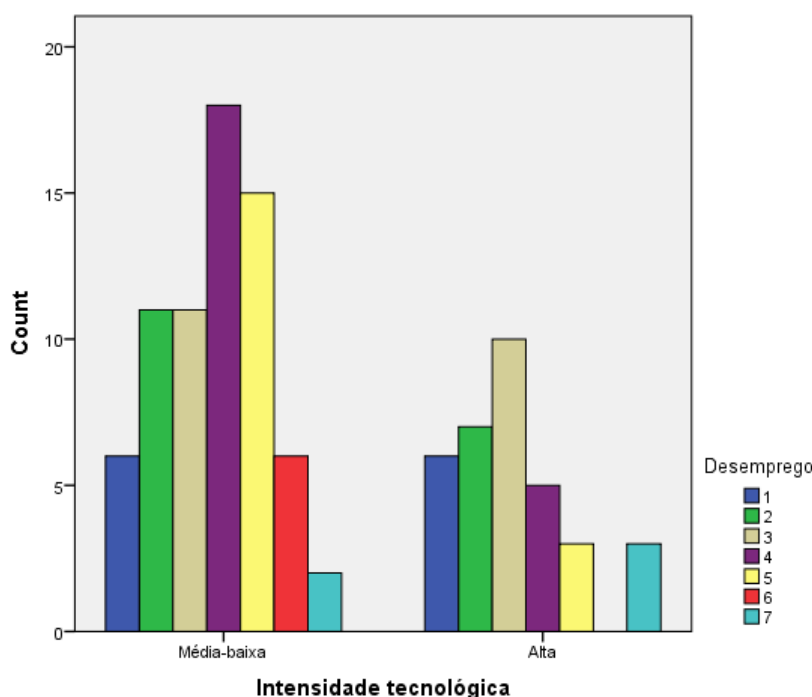


A tabela 5.59 e a Figura 5.52 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira perda de empregos de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e alta. Por meio dela é possível observar que 28 (40,5%) respondentes das empresas de intensidade média-baixa não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 18 (26,1%) não concordam e nem discordam da afirmação e 23 (33,4%) respondentes parecem concordar que a perda de empregos é uma barreira que impacta a adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica alta é possível perceber que 23 (67,6%) não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 5 (14,7%) não concorda e nem discorda e 6 (17,7%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 é impactada pela perda de empregos. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa avaliam a perda de empregos como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade alta.

Tabela 5.59 Tabela de referência cruzada entre desemprego e intensidade tecnológica

Intensidade	Desemprego							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Média-baixa</i>								
Contagem	6	11	11	18	15	6	2	69
%	8,7%	15,9%	15,9%	26,1%	21,7%	8,7%	2,9%	100,0%
<i>Alta</i>								
Contagem	6	7	10	5	3		3	34
%	17,6%	20,6%	29,4%	14,7%	8,8%		8,8%	100,0%

Figura 5.52 Histograma entre desemprego e intensidade tecnológica

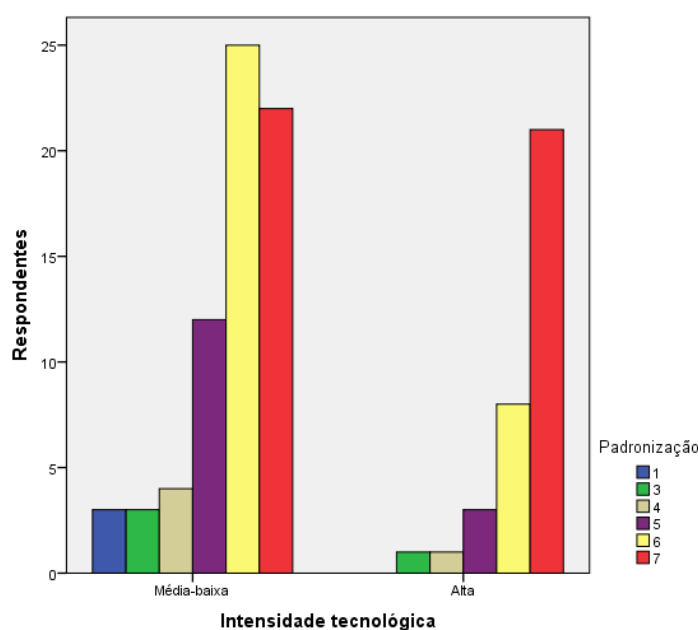


A tabela 5.60 e a Figura 5.53 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira falta de padronização dos sistemas de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-baixa e alta. Por meio dela é possível observar que 6 (8,6%) respondentes das empresas de intensidade média-baixa não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 4 (5,8%) não concordam e nem discordam da afirmação e 59 (85,6%) respondentes parecem concordar que a falta de padronização dos sistemas é uma barreira que impacta a adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica alta é possível perceber que 1 (2,9%) não concorda que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 1 (2,9%) não concorda e nem discorda e 32 (94,2%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 é impactada pela falta de padronização dos sistemas. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta avaliam a falta de padronização dos sistemas como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-baixa.

Tabela 5.60 Tabela de referência cruzada entre padronização e intensidade tecnológica

Intensidade	Padronização						Total
	1	3	4	5	6	7	
<i>Média-baixa</i>							
Contagem	3	3	4	12	25	22	69
%	4,3%	4,3%	5,8%	17,4%	36,2%	31,9%	100,0%
<i>Alta</i>							
Contagem		1	1	3	8	21	34
%		2,9%	2,9%	8,8%	23,5%	61,8%	37,4%

Figura 5.53 Histograma entre padronização e intensidade tecnológica



5.2.3.2.3 Análise de comparações dos resultados entre os grupos de Intensidade Tecnológica Média-alta e Alta

A Tabela 5.61 apresenta as comparações, pelo teste de Mann-Whitney, entre os quatro barreiras estatisticamente significativas identificadas pelo teste de Kruskal-Wallis e as empresas de nível de intensidade tecnológica média-alta e alta. Dessa forma é possível observar que três barreiras apresentaram diferenças significativas no teste: resistência organizacional (Resistência), falta de infraestrutura (Infraestrutura) e a falta de padronização dos sistemas (Padronização). Sendo assim, é possível afirmar que há diferenças estatisticamente significativas na percepção dessas três barreiras entre as empresas de nível de intensidade tecnológica média-alta e alta.

Tabela 5.61 Teste Mann-Whitney das barreiras por intensidade tecnológica

Barreiras	Rank Médio (Média-alta)	Rank Médio (Alta)	Mann-Whitney <i>p</i> valor
Governo e regulamentações	61,44	67,18	0,422
Resistência organizacional	58,28	75,63	0,015*
Perda de empregos	64,55	58,85	0,427
Falta de infraestrutura	58,49	75,07	0,010**
Padronização	57,18	78,59	0,002**

Nota.

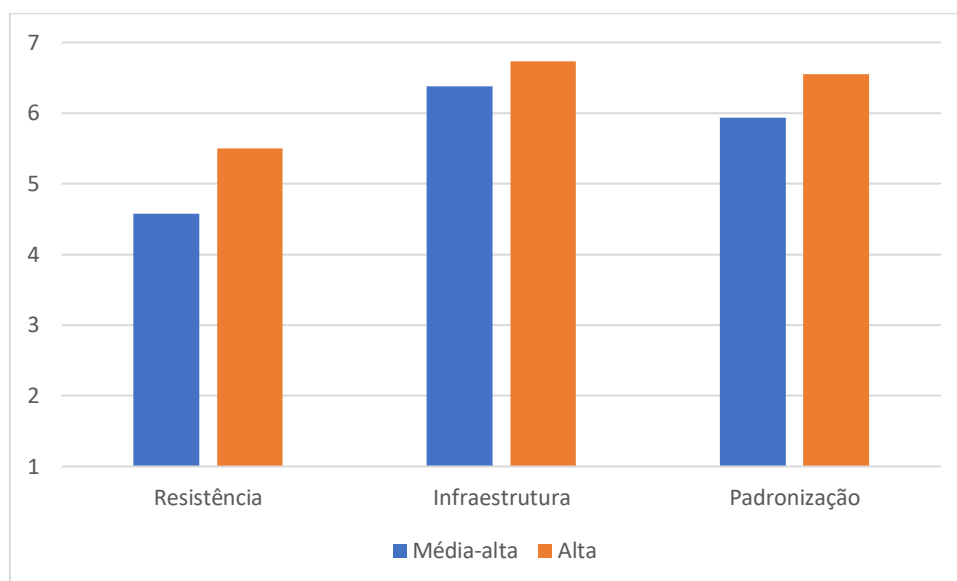
+*p*<0.1

**p*<0.05

***p*<0.01

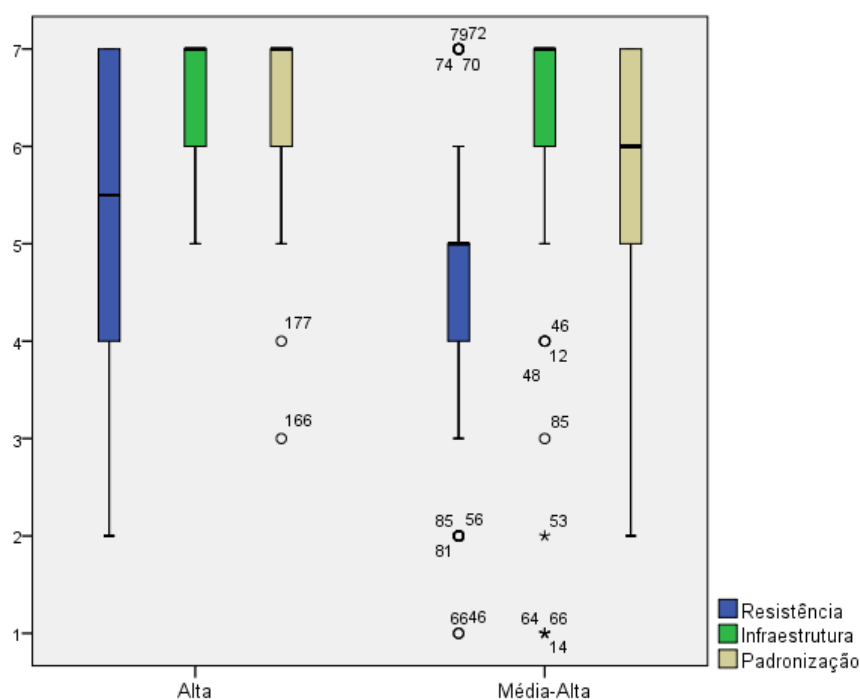
****p*<0.001

A Figura 5.54 apresenta as medianas agrupadas das três barreiras que apresentaram resultados estatisticamente significativos no teste de Mann-Whitney. A Tabela 5.62 apresenta as médias e medianas dessas barreiras. Por meio dessas informações é possível perceber que as barreiras resistência organizacional, falta de infraestrutura e a falta de padronização dos sistemas foram consideradas mais importantes pelas empresas de nível de intensidade tecnológica alta.

Figura 5.54 Gráfico de barras das barreiras significativas por intensidade tecnológica**Tabela 5.62** Resumo das barreiras significativas por nível de intensidade tecnológica

Intensidade	Resistência	Infraestrutura	Padronização
<i>Média-alta</i>			
Média	4,46	6,08	5,70
Mediana agrupada	4,58	6,38	5,94
Mediana	5,00	7,00	6,00
<i>Alta</i>			
Média	5,26	6,71	6,38
Mediana agrupada	5,50	6,73	6,55
Mediana	5,00	7,00	7,00

A Figura 5.55 apresenta o boxplot das barreiras que apresentaram diferenças significativas no teste de Mann-Whitney, em relação aos grupos de intensidade tecnológica Média-alta e Alta. Por meio desse gráfico é possível observar os valores mínimos e máximos das respostas das três barreiras.

Figura 5.55 Boxplot das barreiras significativas por intensidade tecnológica

A tabela 5.63 e a Figura 5.56 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira resistência organizacional de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-alta e alta. Por meio dela é possível observar que 20 (22,0%) respondentes das empresas de intensidade média-alta não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 22 (24,2%) não concordam e nem discordam da afirmação e 49 (53,8%) respondentes parecem concordar que a resistência organizacional é uma barreira que impacta a adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica alta é possível perceber que 7 (20,5%) não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 5 (14,7%) não concordam e nem discordam e 22 (64,8%) concordam que a adoção da Indústria 4.0 é impactada pela resistência organizacional. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta avaliam a resistência organizacional como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-alta.

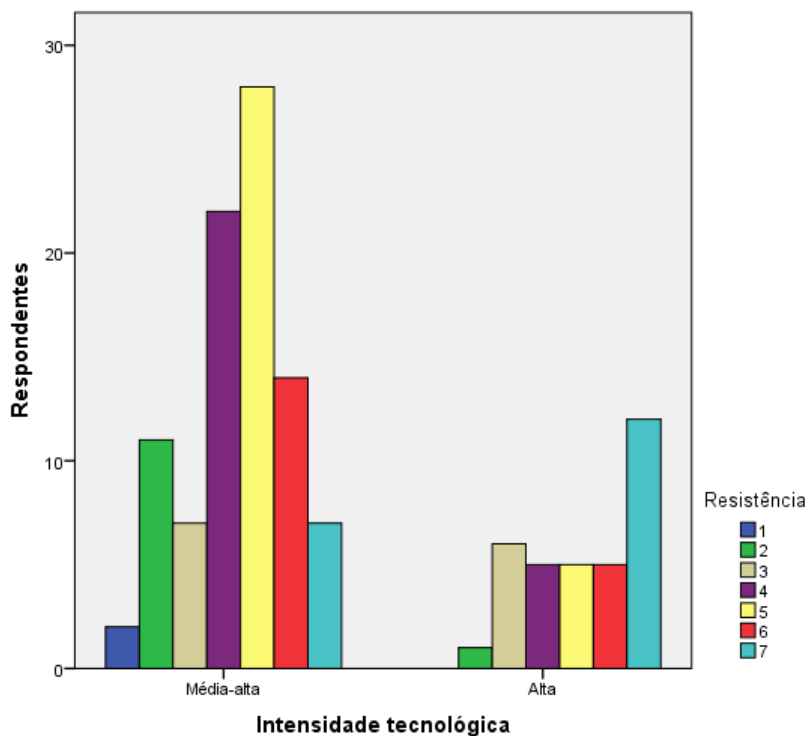
Tabela 5.63 Tabela de referência cruzada entre resistência e intensidade tecnológica

Intensidade	Resistência							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Média-alta</i>								
Contagem	2	11	7	22	28	14	7	91
%	2,2%	12,1%	7,7%	24,2%	30,8%	15,4%	7,7%	131,9%

Alta

Contagem	1	6	5	5	5	12	34
%	2,9%	17,6%	14,7%	14,7%	14,7%	35,3%	37,4%

Figura 5.56 Histograma entre resistência e intensidade tecnológica



A tabela 5.64 e a Figura 5.57 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira falta de infraestrutura de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-alta e alta. Por meio dela é possível observar que 5 (5,5%) respondentes das empresas de intensidade média-alta não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 3 (3,3%) não concordam e nem discordam da afirmação e 83 (91,2%) respondentes parecem concordar que a falta de infraestrutura é uma barreira que impacta a adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica alta é possível perceber que todos os 34 respondentes concordam que a adoção da Indústria 4.0 é impactada pela falta de infraestrutura. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta avaliam a falta de infraestrutura como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-alta.

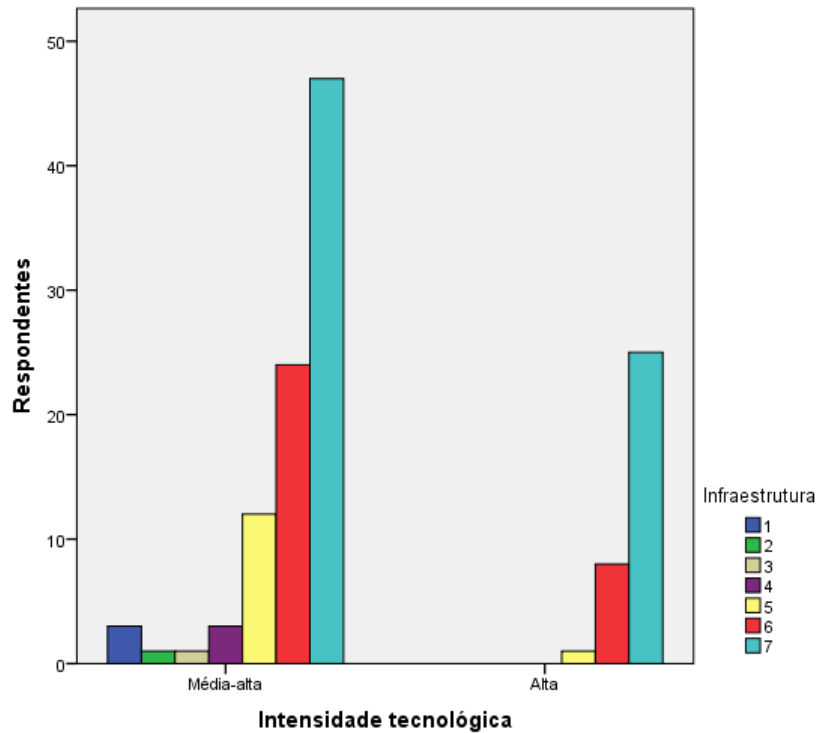
Tabela 5.64 Tabela de referência cruzada entre infraestrutura e intensidade tecnológica

Intensidade	Infraestrutura							Total
	1	2	3	4	5	6	7	
<i>Média-alta</i>								
Contagem	3	1	1	3	12	24	47	91
%	3,3%	1,1%	1,1%	3,3%	13,2%	26,4%	51,6%	131,9%

Alta

Contagem	1	8	25	34
%	2,9%	23,5%	73,5%	37,4%

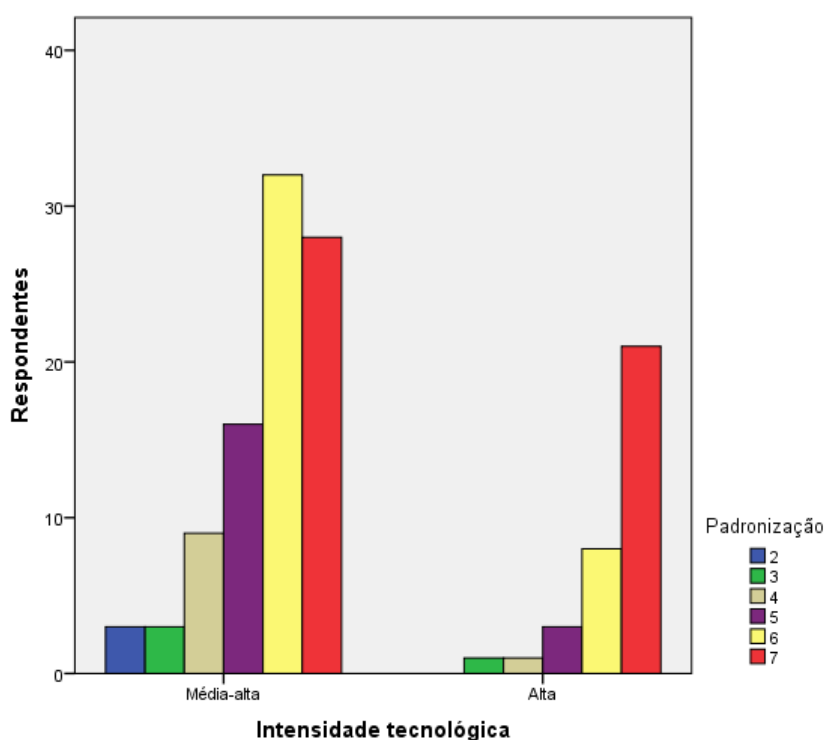
Figura 5.57 Histograma entre infraestrutura e intensidade tecnológica



A tabela 5.65 e a Figura 5.58 apresentam respectivamente a distribuição e o histograma da avaliação dos respondentes em relação à barreira falta de padronização dos sistemas de acordo com os níveis de intensidade tecnológica média-alta e alta. Por meio dela é possível observar que 6 (6,6%) respondentes das empresas de intensidade média-alta não concordam que essa barreira afeta a adoção da Indústria 4.0, 9 (9,9%) não concordam e nem discordam da afirmação e 76 (83,5%) respondentes parecem concordar que a falta de padronização dos sistemas é uma barreira que impacta a adoção da Indústria 4.0. Nas empresas de intensidade tecnológica alta é possível perceber que 1 (2,9%) respondente não concorda com a afirmação, 1 (2,9%) não concorda e nem discorda e 32 (94,2%) respondentes concordam que a adoção da Indústria 4.0 é impactada pela falta de padronização de sistemas. Dessa forma, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta avaliam a falta de padronização dos sistemas como uma barreira mais importante proveniente da implementação da Indústria 4.0 se comparado às percepções dos respondentes das empresas de intensidade média-alta.

Tabela 5.65 Tabela de referência cruzada entre padronização e intensidade tecnológica

Intensidade	Padronização						Total
	2	3	4	5	6	7	
<i>Média-alta</i>							
Contagem	3	3	9	16	32	28	91
%	3,3%	3,3%	9,9%	17,6%	35,2%	30,8%	131,9%
<i>Alta</i>							
Contagem		1	1	3	8	21	34
%		2,9%	2,9%	8,8%	23,5%	61,8%	37,4%

Figura 5.58 Histograma entre padronização e intensidade tecnológica

5.2.3.3 Discussão dos resultados em relação ao Nível de Intensidade Tecnológica

Esse tópico apresenta uma discussão e síntese dos principais resultados encontrados na pesquisa sobre os benefícios e barreiras em relação ao fator organizacional nível de intensidade tecnológica. Serão analisados benefícios e barreiras que possuem diferenças estatisticamente significativas nas opiniões dos respondentes em todos os níveis de intensidade tecnológica de acordo com os resultados dos testes de Kruskal-Wallis. Posteriormente serão discutidos os resultados dos testes de Mann-Whitney de acordo com os seguintes cruzamentos dos níveis de intensidade tecnológica: média-baixa e média-alta, média-baixa e alta, média-alta e alta. Esses resultados corroboram algumas pesquisas anteriores que afirmam que as particularidades no nível de intensidade tecnológica de setores diferentes parecem impactar a percepção dos

benefícios e barreiras em relação à adoção da Indústria 4.0 em manufaturas (Calabrese, Ghiron & Tiburzi, 2020; Ghobakhloo, 2019; Müller, 2019).

Os resultados da pesquisa mostram que três benefícios possuem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos de níveis de intensidade média-baixa e média-alta: aumento na produtividade/eficiência, aumento na qualidade e redução no consumo de recursos. Todos esses benefícios foram avaliados como mais importante pelos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa em comparação com os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-alta.

Na comparação entre os níveis de intensidade média-baixa e alta dois benefícios possuem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos: redução no consumo de recursos e novas oportunidades de modelos de negócios. O benefício redução no consumo de recursos foi avaliado como mais importante pelos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa em comparação com os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta. Por outro lado o benefício novas oportunidades de modelos de negócios foi avaliado como mais importante pelos respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta em comparação com os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa.

Na comparação entre os níveis de intensidade média-alta e alta o benefício novas oportunidades de modelos de negócios apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os grupos. Esse benefício foi avaliado como mais importante pelos respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta em comparação com os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-alta.

Os resultados da pesquisa mostram que benefícios que trazem melhorias operacionais foram avaliados como mais importante pelas respondentes das empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa, ou seja, de setores industriais que possuem geralmente um menor nível de complexidade dos seus produtos. Por outro lado o benefício mais estratégico da criação de novos modelos de negócios foi percebido como mais importante pelos respondentes das empresas de nível de intensidade tecnológica alta, ou seja, de setores industriais que possuem um maior nível de complexidade dos seus produtos.

Em relação às barreiras, os resultados mostram que, na comparação entre os níveis de intensidade média-baixa e média-alta, duas barreiras possuem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos: governo e regulamentações e falta de infraestrutura. A barreira governo e regulamentações foi avaliada como mais importante pelos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-alta em comparação com os respondentes das empresas que pertencem ao nível média-baixa. Por outro lado a barreira falta de infraestrutura foi avaliada como mais importante pelos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa em comparação com os respondentes das empresas que pertencem ao nível média-alta.

Na comparação entre os níveis de intensidade média-baixa e alta três barreiras possuem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos: governo e regulamentações, resistência organizacional e padronização dos sistemas. Todas essas barreiras foram avaliadas como mais importante pelos respondentes das empresas de

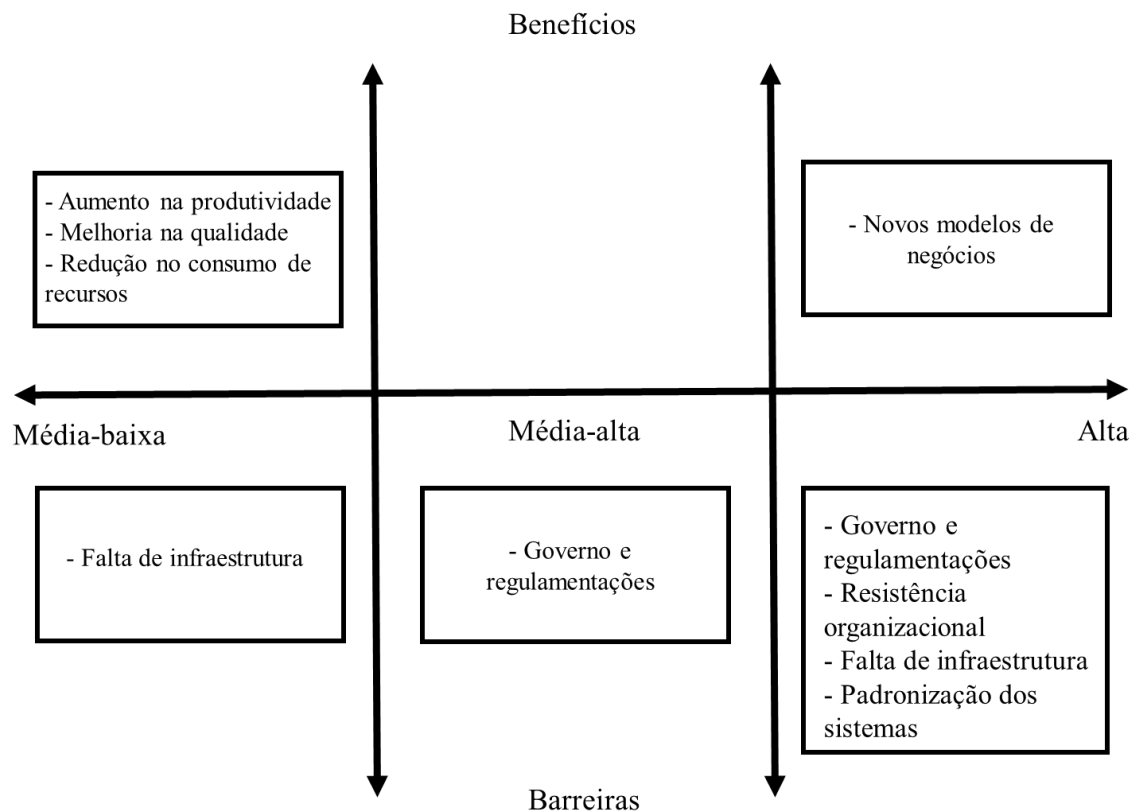
intensidade tecnológica alta em comparação com os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa.

Na comparação entre os níveis de intensidade média-alta e alta três barreiras possuem diferenças estatisticamente significativas entre os grupos: falta de infraestrutura, resistência organizacional e padronização dos sistemas. Todas essas barreiras foram avaliadas como mais importante pelos respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta em comparação com os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-alta.

Os resultados da pesquisa mostram que os respondentes das empresas de alta intensidade tecnológica avaliaram todas as barreiras estatisticamente significantes como mais importantes em comparação aos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta, dessa forma parece que os setores industriais que abarcam as empresas de alta intensidade tecnológica percebem esses desafios potenciais como mais importantes em relação ao setores industriais de menor complexidade tecnológica.

A Figura 5.59 apresenta a síntese dos resultados encontrados em relação ao nível de Intensidade tecnológica numa disposição que mostra, em cada nível de intensidade tecnológica, os benefícios e barreiras mais significativamente diferentes em relação aos outros níveis.

Figura 5.59 Síntese dos resultados em relação ao nível de Intensidade tecnológica



Os resultados da pesquisa estão em concordância com alguns trabalhos da literatura pesquisada que afirmam que a intensidade no uso das tecnologias em setores industriais distintos parecem afetar a percepção das empresas acerca dos benefícios e barreiras provenientes da adoção da Indústria 4.0 nas organizações (Calabrese, Ghiron & Tiburzi, 2020; Ghobakhloo, 2019; Müller, 2019).

Bosman, Hartman e Sutherland (2019) constataram que as empresas do setor industrial de fabricação de produtos metálicos, que pertenceriam ao nível de intensidade tecnológica média-baixa, de acordo com os nossos critérios de classificação, geralmente possuem menos recursos financeiros e de capital humano para investir em tecnologias mais aprimoradas, dessa forma essas manufaturas priorizam a utilização de tecnologias digitais nas suas operações com o intuito de melhorar a rastreabilidade dos seus recursos na cadeia de suprimentos, ou seja, adotam tecnologias que proporcionam benefícios de natureza mais operacional para as suas indústrias. Müller (2019) também constatou que empresas que pertencem a setores industriais que poderiam ser classificados como de intensidade tecnológica média-baixa, tal como as indústrias de fabricação de produtos metálicos, priorizam benefícios operacionais provenientes da Indústria 4.0 que auxiliam na redução de custos nas suas manufaturas.

Os benefícios mais operacionais, tais como o aumento na produtividade e eficiência, aumento na qualidade e redução no consumo de recursos nas manufaturas, foram avaliados como mais importantes pelos respondentes das empresas de média-baixa intensidade tecnológica em comparação aos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-alta e alta. Nesse aspecto é importante destacar que a amostra de empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa é formada por 42 organizações nacionais e 27 internacionais, conforme apresentado na Tabela 5.5. Conforme discussões apresentadas no item 5.2.2.3, os respondentes das empresas nacionais avaliaram os benefício de natureza mais operacionais como mais importantes em comparação aos respondentes das empresas internacionais. Por outro lado a amostra de empresas média-alta é composta de 80 organizações internacionais e 11 nacionais. Essa predominância de empresas nacionais no nível de intensidade tecnológica média-baixa pode ter impactado na avaliação dos benefícios operacionais como mais importantes, visto que empresas de países em desenvolvimento, como o Brasil, geralmente priorizam a adoção de tecnologias que promovem melhorias nos seus processos manufatureiros (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Dalenogare et al., 2018; Horváth & Szabó, 2019; Tortorella & Fettermann, 2018).

Todas as barreiras estatisticamente significantes foram avaliadas como mais importantes pelos respondentes das empresas de alta intensidade tecnológica em comparação aos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Calabrese, Ghiron e Tiburzi (2020) constataram que as empresas que pertencem ao setor industrial de fabricação de produtos eletrônicos, que pertenceriam ao nível de intensidade tecnológica alta, de acordo com os nossos critérios de classificação, possuem maior conhecimento e familiaridade em relação aos desafios para implementação da Indústria 4.0 nas suas operações. É importante ressaltar também que, conforme podemos observar na Tabela 5.5, todos os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta pertencem a empresas de porte grande. Conforme discussões apresentadas no item 5.2.1.3, os respondentes das empresas grandes

avaliaram todas as barreiras como mais importantes em comparação aos respondentes das empresas pequeno-médias. Dessa forma este resultado está em conformidade com pesquisas que afirmam que as empresas grandes possuem mais e melhores informações relacionadas às barreiras de adoção da Indústria 4.0 (Horváth & Szabó, 2019; Zheng et al., 2019).

6. Conclusões

O estudo da adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas é um fenômeno recente, em especial no campo da administração, e ainda existem diversas incertezas em relação ao impacto desse novo paradigma industrial em países em desenvolvimento, tal como o Brasil (Dalenogare et al., 2018; Sony & Naik, 2019; Veile et al., 2019). Este trabalho buscou responder à pergunta de pesquisa “Quais são os principais benefícios e barreiras relacionados à adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas no Brasil?” e entender como esses fatores se relacionam e são afetados pelo tamanho das empresas, origem do capital e nível de intensidade tecnológica.

Foi realizada uma revisão sistemática da literatura com o objetivo de identificar os principais benefícios e barreiras associados à implementação da Indústria 4.0 nas manufaturas na literatura científica. Foram selecionados 53 artigos que foram submetidos a análises bibliométricas e de conteúdo que culminaram na identificação de 10 benefícios e 9 barreiras provenientes da adoção da Indústria 4.0. Ademais foram identificados três fatores organizacionais que parecem afetar a percepção das empresas acerca dos benefícios e barreiras advindos da adoção desse novo paradigma industrial nas organizações. Esses resultados permitiram a criação de um framework teórico, apresentado na Figura 3.10, que apresenta os benefícios e barreiras decorrentes da adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas e os fatores organizacionais que podem impactar na percepção desses benefícios e barreiras pelas organizações.

O framework foi utilizado para criação do questionário enviado a profissionais de cargos gerenciais ou de diretoria das áreas de tecnologia da informação, inovação e operações de 127 empresas selecionadas para essa pesquisa por meio de critérios pré-estabelecidos de seleção da amostra. Esses profissionais pertencem a empresas que realizaram a implementação de soluções tecnológicas da Indústria 4.0 criadas pelas integradoras cadastradas na iniciativa Finep Inovacred 4.0 e estão listadas no Anexo 1. Foram recebidos 194 questionários preenchidos que foram submetidos às análises estatísticas descritivas e aos testes não-paramétricos de Mann-Whitney e de Kruskal-Wallis para análise da diferença na média de dois ou mais grupos. Os dados são analisados de acordo com os três critérios organizacionais identificados, isto é, em relação ao tamanho da empresa, à origem de capital e ao nível de intensidade tecnológica.

Os resultados deste trabalho mostram que respondentes das empresas de tamanho pequeno-médio avaliaram benefícios mais operacionais, tais como o aumento na qualidade e redução no consumo de recursos nas manufaturas, como mais importantes em relação aos respondentes das empresas grandes. Esses resultados apresentam conformidade com trabalhos, da literatura pesquisada, que afirmam que as empresas pequenas e médias no geral preferem adotar tecnologias da Indústria 4.0 que auxiliam no aumento da produtividade e qualidade dos processos das manufaturas (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Moeuf et al., 2018). As empresas pequeno-médias geralmente implementam a Indústria 4.0 nas suas manufaturas devido aos benefícios que podem promover melhorias operacionais nos seus processos de produção, optando por tecnologias que demandam menores investimentos e que não possuem características disruptivas (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Calabrese,

Ghiron & Tiburzi, 2020; Moeuf et al., 2018; Prause, 2019). Por outro lado, os respondentes das empresas grandes avaliaram benefícios mais estratégicos e gerenciais, tais como a fabricação de produtos inteligentes e apoio no processo de tomada de decisões, como mais importantes em relação aos respondentes das empresas pequeno-médias. Esses resultados também estão em concordância com trabalhos, da literatura pesquisada, que afirmam que as empresas de grande porte no geral preferem implementar tecnologias da Indústria 4.0 que suportam decisões estratégicas e que não se restringem a melhorias nos processos manufatureiros, abrangendo outros departamentos e áreas da organização (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Moeuf et al., 2018). As empresas grandes geralmente adotam a Indústria 4.0 devido às motivações internas que vão além dos benefícios mais operacionais e estão mais relacionadas aos objetivos estratégicos da empresa (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Calabrese, Ghiron & Tiburzi, 2020; Prause, 2019).

Outros resultados deste trabalho mostram que respondentes das empresas grandes avaliaram as barreiras demanda por novas habilidades dos empregados, segurança dos dados e privacidade e padronização dos sistemas como mais importante em comparação com os respondentes das empresas pequeno-médias. Estes resultados estão em conformidade com trabalhos, da literatura pesquisada, que afirmam que as empresas maiores são mais informadas em relação às barreiras relacionadas com o processo de implementação da Indústria 4.0 em comparação com as empresas pequeno-médias (Horváth & Szabó, 2019; Zheng et al., 2019). As manufaturas de grande porte possuem melhores informações relacionadas aos desafios da adoção das tecnologias que fazem parte da Indústria 4.0 nas suas operações, por isso tendem a ter mais conhecimento a respeito das barreiras de implementação desse novo paradigma industrial em relação às empresas de tamanho pequeno-médio (Zheng et al., 2019).

Rauch, Dallasega e Unterhofer (2019) afirmam que as empresas pequeno-médias avaliam a barreira novas demandas de habilidades dos empregados como mais importante do que as empresas grandes pois as organizações maiores geralmente possuem profissionais mais qualificados em relação às empresas menores. Nesse sentido os resultados obtidos neste trabalho foram diferentes, já que os respondentes das empresas grandes avaliam a demanda por novas habilidades dos empregados como mais importante do que os respondentes das empresas pequeno-médias. Este é um dos resultados obtidos, por este trabalho, que mereceriam um maior aprofundamento e pesquisas futuras para uma melhor compreensão sobre esta maior preocupação das empresas grandes brasileiras sobre a avaliação desta barreira.

Em relação à origem do capital, os resultados mostram que respondentes das empresas nacionais avaliaram benefícios mais operacionais, tais como o aumento na produtividade e eficiência, aumento na qualidade, redução no consumo de recursos nas manufaturas e produção enxuta, como mais importantes em relação aos respondentes das internacionais. Esses resultados apresentam conformidade com outros trabalhos que afirmam que empresas que possuem menor disponibilidade de capital para investimentos na Indústria 4.0, tal qual grande parte das empresas de países em desenvolvimento, priorizam a adoção de tecnologias que promovem melhorias operacionais nos seus processos manufatureiros e aumentam a produtividade das suas

indústrias (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Dalenogare et al., 2018; Horváth & Szabó, 2019; Tortorella & Fettermann, 2018).

Em relação às barreiras, os resultados deste trabalho mostram que os respondentes das empresas nacionais avaliaram a perda de empregos e altos investimentos como mais importante em comparação com os respondentes das empresas internacionais. Empresas com capital de países desenvolvidos, que podem receber capital internacional, geralmente possuem maior disponibilidade de recursos para investir nas novas tecnologias da Indústria 4.0 (Horváth & Szabó, 2019; Rauch, Dallasega & Unterhofer, 2019), dessa forma as empresas nacionais avaliaram os altos investimentos como um desafio mais importante em relação aos respondentes das empresas internacionais.

Por outro lado, os resultados desta pesquisa mostram que as barreiras demanda por novas habilidades dos empregados e segurança dos dados e privacidade foram avaliadas como mais importante pelos respondentes das empresas internacionais do que os respondentes das empresas nacionais. As empresas que possuem menor disponibilidade de capital para investir nas tecnologias da Indústria 4.0, tal qual grande parte das empresas de países em desenvolvimento, tendem a investir em tecnologias mais maduras e que demandam menos investimentos em relação às tecnologias mais inovadoras (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Dalenogare et al., 2018). Müller (2019) aponta a segurança de dados e privacidade como um importante desafio para a implementação da Indústria 4.0 em países desenvolvidos. A barreira governo e regulamentações foi apontada na pesquisa de Raj et al. (2019) como um dos desafios mais importantes para adoção da Indústria 4.0 em países em desenvolvimento, tal qual o Brasil, todavia este trabalho não apresentou diferenças estatisticamente significativas dessa barreira na comparação entre empresas de origem de capital nacional e internacional.

Em relação ao nível de intensidade tecnológica, os resultados do trabalho encontraram que os respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa avaliaram benefícios mais operacionais, tais como o aumento na produtividade e eficiência, aumento na qualidade e redução no consumo de recursos nas manufaturas, como mais importantes em relação aos respondentes das empresas de intensidades tecnológicas média-alta e alta. Sendo assim, os setores industriais que possuem um menor nível de intensidade no uso da tecnologia atribuem mais importância aos benefícios que promovem melhorias nas operacionais nas manufaturas. Estes resultados estão em conformidade com trabalhos, da literatura pesquisada, que afirmam que empresas que pertencem a setores industriais de intensidade tecnológica média-baixa geralmente adotam novas tecnologias com o intuito de gerar benefícios operacionais para as manufaturas, tais como a redução nos custos da operação e o aumento na eficiência dos seus processos internos (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Müller, 2019).

Além disso, é importante destacar que a amostra de empresas de nível de intensidade tecnológica média-baixa possui uma predominância de empresas nacionais que pode ter impactado na avaliação dos benefícios operacionais como mais importantes na medida em que existem pesquisas que afirmam as empresas nacionais

geralmente optam pela implementação de tecnologias que melhoram os processos das linhas de produção (Bosman, Hartman & Sutherland, 2019; Dalenogare et al., 2018; Horváth & Szabó, 2019; Tortorella & Fettermann, 2018). Por outro lado, os respondentes das empresas de intensidade tecnológica alta avaliaram o benefício fabricação de produtos inteligentes, de natureza mais estratégica e gerencial, como mais importante em relação aos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta.

Os resultados mostram também que respondentes das empresas de alta intensidade tecnológica avaliaram todas as barreiras estatisticamente significantes como mais importantes em comparação aos respondentes das empresas de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Calabrese, Ghiron e Tiburzi (2020) constataram que empresas que pertencem a setores industriais de intensidade tecnológica alta geralmente possuem mais conhecimento sobre a Indústria 4.0 e por isso estão mais familiarizadas com os desafios relacionados à adoção desse novo paradigma industrial. Além disso, visto que na amostra desta pesquisa as empresas de intensidade tecnológica alta são todas de porte grande, este resultado está em conformidade com pesquisas que afirmam que as empresas grandes possuem mais e melhores informações relacionadas às barreiras de adoção da Indústria 4.0 (Horváth & Szabó, 2019; Zheng et al., 2019).

Este trabalho traz como contribuição acadêmica o mapeamento dos principais benefícios e barreiras provenientes da adoção da Indústria 4.0 e uma maior compreensão do impacto dos fatores organizacionais tamanho das empresas, origem do capital e nível de intensidade tecnológica na avaliação desses benefícios e barreiras. Foi criado um framework que pode ajudar pesquisadores no desenvolvimento de questionários, em pesquisas futuras, a serem aplicados em diferentes regiões e países para um melhor entendimento das possíveis diferenças nas percepções de benefícios e barreiras por uma amostra heterogênea de empresas ou pelos efeitos da moderação de alguns fatores organizacionais como o tamanho da empresa, a origem do capital e a intensidade tecnológica.

Ademais os resultados mostram que, no geral, as empresas brasileiras de porte pequeno-médio tendem a avaliar como mais importantes os benefícios de natureza mais operacional enquanto as empresas internacionais de grande porte tendem a avaliar como mais importantes os benefícios de natureza mais estratégica e gerencial. Além disso, as empresas que pertencem a setores industriais de intensidade tecnológica média-baixa tendem a avaliar como mais importante os benefícios de natureza operacional em comparação aos setores industriais de intensidade tecnológica média-alta e alta. Dessa forma parece que empresas de diferentes portes, origens de capital e intensidades tecnológicas avaliam de forma diferente os benefícios provenientes da adoção da Indústria 4.0 nas manufaturas.

Em relação às barreiras, os resultados deste trabalho mostram que, no geral, as empresas internacionais de porte grande avaliam as barreiras como mais importante em comparação com empresas nacionais de porte pequeno-médio. As únicas exceções foram as barreiras perda de empregos e altos investimentos que foram avaliadas como mais importante pelas empresas nacionais em comparação com as internacionais. Além disso, as empresas que pertencem a setores industriais de intensidade tecnológica alta

avaliaram todas as barreiras como sendo mais importantes em comparação às empresas de intensidade tecnológica média-baixa e média-alta. Dessa forma parece que as empresas grandes, internacionais e de alta intensidade tecnológica possuem maior informação e conhecimento acerca dos desafios relacionados à adoção da Indústria 4.0 e a possibilidade de perda de empregos e os altos investimentos são barreiras importantes para a implementação desse novo paradigma industrial para empresas nacionais.

Este trabalho também traz implicações gerenciais relevantes, pois fornece informações importantes para as empresas que pretendem iniciar o processo de adoção dessas novas tecnologias. O conhecimento dos principais benefícios e barreiras relacionados ao processo de implantação das tecnologias da Indústria 4.0 na manufatura pode permitir que a adoção seja feita de forma mais efetiva pelas empresas. Profissionais de diferentes empresas que utilizam ou pretendem implementar a Indústria 4.0 na manufatura podem utilizar os conhecimentos sobre os benefícios e desafios identificados neste trabalho para explorar possíveis soluções para superá-los e reduzir riscos no processo de adoção.

Este artigo apresenta algumas limitações. Em relação à revisão sistemática da literatura foram utilizadas informações extraídas apenas das bases científicas Scopus e Web of Science, além disso foram pesquisados apenas documentos classificados como artigo científico em inglês, por isso outros estudos que não se enquadraram nesses critérios não fazem parte deste estudo. A coleta de dados se restringiu a profissionais que estivessem de acordo com os critérios de seleção determinados e que possuíssem conta no LinkedIn, portanto profissionais que não estavam presentes nessa rede social não receberam o convite para participar da pesquisa. Além disso, os respondentes não pertencem a todos os setores industriais classificados nos níveis de intensidade tecnológica alta, média-alta e média-baixa (Galindo-Rueda & Verger, 2016), dessa forma não é possível fazer generalizações dos resultados para todos os setores industriais pertencentes a esses três níveis de intensidades tecnológicas.

Estudos futuros podem utilizar o framework proposto neste trabalho para fundamentar pesquisas que investigam os construtos dos benefícios e barreiras provenientes da Indústria 4.0. Estudos futuros podem coletar dados de empresas considerando também outros fatores organizacionais, além dos três identificados e analisados neste trabalho, para considerar variações nas avaliações dos respondentes de acordo com particularidades das empresas. Estudos futuros podem coletar dados de empresas localizadas em países em desenvolvimento e desenvolvidos para entender as avaliações dos benefícios e barreiras da Indústria 4.0 de acordo com diferentes fatores culturais. Os benefícios e barreiras identificados podem servir de base para outros estudos, como, por exemplo, estratégias de recursos humanos nas empresas para minimizar a resistência organizacional e desenvolver novas competências nos profissionais no contexto da Indústria 4.0.

Estudos futuros podem abordar alguns resultados obtidos neste trabalho que estão em discordância com a literatura pesquisa. Rauch, Dallasega e Unterhofer (2019) constataram que as empresas pequenas e médias avaliam a demanda por novas habilidades como a barreira mais importante em comparação com as grandes organizações devido a possível existência de profissionais mais qualificados nas

empresas maiores. Nesse sentido o resultado do trabalho foi diferente, as empresas pequeno-médias avaliaram essa barreira como mais importante e novas pesquisas nesse tema podem ajudar na melhor compreensão dessa barreira por empresas de diferentes tamanhos. Além disso, Raj et al. (2019) afirmam que o maior desafio para a adoção desse novo paradigma industrial em países em desenvolvimento, como o Brasil, é o governo e as regulamentações, todavia neste trabalho não houve diferenças estatisticamente significativas dessa barreira na comparação de empresas nacionais e internacionais. Nesse sentido, este é um aspecto importante para trabalhos futuros avaliarem o impacto do governo e regulamentações na adoção da Indústria 4.0 em diferentes países para um melhor entendimento da importância dessa barreira para países em desenvolvimento.

Referências bibliográficas

- Agostini, L., & Filippini, R. (2019). Organizational and managerial challenges in the path toward Industry 4.0. *European Journal of Innovation Management*.
- Bosman, L., Hartman, N., & Sutherland, J. (2019). How manufacturing firm characteristics can influence decision making for investing in Industry 4.0 technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020). Smart factory performance and Industry 4.0. *Technological Forecasting and Social Change*, 150.
- Buer, S. V., Strandhagen, J. O., & Chan, F. T. (2018). The link between Industry 4.0 and lean manufacturing: mapping current research and establishing a research agenda. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2924-2940.
- Calabrese, A., Levialdi Ghiron, N., & Tiburzi, L. (2020). 'Evolutions' and 'revolutions' in manufacturers' implementation of industry 4.0: a literature review, a multiple case study, and a conceptual framework. *Production Planning & Control*, 1-15.
- Carvalho, M. M., Fleury, A., & Lopes, A. P. (2013). An overview of the literature on technology roadmapping (TRM): Contributions and trends. *Technological Forecasting and Social Change*, 80(7), 1418-1437.
- Chiarini, A., Belvedere, V., & Grando, A. (2020). Industry 4.0 strategies and technological developments. An exploratory research from Italian manufacturing companies. *Production Planning & Control*, 1-14.
- Chopra, V. & Priyadarshi, D. (2019). Role of Machine Learning in Manufacturing Sector. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. Volume-8 Issue-4
- CNI - Confederação Nacional da Indústria (2016). Industry 4.0: A New Challenge for Brazilian Industry. Disponível em: www.portaldaindustria.com.br/statistics/special-survey-industry-4-0/
- CNI - Confederação Nacional da Indústria (2018). Investimentos em Indústria 4.0. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/pqt-investimentos-em-industria-40/>
- Culot, G., Fattori, F., Podrecca, M., & Sartor, M. (2019). Addressing industry 4.0 cybersecurity challenges. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), 79-86.
- da Silva, D., Lopes, E. L., & Junior, S. S. B. (2014). Pesquisa quantitativa: elementos, paradigmas e definições. *Revista de Gestão e Secretariado*, 5(1), 01-18.
- da Silva, V. L., Kovaleski, J. L., Pagani, R. N., Silva, J. D. M., & Corsi, A. (2019). Implementation of Industry 4.0 concept in companies: Empirical evidences. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 1-18.
- Dachs, B., Kinkel, S., & Jäger, A. (2019). Bringing it all back home? Backshoring of manufacturing activities and the adoption of Industry 4.0 technologies. *Journal of World Business*, 54(6), 101017.
- Dalenogare, L. S., Benitez, G. B., Ayala, N. F., & Frank, A. G. (2018). The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. *International Journal of Production Economics*, 204, 383-394.
- Dalmarco, G., Ramalho, F. R., Barros, A. C., & Soares, A. L. (2019). Providing Industry 4.0 technologies: the case of a production technology cluster. *The Journal of High Technology Management Research*, 30(2), 100355.
- Davenport, T. H., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. *Harvard business review*, 96(1), 108-116.
- de Sousa Jabbour, A. B. L., Jabbour, C. J. C., Foropon, C., & Godinho Filho, M. (2018). When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable

- manufacturing wave? The role of critical success factors. *Technological Forecasting and Social Change*, 132, 18-25.
- Denyer, D. and Tranfield, D. (2009). Producing a Systematic Review. In: Buchanan; D. and Bryman, A., Eds., *The Sage Handbook of Organizational Research Methods*, London, pp. 671-689.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of management review*, 14(4), 532-550.
- Eisenhardt, K. M., & Graebner, M. E. (2007). Theory building from cases: Opportunities and challenges. *Academy of management journal*, 50(1), 25-32.
- Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2018). A critical investigation of Industry 4.0 in manufacturing: theoretical operationalisation framework. *Production Planning & Control*, 29(8), 633-644.
- Finep - Financiadora de Estudos e Projetos (2020). Finep Inovacred 4.0. Disponível em: www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/inovacred4-0
- Frambach, R. & Schillewaert, N. (2002). Organizational innovation adoption A multi-level framework of determinants and opportunities for future research. *Journal of Business Research* 55, pp. 163 – 176.
- Frank, A.G., Cortimiglia, M.N., Ribeiro, J.L.D., Oliveira, L.S. de, 2016. The effect of innovation activities on innovation outputs in the Brazilian industry: market-orientation vs. technology-acquisition strategies. *Res. Pol.* 45, 577–592.
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.
- Galindo-Rueda, F., & Verger, F. (2016). OECD taxonomy of economic activities based on R&D intensity.
- Gephart Jr, R. P. (2004). Qualitative research and the *Academy of Management Journal*. Vol. 47, No. 4, 454 - 62.
- Ghobakhloo, M. (2018). The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Ghobakhloo, M. (2019). Determinants of information and digital technology implementation for smart manufacturing. *International Journal of Production Research*, 1-22.
- Gölzer, P., & Fritzsche, A. (2017). Data-driven operations management: organisational implications of the digital transformation in industrial practice. *Production Planning & Control*, 28(16), 1332 -1343.
- Gomes, F. P., & Araújo, R. M. D. (2005). Pesquisa Quanti-Qualitativa em Administração: uma visão holística do objeto em estudo. *Seminários em administração*, 8, 1-11.
- Hair, Joseph F. et al. *Análise multivariada de dados*. Bookman editora, 2006.
- Hirsch-Kreinsen, H. (2016). Digitization of industrial work: development paths and prospects. *Journal for Labour Market Research*, 49(1), 1-14.
- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities?. *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119-132.
- Ing, T. S., Lee, T. C., Chan, S. W., Alipal, J., & Hamid, N. A. (2019). An Overview of the Rising Challenges in Implementing Industry 4.0. *Int. J. Sup. Chain. Mgt* Vol, 8(6), 1181.
- Islam, M. A., Jantan, A. H., Hashim, H., Chong, C. W., & Abdullah, M. M. (2018). Fourth Industrial Revolution in Developing Countries: A Case on Bangladesh. *Journal of Management Information and Decision Sciences (JMIDS)*, 21(1).

- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A., & Wahlster, W. (2013). Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group. Forschungsunion.
- Kagermann, H. (2015). Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In *Management of permanent change* (pp. 23-45). Springer Gabler, Wiesbaden.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Sharma, R. (2018). Analysis of the driving and dependence power of barriers to adopt industry 4.0 in Indian manufacturing industry. *Computers in Industry*, 101, 107-119.
- Kang, H. S., Lee, J. Y., Choi, S., Kim, H., Park, J. H., Son, J. Y., Kim, B. H., & Do Noh, S. (2016). Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. *International journal of precision engineering and manufacturing-green technology*, 3(1), 111-128.
- Kiel, D., Müller, J. M., Arnold, C., & Voigt, K. I. (2017). Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0. *International Journal of Innovation Management*, 21(08), 1740015.
- Klingenberg, C. O., Borges, M. A. V., & Antunes Jr, J. A. V. (2019). Industry 4.0 as a data-driven paradigm: a systematic literature review on technologies. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Kipper, L. M., Furstenuau, L. B., Hoppe, D., Frozza, R., & Iepsen, S. (2020). Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011–2018): a bibliometric analysis. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1605-1627.
- Ko, T., Lee, J. H., Cho, H., Cho, S., Lee, W., & Lee, M. (2017). Machine learning-based anomaly detection via integration of manufacturing, inspection and after-sales service data. *Industrial Management & Data Systems*.
- Liao, Y., Deschamps, F., Loures, E. D. F. R., & Ramos, L. F. P. (2017). Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal., *International journal of production research*, 55(12), 3609-3629.
- Lu, H. P., & Weng, C. I. (2018). Smart manufacturing technology, market maturity analysis and technology roadmap in the computer and electronic product manufacturing industry. *Technological Forecasting and Social Change*, 133, 85-94.
- Malhotra, N. K. (2006). *Pesquisa de Marketing: Uma Orientação Aplicada*. 4ª edição, Bookman Editora.
- Manzato, A. J., & Santos, A. B. (2012). A elaboração de questionários na pesquisa quantitativa. *Departamento de Ciência de Computação e Estatística–IBILCE–UNESP*, 1-17.
- Marconi, M. D. A. & Lakatos, E. M. (2010). *Metodologia científica*. 4. reimpr. São Paulo: Atlas.
- Marques, M., Agostinho, C., Zacharewicz, G., & Jardim-Gonçalves, R. (2017). Decentralized decision support for intelligent manufacturing in Industry 4.0. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(3), 299-313.
- MDIC - Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (2017). *Agenda Brasileira para a Indústria 4.0*. Disponível em: www.industria40.gov.br
- Meredith, J. (1998). Building operations management theory through case and field research. *Journal of operations management*, 16(4), 441-454.
- Moeuf, A., Pellerin, R., Lamouri, S., Tamayo-Giraldo, S., & Barbaray, R. (2018). The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. *International Journal of Production Research*, 56(3), 1118-1136.

- Mohamed, M. (2018). Challenges and benefits of Industry 4.0: an overview. *International Journal of Supply and Operations Management*, 5(3), 256-265.
- Moktadir, M. A., Ali, S. M., Kusi-Sarpong, S., & Shaikh, M. A. A. (2018). Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. *Process Safety and Environmental Protection*, 117, 730-741.
- Mourtzis, D., Fotia, S., Boli, N., & Vlachou, E. (2019). Modelling and quantification of industry 4.0 manufacturing complexity based on information theory: a robotics case study. *International Journal of Production Research*, 57(22), 6908-6921.
- Müller, J. M. (2019). Antecedents to digital platform usage in Industry 4.0 by established manufacturers. *Sustainability*, 11(4), 1121.
- Neirotti, P., Raguseo, E., & Paolucci, E. (2018). How SMEs develop ICT-based capabilities in response to their environment. *Journal of Enterprise Information Management*.
- OECD. (2011). ISIC Rev. 3 Technology Intensity Definition, OECD Directorate for Science, Technology and Industry Economic Analysis and Statistics Division.
- Ooi, K. B., Lee, V. H., Tan, G. W. H., Hew, T. S., & Hew, J. J. (2018). Cloud computing in manufacturing: The next industrial revolution in Malaysia?. *Expert Systems with Applications*, 93, 376-394.
- Olsen, T. L., & Tomlin, B. (2020). Industry 4.0: Opportunities and Challenges for Operations Management. *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(1), 113-122.
- Pedroso, M. C., Zwicker, R., & de Souza, C. A. (2009). RFID adoption: framework and survey in large Brazilian companies. *Industrial Management & Data Systems*.
- Piccarozzi, M., Aquilani, B., & Gatti, C. (2018). Industry 4.0 in management studies: A systematic literature review. *Sustainability*, 10(10), 3821.
- Prause, M. (2019). Challenges of Industry 4.0 Technology Adoption for SMEs: The Case of Japan. *Sustainability*, 11(20), 5807.
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., de Sousa Jabbour, A. B. L., & Rajak, S. (2019). Barriers to the adoption of industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*.
- Rauch, E., Dallasega, P., & Unterhofer, M. (2019). Requirements and Barriers for Introducing Smart Manufacturing in Small and Medium-Sized Enterprises. *IEEE Engineering Management Review*, 47(3), 87-94.
- Rocha, C. F., Mamédio, D. F., & Quandt, C. O. (2019). Startups and the innovation ecosystem in Industry 4.0. *Technology Analysis & Strategic Management*, 31(12), 1474-1487.
- Rogers, E.M. (2003), *Diffusion of Innovations*, 5th ed., The Free Press, New York, N.
- Romero-Silva, R., & Hernández-López, G. (2019). Shop-floor scheduling as a competitive advantage: A study on the relevance of cyber-physical systems in different manufacturing contexts. *International Journal of Production Economics*.
- Sale, J. E., Lohfeld, L. H., & Brazil, K. (2002). Revisiting the quantitative-qualitative debate: Implications for mixed-methods research. *Quality and Quantity*, 36(1), 43-53.
- Sampaio, R., Mancini, M. (2007). Estudos de revisão sistemática: uma guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, vol 11, n 1, pp. 83-89
- Saniuk, S., & Saniuk, A. (2018). Challenges of industry 4.0 for production enterprises functioning within cyber industry networks. *Management Systems in Production Engineering*.

- SEBRAE. (2006). Nota metodológica para definição dos números básicos de MPE. Brasília, DF
- Shah, S. K., & Corley, K. G. (2006). Building better theory by bridging the quantitative–qualitative divide. *Journal of management studies*, 43(8), 1821-1835.
- Siegel, S., & Castellan Jr, N. J. (2006). *Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento*. Artmed Editora.
- Singh, R., & Bhanot, N. (2019). An integrated DEMATEL-MMDE-ISM based approach for analysing the barriers of IoT implementation in the manufacturing industry. *International Journal of Production Research*, 1-23.
- Sjödin, D. R., Parida, V., Leksell, M., & Petrovic, A. (2018). Smart Factory Implementation and Process Innovation: A Preliminary Maturity Model for Leveraging Digitalization in Manufacturing Moving to smart factories presents specific challenges that can be addressed through a structured approach focused on people, processes, and technologies. *Research-Technology Management*, 61(5), 22-31.
- Ślusarczyk, B. (2018). Industry 4.0: Are we ready?. *Polish Journal of Management Studies*, 17.
- Sony, M., & Naik, S. (2019). Critical factors for the successful implementation of Industry 4.0: a review and future research direction. *Production Planning & Control*, 1-17.
- Sony, M., & Naik, S. (2019). Ten lessons for managers while implementing Industry 4.0. *IEEE Engineering Management Review*, 47(2), 45-52.
- Stentoft, J., & Rajkumar, C. (2019). The relevance of Industry 4.0 and its relationship with moving manufacturing out, back and staying at home. *International Journal of Production Research*, 1-21.
- Stevenson, W. J. (1986) *Estatística Aplicada à Administração*. Editora Harbra Ltda.
- Strange, R., & Zucchella, A. (2017). Industry 4.0, global value chains and international business. *Multinational Business Review*.
- Sung, T. K. (2018). Industry 4.0: a Korea perspective. *Technological forecasting and social change*, 132, 40-45.
- Szász, L., Demeter, K., Rácz, B. G., & Losonci, D. (2020). Industry 4.0: a review and analysis of contingency and performance effects. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Tortorella, G. L., & Fettermann, D. (2018). Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2975-2987.
- Tortorella, G. L., Giglio, R., & van Dun, D. (2019). Industry 4.0 adoption as a moderator of the impact of lean production practices on operational performance improvement. *International journal of operations & production management*.
- Tortorella, G. L., Rossini, M., Costa, F., Portioli Staudacher, A., & Sawhney, R. (2019). A comparison on Industry 4.0 and Lean Production between manufacturers from emerging and developed economies. *Total Quality Management & Business Excellence*, 1-22.
- Tortorella, G. L., Vergara, A. M. C., Garza-Reyes, J. A., & Sawhney, R. (2020). Organizational learning paths based upon industry 4.0 adoption: An empirical study with Brazilian manufacturers. *International Journal of Production Economics*, 219, 284-294.
- Tuptuk, N., & Hailes, S. (2018). Security of smart manufacturing systems. *Journal of manufacturing systems*, 47, 93-106.

- Veile, J. W., Kiel, D., Müller, J. M., & Voigt, K. I. (2019). Lessons learned from Industry 4.0 implementation in the German manufacturing industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*.
- Voss, C., Tsiriktsis, N., & Frohlich, M. (2002). Case research in operations management. *International journal of operations & production management*.
- Whysall, Z., Owtram, M., & Brittain, S. (2019). The new talent management challenges of Industry 4.0. *Journal of Management Development*.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International Journal of Production Research*, 56(8), 2941-2962.
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: design and methods*. Sixth edition. Los Angeles: SAGE
- Zangiacomi, A., Pessot, E., Fornasiero, R., Bertetti, M., & Sacco, M. (2020). Moving towards digitalization: A multiple case study in manufacturing. *Production Planning & Control*, 31(2-3), 143-157.
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., Perona, M., & Zanardini, M. (2019). The impacts of Industry 4.0: a descriptive survey in the Italian manufacturing sector. *Journal of Manufacturing Technology Management*.

Apêndices

Apêndice 1: Questionário

Indústria 4.0

Prezado(a) respondente,

Meu nome é Felipe Bastos dos Reis e estou desenvolvendo uma pesquisa sobre Indústria 4.0 em manufaturas em meu Mestrado na FEA/USP, orientado pelo Prof. Alceu Salles. Foram selecionados os principais profissionais das mais importantes empresas de manufaturas avançadas do Brasil e seria uma grande satisfação poder contar com a sua participação respondendo ao questionário abaixo.

São 21 questões e o tempo estimado para o preenchimento é de 5 minutos. Suas respostas são anônimas e serão utilizadas exclusivamente para a análise que será feita de forma consolidada, em conjunto com todas as respostas dos outros respondentes e será utilizada somente para fins acadêmicos.

Caso tenha interesse em receber os resultados dessa pesquisa por favor me informe o seu e-mail pelo LinkedIn.

Por gentileza, envie a resposta até o dia 26/04. Agradecemos muito a sua atenção e disponibilidade e ficamos à disposição caso exista alguma dúvida, para isso basta nos contatar pelos e-mails: felipebastos@usp.br e alceu@usp.br

***Obrigatório**

As afirmações abaixo devem ser respondidas utilizando uma escala de pontuação de 1 a 7, onde 1 = Discordo totalmente e 7 = Concordo totalmente.

1. A adoção da Indústria 4.0 aumenta a produtividade e eficiência da manufatura *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5 6 7

Discordo totalmente
totalmente

Concordo

18. A adoção da Indústria 4.0 na manufatura pode gerar incertezas em relação aos retornos financeiros *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Discordo totalmente totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

19. A falta de padronização dos sistemas dificulta a adoção da Indústria 4.0 na manufatura *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	6	7	
Discordo totalmente totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo

20. A sua empresa possui um total de *

Marcar apenas uma oval.

- 20 a 499 colaboradores
- Mais de 500
colaboradores

21. O capital social da sua empresa é majoritariamente *

Marcar apenas uma oval.

- Nacional
- Internacional

Anexos

Anexo 1: Finep Inovacred 4.0



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÕES



Integradoras Credenciadas
Finep Inovacred 4.0



Data de atualização: 26/06/2020

Nome da Integradora	CNPJ	Contato Comercial	E-mail	Telefone
SPI Integração de Sistemas Ltda	01.074.946/0001-65	Tadeu Vianna	tadeudiego@integradora.com.br	(51) 3091 7119 (51) 99842 9932
Hahntel S.A. (Pollux)	01.533.865/0001-86	Peterson Michels	peterson.michels@pollux.com.br	(47) 3025 9034 (47) 98832 3274
Audaces Automação e Informática Industrial Ltda	85.236.743/0001-18	Kalinka Salvi	kalinka.salvi@audaces.com	(48) 2107 3737 (48) 99945 5506
GreyLogix Brasil Máquinas Ltda	12.218.713/0001-05	Renato Leal	leal@greylogix.com.br	(47) 3645 5277 (48) 99963 2526
IHM Engenharia e Sistemas de Automação Ltda	00.388.601/0001-13	Gilson Pinheiro	gilson.pinheiro@ihm.com.br	(81) 99576 0555
Harbor Informática Industrial Ltda	01.097.735/0001-48	Paulo Narciso Filho	paulo.narciso@harbor.com.br	(48) 3333 2249 (48) 99960 7686
Powermig Automação e Soldagem Ltda	08.380.295/0001-80	Marcelo Leal	marcelo@powermig.com.br	(54) 3022 5063 (54) 99127 2948
Alltech Máquinas e Equipamentos Ltda.	07.884.692/0001-27	Adaiana Fossa	contabil_alltech@grupoalltech.com.br	(47) 3029-8300
Libracom Automação Industrial Ltda.	93.860.997/0001-30	Leandro Henrique Krug	fa@galapos.com.br	(51) 3312-5200
Welle Tecnologia Laser S/A	10.313.289/0001-52	Gabriel Bottós	gbottos@wellelaser.com	(48) 3025-0722 (48) 99982-3892
RMA Automação	24.655.406/0001-70	Anderson Bomm	anderson@rma.ind.br	(49) 3025-0002 (49) 99809-4521
Sumig Robótica e Automação Ltda	12.755.329/0001-41	Cristina Dalla Rosa	cristina.dallarosa@sumig.com	(54) 3220-3900 (54) 98141-3547
Dalca Robótica Ltda	23.171.257/0001-01	Suelen Canossa	suelen@dalcabrasil.com.br	(54) 3451-2950
Selettra Automação e Robótica Ltda	07.781.920/0001-33	Sidnei Antonio Gularte	sidnei@selettra.com.br	(41) 3383-0403

Fonte: Finep - Financiadora de Estudos e Projetos (2020)