



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

Faculdade de Engenharia Mecânica

FÁBIO ROGÉRIO MUZARANHO JUNIOR

Identificação de barreiras para implementação da Indústria 4.0 em pequenos negócios

CAMPINAS

2025

FÁBIO ROGÉRIO MUZARANHO JUNIOR

Identificação de barreiras para implementação da Indústria 4.0 em pequenos negócios

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, na Área de Materiais e Processos de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Batocchio

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA
PELO ALUNO FÁBIO ROGÉRIO MUZARANHO
JUNIOR E ORIENTADA PELO PROF. DR. ANTONIO
BATOCCHIO.

CAMPINAS

2025

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

M987i Muzarinho Junior, Fábio Rogério, 1995-
Identificação de barreiras para implementação da Indústria 4.0 em pequenos negócios / Fábio Rogério Muzarinho Junior. – Campinas, SP : [s.n.], 2025.

Orientador: Antonio Batocchio.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Mecânica.

1. Indústria 4.0. 2. Pequenas e médias empresas. 3. Internet das coisas. 4. Processo decisório. 5. Transformação digital. I. Batocchio, Antonio, 1953-. II. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Mecânica. III. Título.

Informações complementares

Título em outro idioma: Identification of barriers to implementing industry 4.0 in small businesses

Palavras-chave em inglês:

Industry 4.0

Small and medium-sized enterprises

Internet of things

Decision-making process

Digital transformation

Área de concentração: Materiais e Processos de Fabricação

Titulação: Mestre em Engenharia Mecânica

Banca examinadora:

Antonio Batocchio [Orientador]

Robert Eduardo Cooper Ordoñez

Marcos Ricardo Rosa Georges

Data de defesa: 03-07-2025

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Mecânica

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

ODS: 9. Inovação e infraestrutura

ODS: 8. Trabalho decente e crescimento econômico

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0009-0007-3710-5462>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/3398744009273722>

Antonio Batocchio

Robert Eduardo Cooper Ordoñez

Marcos Ricardo Rosa Georges

A Ata de Defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre foram a minha base para ser quem sou.

À minha futura esposa, que me ajuda a realizar sonhos e ser um melhor ser humano.

À minha avó, a qual sempre me incentivou a estudar e perseguir meus sonhos.

À Deus, por me guiar em todas as dificuldades que enfrentei.

Agradecimentos

Ninguém faz nada sozinho na vida e gostaria de agradecer às pessoas que permitiram que eu alcançasse este objetivo:

Ao professor Dr. Antonio Batocchio, pela maestria em orientar, parceria, paciência e por contribuir com seu valioso conhecimento, os quais foram essenciais na construção deste trabalho.

Aos professores Drs. Rosley Anholon e Robert Cooper Ordoñez, que contribuíram imensamente na melhoria deste trabalho durante a qualificação e em suas aulas nas disciplinas cursadas.

Ao professor Dr. Jefferson de Souza, por compartilhar seu conhecimento em metodologia científica.

Ao professor Dr. Ruy de Quadros, por compartilhar seu conhecimento na disciplina de inovação.

À Jessica Araujo Cordeiro e a Bruna Freitas Romero, bem como seus colegas da Secretaria de Pós-Graduação, que me ajudaram nos procedimentos acadêmicos durante minha jornada.

Aos colegas do Comitê de Ética da Unicamp na orientação quanto aos procedimentos para submissão do projeto.

Aos meus pais, padrasto e madrasta, pelo incentivo, apoio, sem medir esforços, para que eu pudesse concluir este trabalho.

À minha futura esposa, Laís, pela compreensão, apoio e paciência durante às noites, finais de semana e feriados guardados.

À minha querida avó, Laurinda, minha segunda mãe, meu exemplo de ser humano, de bondade e humildade.

Aos meus amigos, por toda a compreensão nas ausências e ajuda durante o período do curso de mestrado.

E por fim, à Jesus Cristo, por me dar todas as condições para seguir em frente todos os dias.

“O que sabemos é uma gota, o que ignoramos
é um oceano.”

(Sir Isaac Newton)

Resumo

A Indústria 4.0 representa uma nova etapa da manufatura, marcada pela integração entre tecnologias digitais, físicas e biológicas, com destaque para sistemas Ciberfísicos, Internet das Coisas (*IoT*), automação inteligente e análise de dados em monitoramento contínuo, visando ganhos significativos em eficiência, flexibilidade e competitividade. No entanto, a adoção dessas tecnologias ainda se mostra desafiadora para pequenos negócios, que frequentemente enfrentam diversas limitações. Diante disso, a presente dissertação teve como objetivo propor e aplicar uma sistematização metodológica para a identificação e tratamento de barreiras à implantação da I4.0 em MPEs. A pesquisa partiu de uma Revisão Sistemática da Literatura, que consolidou um panorama de 51 barreiras, e aplicou a sistematização em uma MPE do setor alimentício através de uma abordagem mista. Esta combinou observação direta com a aplicação de ferramentas de tomada de decisão para priorizar e modelar a influência estrutural dos obstáculos. Como resultado, a análise de prioridades revelou uma alta concentração do problema em quatro categorias: Financeiras, Infraestrutura e Tecnologia, Culturais e Gestão e Habilidades e Conhecimento. No nível específico, os obstáculos de maior impacto percebido foram o "Custo e Investimento Inicial Elevado", as "Inadequações na Infraestrutura" e a "Falta de habilidades na Gestão e Implementação". A análise estrutural, por sua vez, complementou este achado ao posicionar as barreiras Governamentais e Regulatórias como a causa que exerce maior influência sobre as demais, especialmente sobre as dificuldades financeiras. Estes achados quantitativos foram diretamente corroborados pela observação direta, que confirmou a presença de fortes limitações de recursos e um déficit de planejamento estratégico na empresa. Adicionalmente, foi estruturada uma proposta de projeto-piloto de baixo custo, demonstrando um caminho viável para a superação das barreiras mais críticas e para o início da jornada de transição digital.

Palavras-Chave: Indústria 4.0, pequenos negócios, barreiras à I4.0, tomada de decisão, transição digital.

Abstract

Industry 4.0 represents a new stage of manufacturing, marked by the integration of digital, physical, and biological technologies—notably Cyber-Physical Systems, the Internet of Things (IoT), intelligent automation, and continuous data analysis—aiming for significant gains in efficiency, flexibility, and competitiveness. However, the adoption of these technologies proves challenging for small businesses, which frequently face structural, financial, and cultural limitations. Therefore, this dissertation aims to propose and apply a methodological systematization to identify and address barriers to I4.0 implementation in SMEs. The research began with a Systematic Literature Review, which consolidated a landscape of 51 barriers, and then applied the systematization in an SME from the food sector through a mixed-methods approach. This approach combined direct observation with the application of decision-making tools to prioritize the perceived impact of the barriers and model their structural influence. As a main result, the priority analysis revealed a high concentration of the problem in four categories: Financial, Infrastructure & Technology, Cultural & Management, and Skills & Knowledge. At the specific level, the obstacles with the highest perceived impact were "High Initial Cost and Investment," "Infrastructure Inadequacies," and "Lack of Management and Implementation Skills." The structural analysis, in turn, complemented this finding by positioning Governmental and Regulatory barriers as the cause with the greatest influence over the others, especially on financial difficulties. These quantitative findings were directly corroborated by direct observation, which confirmed the presence of strong resource limitations and a strategic planning deficit within the company. Additionally, a low-cost pilot project proposal was structured, demonstrating a viable path to overcome the most critical barriers and to begin the digital transition journey.

Keywords: Industry 4.0, small businesses, barriers to I4.0, decision making, digital transition.

Lista de Ilustrações

FIGURA 1 - ESTRUTURA E CRONOGRAMA DE PLANEJAMENTO DA METODOLOGIA DE PESQUISA .	23
FIGURA 2 – FASES DA RSL	26
FIGURA 3 - ESCOPO DA ETAPAS 1, FASE 0 DA RSL.....	28
FIGURA 4 - DIAGRAMAS ESTRATÉGICOS DOS PERÍODOS 2011-2016, 2017-2020 E 2020-2024, RESPECTIVAMENTE. (CONT.)	29
FIGURA 5 - EVOLUÇÃO DE PUBLICAÇÕES COM OS TERMOS “I4.0” E “I4.0 + MPMEs ”	31
FIGURA 6 - FILTROS E RESULTADOS DE PESQUISA INICIAL	35
FIGURA 7 - CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS	37
FIGURA 8 - ARTIGOS RELEVANTES POR ANO	38
FIGURA 9 - ARTIGOS PUBLICADOS POR PAÍS	39
FIGURA 10 - QUANTIDADE DE ARTIGOS PUBLICADOS POR <i>JOURNALS</i>	39
FIGURA 11 - RELAÇÃO DOS AUTORES MAIS REFERENCIADOS DOS ARTIGOS RELEVANTES.....	40
FIGURA 12 - PROCESSO DE ANÁLISE DE CONTEÚDO INDUTIVA.....	47
FIGURA 13 - CONCEITO SMART	54
FIGURA 14 - ELEMENTOS TECNOLÓGICOS DA I4.0	58
FIGURA 15 - INTEGRAÇÃO DE DATA ANALYTICS E COMPUTAÇÃO EM NUVEM	60
FIGURA 16 - ESTÁGIOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA I4.0	63
FIGURA 17 - CURVA TECNOLÓGICA DE FOSTER INTEGRADA AO CICLO DE VIDA DE ADOÇÃO DE MOORE.....	68
FIGURA 18 - EVOLUÇÃO DE PUBLICAÇÕES DE ARTIGOS DE I4.0 EM MPES.....	72
FIGURA 19 - SUBSÍDIOS RELATIVOS A I4.0 EM MPMEs NO MUNDO.....	76
FIGURA 20 - ESQUEMA DE SUPORTE FINANCEIRO DAS INSTITUIÇÕES DA UE	77
FIGURA 21 – VINTE PAÍSES COM MAIOR NÚMERO DE ARTIGOS PUBLICADOS DESDE 2012 SOBRE I4.0 EM PEQUENOS NEGÓCIOS	79
FIGURA 22 - MAPA MENTAL SOBRE AS BARREIRAS NA ADOÇÃO DA I4.0 EM PEQUENOS NEGÓCIOS	92
FIGURA 23 - VISÃO MACRO DA PROPOSTA DO MÉTODO PARA IMPLANTAÇÃO DE PROJETOS DE DIGITALIZAÇÃO.	93
FIGURA 24 - ETAPAS DO MAPEAMENTO ESTRATÉGICO.....	94
FIGURA 25 - ESTRUTURA DO <i>AHP</i> PARA O PRESENTE ESTUDO	96
FIGURA 26 - EXEMPLO HIPOTÉTICO DO RESULTADO DO <i>ISM-MICMAC</i>	97
FIGURA 27 - MÉTODO DE APLICAÇÃO DA PROPOSTA.	98
FIGURA 28 - ORGANOGrama OBSERVADO DA EMPRESA BETA	100
FIGURA 29 - LAYOUT BÁSICO GERADO ATRAVÉS DA OBSERVAÇÃO FEITA	101
FIGURA 30 - RELAÇÕES HIERÁRQUICAS (<i>ISM</i>)) DAS BARREIRAS AVALIADAS PELA EMPRESA BETA	109
FIGURA 31 -MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO (<i>MICMAC</i>) DAS BARREIRAS AVALIADAS PELA EMPRESA BETA	109
FIGURA 32 - FLUXO DO PROCESSO ATUAL	111
FIGURA 33 - <i>FRAMEWORK</i> DA PROPOSTA.....	114
FIGURA 34 - DIAGRAMA DE PARETO PARA AS CATEGORIAS - <i>AHP</i>	116
FIGURA 35: DIAGRAMA DE PARETO PARA AS BARREIRAS – <i>AHP</i>	117

Lista de Quadros

QUADRO 1 - CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	21
QUADRO 2 - CRITÉRIOS DE BUSCA	32
QUADRO 3 – CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO (CONT.).....	33
QUADRO 4 - CRITÉRIOS DE ANÁLISE DOS RESUMOS	36
QUADRO 5 - RESUMO DOS ARTIGOS DA RSL (CONT.).....	41
QUADRO 6 – RESULTADO DO AGRUPAMENTO E CATEGORIZAÇÃO DAS BARREIRAS (CONT.).....	48
QUADRO 7 - ALGUMAS DEFINIÇÕES DO CONCEITO DA I4.0	52
QUADRO 8 - DESCRIÇÕES DAS ARQUITETURAS DE REFERÊNCIA DA I4.0	57
QUADRO 9 - FERRAMENTAS E ABORDAGENS DA LITERATURA NO TRATAMENTO DE BARREIRAS DE PEQUENOS NEGÓCIOS À I4.0 (CONT.).....	87
QUADRO 10 - LISTA DE COMPONENTES BÁSICOS PARA O PROJETO.....	113

Lista de Tabelas

TABELA 1 - RESULTADOS DO AHP	106
TABELA 2: PESOS DAS BARREIRAS POR CATEGORIA E GERAL (CONT.).....	107

Lista de Abreviaturas e Siglas

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
ANP	<i>Analytical Network Process</i>
BDA	<i>Big Data Analytics</i>
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
BULI	<i>Basic Uncertain Linguistic Information</i>
CAD/CAM	<i>Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing</i>
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CLP	Controlador lógico programável
CNC	Comando Numérico Computadorizado
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CRITIC	<i>Criteria Importance Through Intercriteria Correlation</i>
CRM	<i>Customer Relationship Management</i>
DEMATEL	<i>Decision Making Trial and Evaluation Laboratory</i>
EMBRAPII	Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
EUA	Estados Unidos da América
FAHP	<i>Fuzzy Analytic Hierarchy Process</i>
HOQ-QFD	<i>House of Quality-Quality Function Deployment</i>
I4.0	Indústria 4.0
I5.0	Indústria 5.0
IA	Inteligência Artificial
IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
IIRA	<i>Industrial Internet Reference Architecture</i>
IMPULS	<i>Industrie Management Projekt zur Umsetzung von Lösungen für die Smart Factory</i>
IoS	<i>Internet of Services</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IRP	<i>Interpretive Ranking Process</i>
ISM	<i>Interpretive Structural Modeling</i>
IT2F - BWM	<i>Interval Type 2 Fuzzy Best Worst Method</i>
IT2F - DEMATEL	<i>Interval Type 2 Fuzzy DEMATEL</i>
IVRA	<i>Industrial Virtualization Reference Architecture</i>
LASFA	<i>Local Agile Smart Factory Architecture</i>
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MCDM	<i>Multi Criteria Decision Making</i>
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MICMAC	<i>Matrice d'Impacts Croisés Multiplication Appliquée à un Classement</i>
MPEs	Micro e Pequenas Empresas
MPMEs	Micro, Pequenas e Médias Empresas
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OEE	<i>Overall Equipment Efficiency</i>

<i>OEM</i>	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
<i>P&D</i>	<i>Pesquisa e Desenvolvimento</i>
<i>PMEs</i>	<i>Pequenas e Médias Empresas</i>
<i>PIB</i>	<i>Produto Interno Bruto</i>
<i>PLS-SEM</i>	<i>Partial Least Square Structural Equation Modelling</i>
<i>PROMETHEE</i>	<i>Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation</i>
<i>QFD</i>	<i>Quality Function Deployment</i>
<i>RAMI 4.0</i>	<i>Reference Architectural Model for Industry 4.0</i>
<i>RFID</i>	<i>Radio Frequency Identification</i>
<i>RSL</i>	<i>Revisão Sistemática da Literatura</i>
<i>SCF</i>	<i>Sistemas Ciberfísicos</i>
<i>SEBRAE</i>	<i>Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas</i>
<i>SITAM</i>	<i>Smart Industrial Technology Adoption Model</i>
<i>TI</i>	<i>Tecnologia da Informação</i>
<i>TIC</i>	<i>Tecnologia da Informação e Comunicação</i>
<i>TOE</i>	<i>Technology, Organization, Environment</i>
<i>TOPSIS</i>	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>
<i>UE</i>	<i>União Europeia</i>
<i>VIKOR</i>	<i>VIšekriterijumsko KOmpromisno Rangiranje</i>
<i>WoS</i>	<i>Web of Science</i>
<i>WSN</i>	<i>Wireless Sensor Network</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	JUSTIFICATIVA.....	19
1.2	OBJETIVOS	21
1.3	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.	21
1.3.1	<i>Planejamento da Pesquisa</i>	23
1.4	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	24
2	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA E ANÁLISE DE CONTEÚDO.....	25
2.1	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	25
2.1.1	<i>Fase 1: Planejamento da RSL</i>	27
2.1.1.1	Etapa 0: Necessidade Da Revisão Sistemática.....	27
2.1.1.2	Etapa 1: Preparação da proposta da RSL	31
2.1.1.3	Etapa 2: Protocolo da RSL	32
2.1.2	<i>Fase 2: Condução da RSL</i>	33
2.1.2.1	Etapa 3: Definição da revisão sistemática.....	33
2.1.2.2	Etapa 4: Filtros e pré-seleção de artigos	34
2.1.2.3	Etapa 5: Avaliação e seleção dos artigos	35
2.1.2.4	Etapa 6: Extração dos dados	35
2.1.3	<i>Fase 3: Análise do Conteúdo</i>	37
2.1.3.1	Etapa 7: Panorama dos artigos	38
2.1.3.2	Seleção das barreiras	45
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	51
3.1	<i>BACKGROUND</i> E DEFINIÇÃO DA I4.0	51
3.2	ELEMENTOS DA I4.0	56
3.3	ESTÁGIOS DE DESENVOLVIMENTO PARA A I4.0	63
3.4	IMPLICAÇÕES DA I4.0	65
3.5	I4.0 EM PEQUENOS NEGÓCIOS	70
3.5.1	<i>Cenários global e brasileiro</i>	74
3.6	PROCESSO DE TOMADA DE DECISÃO	81
3.7	BARREIRAS ENFRENTADAS PELAS MPES PARA IMPLEMENTAÇÃO DA I4.0.....	83
4	PANORAMA METODOLÓGICO PARA O TRATAMENTO DE BARREIRAS EM PEQUENOS NEGÓCIOS PARA A INDÚSTRIA 4.0.....	86
4.1	ESTRATÉGIAS PARA MITIGAÇÃO DAS BARREIRAS	89
5	PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO PARA IDENTIFICAR E TRATAR AS BARREIRAS	93
6	APLICAÇÃO DA PROPOSTA	99
6.1	DESENHO DO PROCESSO (AS IS → TO BE)	99

6.1.1	<i>Caracterização Geral da Empresa e do Ambiente</i>	99
6.1.2	<i>Layout e Organização Física</i>	100
6.1.3	<i>Produção e estoque de temperos</i>	102
6.1.4	<i>Estoque Farinha/Expedição</i>	103
6.1.5	<i>Administrativo/escritório</i>	103
6.1.6	<i>Pátio</i>	104
6.1.7	<i>Depósito/Manutenção</i>	104
6.2	PERCEPÇÃO DOS BENEFÍCIOS DAS TECNOLOGIAS	105
6.3	PRIORIZAÇÃO DAS BARREIRAS (<i>AHP</i>)	106
6.4	RELAÇÃO ESTRUTURAL DAS BARREIRAS (<i>ISM-MICMAC</i>)	108
6.5	IDENTIFICAÇÃO DE PROJETOS PRIORITÁRIOS	110
6.5.1	<i>Definir investimento e tempo para o projeto</i>	111
6.5.2	<i>Definir o escopo do projeto</i>	113
7	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	116
7.1	<i>AHP</i>	116
7.2	<i>ISM-MICMAC</i>	118
7.2.1	<i>ISM</i>	118
7.2.2	<i>MICMAC</i>	119
7.3	OBSERVAÇÃO DIRETA	121
7.4	ANÁLISE GERAL	122
8	CONCLUSÃO	124
8.1	LIMITAÇÕES	125
8.2	SUGESTÕES DE PRÓXIMOS ESTUDOS	126
	REFERÊNCIAS	128
	APÊNDICE A – LISTA DE BARREIRAS ANÁLISE DE CONTEÚDO	159
	APÊNDICE B – JULGAMENTOS DA EMPRESA BETA PARA O <i>AHP</i>	165
	APÊNDICE C – PROCESSAMENTO DOS CÁLCULOS PARA O <i>AHP</i>	167
	APÊNDICE D – JULGAMENTOS DA EMPRESA BETA E PROCESSAMENTO PARA O <i>ISM-MICMAC</i>	169
	APÊNDICE E – DADOS DA OBSERVAÇÃO	171
	ANEXO A – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA PARA O PROJETO DE PESQUISA	177

1 INTRODUÇÃO

O mundo passa por um processo de transformação associado à Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4. Esse processo está relacionado à digitalização gradual dos processos produtivos, da logística, das organizações e de parte da cadeia de suprimentos (Amaral; Peças, 2021). Trata-se de um fenômeno em evolução, que tem demandado maior clareza conceitual à medida que avança (Stentoft et al., 2019).

A importância da digitalização, definida como a aplicação de tecnologias digitais vem sendo associada a importância da mecanização, eletrificação e tecnologias da informação – revoluções industriais anteriores – o que justifica o nome da “quarta revolução industrial” (Rad et al., 2022, p.1). Isto impacta o modo de viver das pessoas, educação, sistemas de saúde, a forma de se expressar, trabalho, comunicação, hábitos de informação, estilo de vida e até viagens (Bikse et al., 2022), também referenciado como sociedade digital (Krajčák, 2021).

De acordo Cazeri et al. (2022) sua relevância e implementação é baseada principalmente na possibilidade do aumento de lucros na manufatura e, conseqüentemente, aumentar o desempenho da organização. Como toda mudança, este processo traz desafios e oportunidades para a indústria (Ancillo et al., 2022).

A implementação de novas tecnologias rumo a implementação de sistemas digitais, torna o trabalho humano cada vez mais significativo e criativo, demandando uma mão de obra mais qualificada, inclusive com habilidades sociais e de comunicação. Assim, o olhar voltado à educação, profissionalismo e competências deve ser endereçado (Bikse et al., 2022, p. 2). Para isso, essa transição requer modelos organizacionais adequados para melhores tomadas de decisão, que levam a mudanças envolvendo toda a organização. Isto implica em preocupações relacionadas a recursos financeiros necessários para aquisição de novas tecnologias, impactos nos modelos de negócio e nas estratégias da empresa (Khanzode et al., 2021).

Alguns acadêmicos e praticantes iniciaram projetos piloto para implementar uma ou mais tecnologias em seus processos. Mesmo assim, poucos exploraram seu potencial de forma a implementar completamente novos modelos de negócio (Khanzode et al., 2021).

A investigação acadêmica foca de forma extensiva nas grandes empresas e de modo escasso em Micro, Pequenas e Médias Empresas (MPMEs), devido ao maior acesso à recursos (Kee; Cordova ; Khin, 2023; Machado et al., 2021; Masood; Sonntag, 2020; Müller; Buliga; Voigt, 2018; Narwane et al., 2022; Sabatini; Bartoloni; Gregori, 2020; Shqair; Altarazi, 2022;

Wankhede; Vinodh, 2022), pois conseguem investir massivamente nas tecnologias de forma a expandir a competitividade (Silva, da *et al.*, 2022). Além disso, maior foco é dado em países desenvolvidos (Tamvada *et al.*, 2022).

A falta de integração adequada com o contexto industrial que a I4.0 adota pode resultar em desafios significativos para a sobrevivência dessas PMEs (Adamik, 2020; Tamvada *et al.*, 2022; Türkeş *et al.*, 2019). Isso foi constatado também na Alemanha, em que as PMEs reconhecem que se não acompanharem os benefícios da I4.0, podem enfrentar desvantagens competitivas em relação aos concorrentes com maior acesso a tecnologias digitais (Müller; Buliga; Voigt, 2018).

As MPMEs são os pilares das economias globais, representando parte significativa do PIB dos países, bem como taxas de emprego (Anatan; Nur, 2023; Khanzode *et al.*, 2021; Müller; Voigt, 2018; Serumaga-Zake e Poll, van der, 2021), criando empregabilidade, crescimento econômico e estabilidade social (Masood; Sonntag, 2020, p. 2).

No entanto, enfrentam dificuldades na concretização e obtenção dos benefícios para aumentar a produtividade no chão de fábrica, não sabendo por onde começar a introduzir e implementar esses importantes conceitos (Rauch e Vickery, 2020).

Este cenário de incerteza é agravado pelo próprio processo decisório nas MPEs. Os gestores de pequenos negócios, diferente das empresas grandes, operam sob condições de racionalidade limitada de forma mais intensa (Simon, 1955). Com tempo escasso, acesso limitado à informação e uma forte imersão em tarefas operacionais, a tomada de decisão tende a ser mais intuitiva e reativa do que estratégica e planejada. Nesse contexto, decidir qual barreira atacar primeiro ou em qual tecnologia investir torna-se um desafio paralisante.

Baseado nisso, estas empresas precisam se adaptar rapidamente, superar os desafios (Ancillo *et al.*, 2022, p. 1) e repensar novas formas de criar, capturar e oferecer valor aos clientes (Amaral; Peças, 2021; Bencsik, 2020; Serumaga-Zake; Poll, 2021). Majstorović, Mitrović e Mišković (2022) comentam que as metodologias e modos de criar valor existentes não são suficientes para atender as demandas crescentes para preços mais baixos, estabilidade de entrega, eficiência e constantes mudanças na produção em si [...], porém a implementação inicia em pequenas etapas, não existindo um *big bang* que introduzirá imediatamente a I4.0.

Em um dos modelos desenvolvidos para ajudar neste processo, Schuh *et al.* (2017) mostram 6 etapas graduais para a transição, onde a empresa deve avaliar o melhor balanço entre custo e benefício dadas as circunstâncias. Estas etapas compõem de: Informatização (sendo a base da digitalização), Conectividade (conexão entre máquinas e componentes), Visibilidade

(sensoriamento em monitoramento contínuo), Transparência (entender o porquê algo está acontecendo e utilizar para produzir conhecimento), Capacidade Preditiva (simular cenários diferentes e identificar os mais prováveis) e por fim Adaptabilidade (Auto otimização).

Para Hirschi (2018), este processo irá impactar os trabalhadores visto que atividades manuais serão reduzidas com a automatização dos processos. Oztemel e Gursev (2018) complementam ainda que, apesar da máquina não substituir o ser humano nas organizações, serão inevitáveis desempregos causados pela mudança de tecnologia, fazendo com que os profissionais sejam encorajados a assumir novas responsabilidades e oportunidades.

Assim, se faz necessário que estas empresas comecem a realizar autoavaliações antes de investirem em recursos tecnológicos (Shqair; Altarazi, 2022, p. 4) e entendam sobre as dificuldades que enfrentarão nesta transição, de modo a traçar planos para mitigação ou eliminação. Como há poucos estudos voltados para MPEs no contexto da I4.0, principalmente no Brasil, a necessidade de fomentação do tema no país é pertinente de modo a fornecer suporte para as empresas que já estão implementando o conceito e as que ainda vão implementar.

1.1 Justificativa

O presente trabalho justifica-se primeiramente pela representatividade que as MPEs têm na economia global e brasileira. O advento da I4.0, em sua maior parte é focado em empresas de grande porte, as quais já possuem uma estrutura consolidada e relativamente maiores recursos financeiros e humanos. No entanto, visto a preocupação levantada por Hirschi (2018) mencionada no tópico “Introdução”, as MPEs precisam se atualizar desde o âmbito estratégico até produtivo.

Para isso, os gestores dessas empresas precisam ter consciência de como este tema vem sendo abordado, bem como os riscos associados (Tamvada *et al.*, 2022). Assim, é necessário avaliar as barreiras a enfrentar, discuti-las (Silva *et al.*, 2022) e tratá-las de forma coerente com o contexto a qual a empresa está inserida.

As PMEs possuem características diferentes comparadas às empresas de grande porte que devem ser consideradas. Primeiro, por possuírem poucos recursos e menos experiências com novas tecnologias; segundo, pela alta gestão estar envolvida com todas as decisões da empresa e terceiro, por serem mais focadas na operação ao invés de atividades estratégicas (Shqair; Altarazi, 2022, p. 4). Sob outra ótica, as empresas de grande porte possuem uma

estrutura administrativa forte, realizando o planejamento estratégico, de forma geral, em grupos grandes de pessoas qualificadas e conscientes dos benefícios. Também existe casos em que estas empresas contratam consultorias especializadas, o que não é acessível para MPEs devido aos recursos escassos (Biagio; Batocchio, 2005).

Além disso, as principais barreiras para a adoção das tecnologias da I4.0 entre as MPMEs (como custos iniciais de investimento, acessibilidade de capital) provavelmente serão mais pronunciadas em nações em desenvolvimento. Essas empresas estão atrasadas em adotar a transformação para equipamentos e sistemas capazes de se comunicar com tecnologias orientadas para o futuro e introduzir dispositivos e máquinas inteligentes nos processos de produção (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023, p. 2).

No Brasil, o conceito da neoindustrialização busca reverter o processo de desindustrialização do país, promovendo a modernização do setor produtivo por meio da inovação tecnológica, digitalização e automação (Brasil, 2024). Neste contexto, a transição das MPEs para a I4.0 é essencial para fortalecer a indústria nacional. No entanto, essas empresas enfrentam barreiras significativas, como limitações financeiras, tecnológicas e falta de qualificação, o que pode dificultar sua inclusão nesse processo de transformação.

A neoindustrialização depende da capacidade das MPEs de adotar tecnologias inovadoras e se integrar à digitalização da economia. O presente trabalho visa oferecer uma abordagem para apoiar essas empresas a identificá-las de forma sistemática. Dessa forma, além de ajudar as MPEs a se modernizarem, o estudo se alinha aos objetivos de revitalização da indústria nacional, promovendo maior competitividade e sustentabilidade no mercado global.

Outro fator que justifica este trabalho é a quantidade de artigos que tratam do tema “barreiras em pequenos negócios para a I4.0” no cenário brasileiro. Uma busca realizada em março de 2025 utilizando termos relacionados a “I4.0”, “pequenos negócios”, “barreiras” ou “dificuldades” e “Brasil”, retornaram apenas 18 artigos publicados nas bases *Scopus*[®] (6) e *WoS*[™] (12). Destes 18, nenhum possui foco em entender as barreiras de MPEs para transição à I4.0 de maneira sistemática.

Desta forma, o fomento no desenvolvimento de guias, pesquisas, *roadmaps* e outras ferramentas que auxiliem as MPEs brasileiras nas tomadas de decisão, torna o processo mais acessível para as MPEs se prepararem para a implementação da I4.0.

Neste cenário, pode-se expressar a seguinte pergunta que norteará a pesquisa realizada:

Quais são as barreiras que uma pequena empresa brasileira enfrenta a uma possível transição digital?

1.2 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é propor e aplicar uma sistematização metodológica para identificar e tratar barreiras para transição à I4.0 em pequenos negócios, de modo a suportá-los na tomada de decisão.

Para atender o objetivo geral, os objetivos específicos para direcionar este trabalho são:

- a. Identificar, na literatura, as barreiras enfrentadas por pequenos negócios na transição para a I4.0;
- b. Identificar métodos que tratam as barreiras de forma sistemática;
- c. Propor uma sistematização para identificar e tratar barreiras, baseado na literatura;
- d. Aplicar a proposta em uma empresa de pequeno porte e avaliar os resultados obtidos.

1.3 Caracterização da pesquisa.

Segundo Gil (2022), existem várias formas de classificar as pesquisas: a partir do ponto de vista da sua natureza; da forma de abordagem do problema; dos objetivos; e delineamento (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação da Pesquisa

Critério	Classificação Metodológica
Natureza da Pesquisa	Pesquisa Aplicada
Abordagem do problema	Qualitativa e Quantitativa
Objetivo	Exploratória e Descritiva
Delineamento	Métodos Mistos, Bibliográfica e Estudo de caso.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Gil (2022)

A natureza da pesquisa é caracterizada como pesquisa aplicada, pois está voltada a aquisição de conhecimentos com vistas à aplicação numa situação específica (Gil, 2022).

Quanto à abordagem do problema, o trabalho é considerado como uma pesquisa mista, pois incorpora elementos qualitativos e quantitativos (Vieira, 2009). A etapa da RSL é um

componente qualitativo, pois envolve a análise de várias fontes de literatura para identificar as barreiras para a I4.0 enfrentadas pelas MPEs. Neste tipo de classificação o ambiente natural é a fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave, é descritiva e os pesquisadores tendem a analisar seus dados indutivamente (Gil, 2022).

Acerca do objetivo, trata-se de um estudo exploratório, de modo que visa proporcionar maior familiaridade com o problema para torná-lo explícito ou a construir hipóteses. Além disso, é mais adequado e aplicável no caso de explorar questões com base em objetivos (Alqam; Saqib, 2020, p. 122). Esta classificação envolve levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado e possui análise de exemplos que estimulem a compreensão (Gil, 2022).

Optou-se por não utilizar de hipóteses formais devido ao caráter exploratório e descritivo da pesquisa. Conforme destacado por Gil (2022), hipóteses são suposições que se propõem testar relações específicas entre variáveis, sendo adequadas em pesquisas que visam testar relações de causalidade ou associação entre as variáveis.

No entanto, o estudo foca em descrever e compreender fenômenos complexos e multifacetados que não se prestam facilmente à formulação de hipóteses específicas. Em vez de testar relações pré-estabelecidas, o objetivo é de explorar de forma aprofundada as características e dinâmicas dos fenômenos em questão.

Ainda do ponto de vista do objetivo, também se caracteriza como uma pesquisa descritiva. Visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados, como o questionário e observação (Gil, 2022).

Por fim, com relação ao delineamento, caracteriza-se como uma pesquisa de métodos mistos, pesquisa bibliográfica e estudo de caso. A Pesquisa bibliográfica constitui principalmente de material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científico, afinal este trabalho possui um tópico específico de revisão da literatura. O estudo de caso consiste no estudo exaustivo e profundo de um ou poucos casos de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento. Por fim, a revisão sistemática da literatura, análise de conteúdo e observações diretas juntamente com aplicações de métodos quantitativos, resultam numa pesquisa mista (Gil, 2022). A escolha por um estudo de caso único em uma pequena brasileira justifica-se pela relevância do contexto analisado, considerando-se que MPEs representam a maioria do tecido empresarial do país e enfrentam desafios específicos na adoção das tecnologias da Indústria 4.0. Além disso, a empresa selecionada apresenta

características representativas do segmento, o que permite uma análise aprofundada e contextualizada das barreiras enfrentadas nesse processo de transição digital.

Referente ao método de levantamento de dados, classifica-se do tipo transversal, visto que a intenção é tirar um retrato do que está acontecendo no momento (Vieira, 2009).

1.3.1 Planejamento da Pesquisa

O trabalho se divide em duas partes: uma revisão da literatura e aplicação de uma proposta. Na primeira parte, foi realizada uma revisão sistemática (RSL) juntamente com a identificação da oportunidade de pesquisa e, posteriormente, selecionado(s) método(s) para tratar as barreiras. Em seguida, é feita a aplicação da proposta em um estudo de caso.

A Figura 1 detalha a estrutura e o cronograma planejado de execução dos procedimentos metodológicos, apresentados em formato de Gantt, com início em Agosto de 2023.

Figura 1 - Estrutura e cronograma de planejamento da metodologia de pesquisa

#	Tarefa	Predecessora	Planej.
1	REVISÃO DA LITERATURA		
1.1	Oportunidade de pesquisa	-	55 dias
1.2	Revisão Sistemática da Literatura (RSL)	-	256 dias
1.2.1	Fase 1: Planejamento da RSL	-	27 dias
1.2.1.1	Etapa 0: Identificação da necessidade da RSL	-	20 dias
1.2.1.2	Etapa 1: Preparação da proposta	1.2.1.1	4 dias
1.2.1.3	Etapa 2: Protocolo da RSL	1.2.1.2	1 dias
1.2.2	Fase 2: Condução da RSL	1.2.1	53 dias
1.2.2.1	Etapa 3: Definição da revisão sistemática	1.2.1.3	2 dias
1.2.2.2	Etapa 4: Filtro e pré-seleção de artigos	1.2.2.1	1 dias
1.2.2.3	Etapa 5: Avaliação e seleção de artigos	1.2.2.2	29 dias
1.2.2.4	Etapa 6: Extração de dados e classificação	1.2.2.3	18 dias
1.2.3	Fase 3: Análise de conteúdo	1.2.2	29 dias
1.2.3.1	Etapa 7: Panorama de documentos relevantes	1.2.2.4	29 dias
1.3	Método	1.2.3	144 dias
1.3.1	Critérios de Inclusão e Exclusão	1.2.3.1	18 dias
1.3.2	Comparativo entre métodos/abordagens	1.3.1	30 dias
1.3.3	Seleção do método	1.3.2	94 dias
2	Aplicação	1	59 dias

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025) a partir de Tranfield, Denyer e Smart (2003)

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é considerada a etapa mais extensa, pois abrange desde a identificação da necessidade da revisão até a análise de conteúdo e panorama dos documentos relevantes. A etapa seguinte, focada na seleção do método, foi fundamental para definir as ferramentas para o tratamento das barreiras, que também é uma parte extensa. Por fim, a aplicação da proposta é dedicada à coleta, processamento e análise dos dados da empresa. Todas estas fases e etapas serão detalhadas nos capítulos seguintes.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho está estruturado em oito capítulos. O Capítulo 1 apresenta a introdução da pesquisa, contextualizando o tema, estabelecendo os objetivos, justificativas e a problematização. O Capítulo 2 trata da revisão sistemática da literatura, etapa em que se parte de um tema macro e, a partir de palavras-chave e termos relacionados, realiza-se a análise de relevância e delimitação dos subtemas. Para isso, foram utilizadas duas bases de dados e um software de apoio à revisão, com o objetivo de definir o escopo teórico que norteia a pesquisa. O Capítulo 3 aprofunda a fundamentação teórica, explorando os principais conceitos e abordagens relacionados ao tema. No Capítulo 4, são descritos os métodos utilizados para tratar as barreiras enfrentadas por pequenos negócios na adoção da Indústria 4.0. Em seguida, o Capítulo 5 apresenta a proposta de sistematização para identificar e tratar as barreiras. O Capítulo 6 detalha a aplicação da proposta em uma pequena empresa. O Capítulo 7 traz a análise e discussão dos resultados obtidos. Por fim, o Capítulo 8 reúne as conclusões do trabalho, destacando as contribuições da pesquisa e apontando limitações e possíveis desdobramentos futuros.

2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA E ANÁLISE DE CONTEÚDO

Gil (2022) define a pesquisa como:

[...] procedimento racional e sistemático que tem como objetivo fornecer respostas aos problemas que são propostos. A pesquisa é requerida quando não se dispõe de informação suficiente para responder ao problema, ou então quando a informação disponível se encontra em tal estado de desordem que não possa ser adequadamente relacionada ao problema.

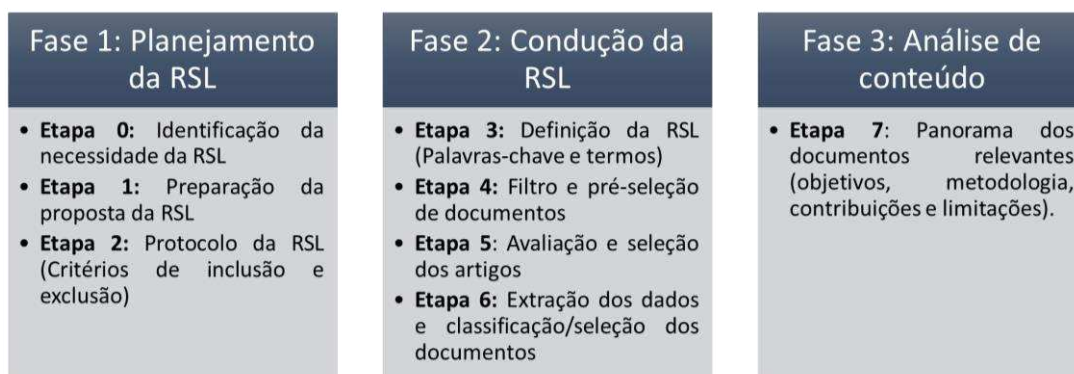
O método científico é utilizado para permitir a solução de um problema. Assim, este capítulo irá detalhar as etapas utilizadas para alcançar os objetivos da pesquisa.

2.1 Revisão Sistemática da Literatura

A RSL foi estruturada com base em Chrusciak (2021), uma adaptação de Tranfield, Denyer e Smart (2003) e das definições de Siddaway, Wood e Hedges (2019). A estrutura possui três fases (Figura 2): planejamento, condução e análise de conteúdo. Essa estrutura foi aplicada com duplo objetivo de, primeiramente, identificar e categorizar as barreiras enfrentadas por MPEs na transição para a I4.0 e, em segundo lugar, identificar as ferramentas e abordagens metodológicas utilizadas na literatura para analisar e tratar essas barreiras.

Seguindo a Fase I (Planejamento), foi desenvolvido um protocolo de revisão explícito, com critérios de busca, inclusão e exclusão para delimitar o escopo. Na Fase II (Condução), os estudos foram selecionados, avaliados e os dados extraídos e sintetizados. Finalmente, na Fase III (Análise de Conteúdo), os resultados foram consolidados, culminando na elaboração do Quadro 6 (a estrutura de barreiras) e do Quadro 9 (o panorama de ferramentas e abordagens). A adoção deste método sistemático foi fundamental para construir uma base de evidências sólida e confiável para as etapas subsequentes desta dissertação.

Figura 2 – Fases da RSL



Fonte: Adaptado de Tranfield, Denyer e Smart (2003).

As primeiras fases para conduzir uma RSL é decidir qual tipo de revisão é mais apropriada. Quando o pesquisador visa trazer vários estudos que testaram empiricamente a mesma hipótese, remete-se ao estudo quantitativo, chamado de meta-análise. A meta-análise é apropriada quando os estudos retornam dados quantitativos ao invés de qualitativos, examinam as mesmas relações, são derivados do mesmo delineamento de pesquisa, retornam simples relações entre duas variáveis e possuem resultados que podem ser padronizados (Siddaway; Wood; Hedges, 2019).

Por outro lado, estudos qualitativos podem também ser conduzidos de forma replicável, rigorosa e transparente, podendo ser narrativa ou meta-síntese. Uma revisão narrativa seria apropriada quando uma revisão de literatura é desejada em relação a uma coleção de estudos quantitativos que utilizaram metodologias diversas ou que examinaram diferentes conceitualizações teóricas, construtos e/ou relações. Elas são particularmente úteis para conectar estudos sobre diferentes tópicos para reinterpretação ou interconexão, a fim de desenvolver ou avaliar uma nova teoria (cada peça de evidência revisada adquire seu valor a partir de como ela ajuda a construir ou avaliar a teoria geral. Uma meta-síntese seria apropriada quando uma revisão tem como objetivo integrar pesquisas qualitativas. O objetivo de uma meta-síntese é sintetizar estudos qualitativos sobre um tópico a fim de localizar temas-chave, conceitos ou teorias que ofereçam explicações novas ou mais poderosas para o fenômeno em análise (Siddaway; Wood; Hedges, 2019).

Portanto, o tipo de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) deste trabalho se alinha mais a uma revisão narrativa. Isso se deve ao fato de o objetivo buscar identificar e conectar diferentes estudos que examinam barreiras enfrentadas por MPEs na implementação da I4.0, utilizando uma abordagem qualitativa e quantitativa. A revisão narrativa é apropriada quando

se deseja explorar uma variedade de estudos que utilizam metodologias diversas, o que acontece ao integrar barreiras identificadas em vários contextos.

Estas três fases e suas respectivas etapas serão detalhadas nos tópicos subsequentes.

2.1.1 Fase 1: Planejamento da RSL

Nesta fase, serão detalhados a identificação da necessidade da RSL, a preparação da proposta e o protocolo utilizado.

2.1.1.1 Etapa 0: Necessidade Da Revisão Sistemática

Para encontrar o tema do presente trabalho e justificá-lo, também proposto por Ramdhani, Ramdhani e Amin (2014), primeiro é escolhido um tópico. Neste caso, por escolha do próprio pesquisador, o tópico é a I4.0.

Como parte do estudo de escopo, avalia-se a relevância e dimensão do que a literatura fornece para delimitar a área do tópico. A fim de explorar como o tópico I4.0 vem sendo abordado, a extração de dados de bases científicas será utilizada para todo o processo. As bases *Scopus*[®] e *Web of Science*TM são os principais bancos de dados de citação e indexação de literatura global revisada por pares em diferentes disciplinas (Renjith; Vijayan; Arunkumar, 2021, p. 1) e são complementares (Machado *et al.*, 2021). Como a *Scopus*[®] só permite extração de dados até 2000 documentos, foram extraídos os 2000 artigos mais relevantes nesta etapa.

Foi aplicado filtro de artigos publicados em *journals* por ordem de relevância (Ramdhani, Ramdhani e Amin, 2014, p.51) e língua inglesa. Além disso, o tema foi cunhado pela Alemanha em 2011 (Goel *et al.*, 2022; Ko *et al.*, 2020; Pasi; Mahajan; Rane, 2022; Stentoft *et al.*, 2019), portanto foram selecionados apenas artigos após esta data. Este procedimento permitiu realizar uma busca preliminar acerca do tema de modo a identificar palavras-chave e sinônimas. Desta forma, utilizou-se da seguinte sintaxe para títulos e resumos de forma a direcionar melhor o tema: ("*industrial revolution 4.0*" OR "*industry 4.0*" OR "*industrie 4.0*" OR "*the fourth industrial revolution*" OR "*4th industrial revolution*" OR "*smart manufacturing*" OR "*smart production*" OR "*smart factor**" OR "*IR 4.0*" OR "*4IR*" OR "*IR4*" or "*digital*

transformation") AND NOT ("iridium carbonyl" or "Ir4 cluster" or "mRNA" or "Ir4(CO)12" or "Ir4+"). Estes termos excluídos se referem a fórmulas químicas que coincidiam com termos da I4.0.

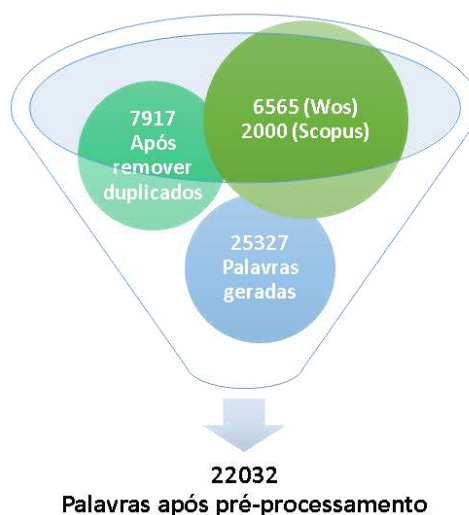
A partir disto, foi gerada a seguinte questão norteadora para as próximas etapas:

- I. Quais são os temas que a literatura aborda sobre a I4.0?

Para visualização de como este tópico vem sendo abordado, utilizou-se da ferramenta SciMAT, que nos fornece um diagrama em quadrantes mostrando temas motores, transversais e básicos, emergentes ou em declínio e temas já desenvolvidos ou isolados (Cobo *et al.*, 2012). Desta forma é possível verificar áreas temáticas que estão sendo mais abordadas nos artigos publicados e seu nível de importância, focalizando a revisão da literatura.

Nesta ferramenta, os dados das bases são importados e palavras são agrupadas forma semiautomática. Esta etapa de agrupamento de palavras requer certa cautela, pois há muitos termos similares que, caso o autor desconheça, impacta no resultado do diagrama posteriormente. No caso, foram geradas 25327 palavras dos artigos coletados das bases e após o pré-processamento, restaram 22023 palavras, as quais foram usadas para o processamento do diagrama. A Figura 3 ilustra o escopo destes procedimentos.

Figura 3 - Escopo da Etapas 1, Fase 0 da RSL



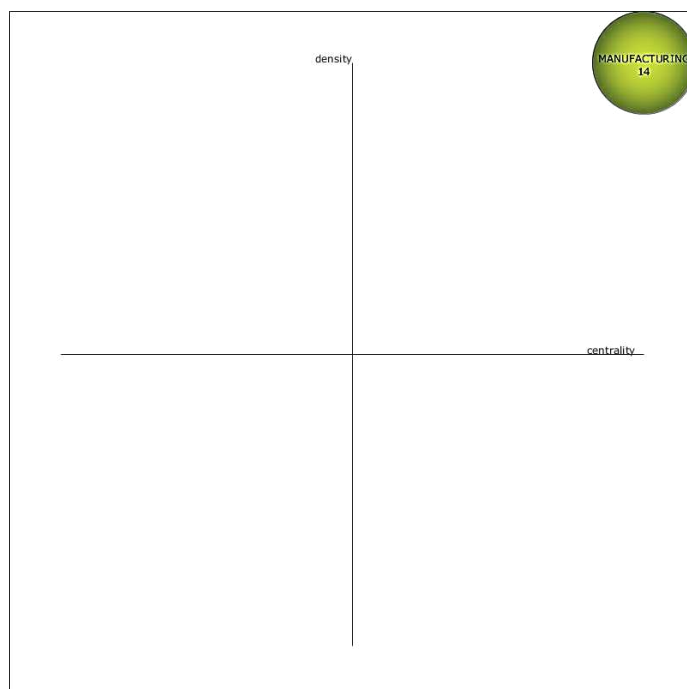
Fonte: Clarivate Analytics (2024); Elsevier (2024) - Elaborado pelo Autor (2025).

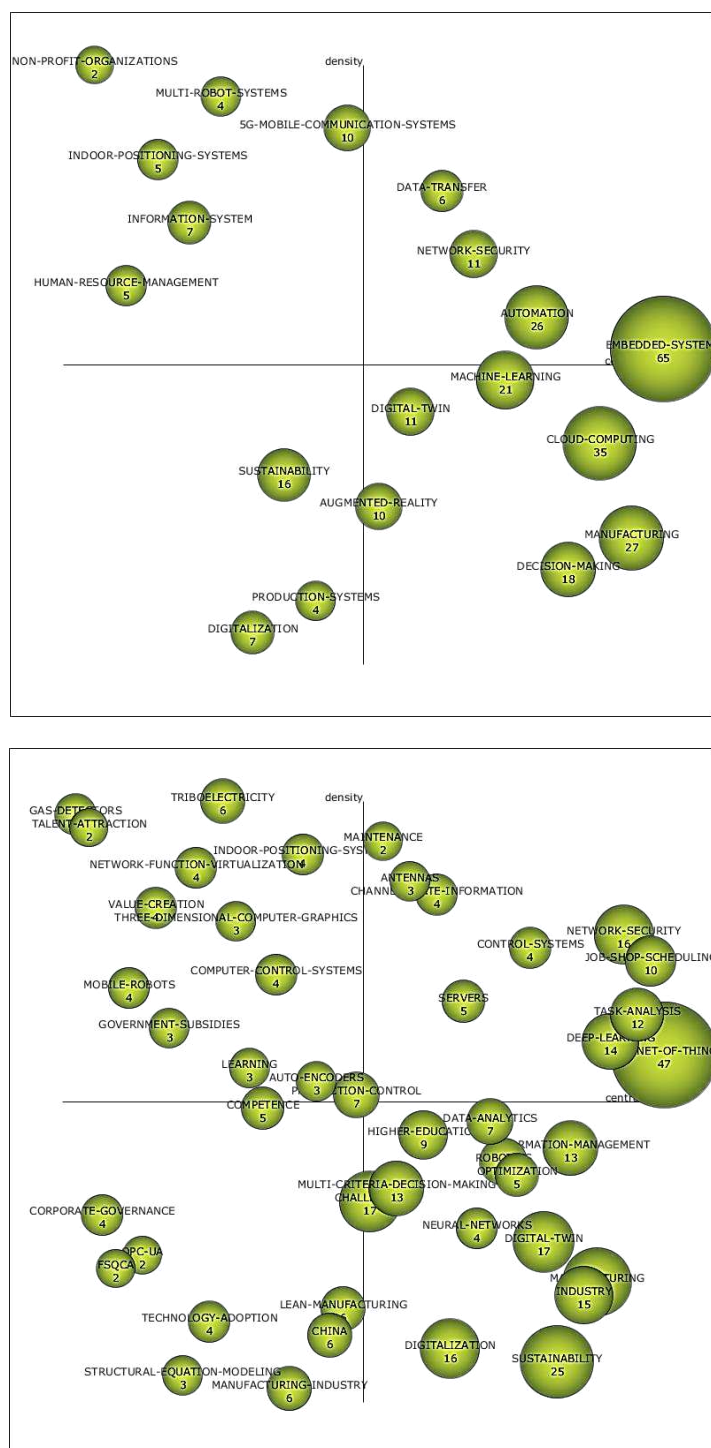
Para a construção do diagrama estratégico, na etapa de processamento utilizou-se a frequência mínima em as palavras-chave aparecem em pelo menos 3 estudos (Cobo *et al.*,

2012). Os diagramas foram divididos em 3 subperíodos de modo a melhor visualizar a evolução dos temas e ter um panorama mais atualizado.

No período de 2011 até 2024 (Figura 4) pode ser observado o resultado em *clusters* mostrando seu *h-index*, mostrando uma estimativa da importância, significância e amplo impacto das contribuições significativas de um pesquisador (Hirsch, 2005). Nota-se que no período de 2011 a 2016 apenas 1 palavra aparece nos temas motores (“*MANUFACTURING*”). Como o assunto ainda era recente, faz sentido não aparecer quantia considerável de palavras neste período (151 documentos de 7917, o que equivale a 2%), dadas as configurações.

Figura 4 - Diagramas estratégicos dos períodos 2011-2016, 2017-2020 e 2020-2024, respectivamente. (Cont.)





(Conclusão) Fonte: Clarivate Analytics (2024); Elsevier (2024) - Utilizando o software SciMAT (Cobo *et al.*, 2012).

Foco foi dado nos temas motores do último subperíodo que aparecem no quadrante superior direito, pelas respectivas relevâncias e importâncias (Cobo *et al.*, 2012). Identificou-se que as palavras que estão nesta região são “*INTERNET OF THINGS*”, “*JOB-SHOP-SCHEDULING*”, “*TASK-ANALYSIS*”, “*NETWORK SECURITY*”, “*DEEP-LEARNING*”,

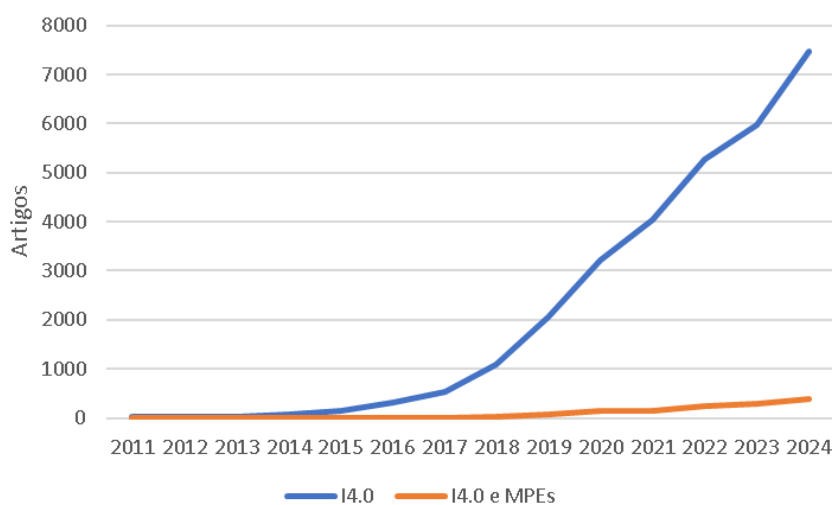
“CONTROL SYSTEMS”, “SERVERS” “CHANNEL STATE INFORMATION”, “FOG”, “COMPUTER CONTROL SYSTEMS” E “ANTENNAS”.

Estes termos se referem, de uma forma geral, ao uso de tecnologias avançadas de manufatura para otimização de processos na eficiência, segurança e capacidade de comunicação e resposta das operações fabris.

2.1.1.2 Etapa 1: Preparação da proposta da RSL

A partir do obtido na fase 0, termos relacionados a “MPEs” não são evidenciados de forma direta nos diagramas estratégicos, tampouco na região de temas motores. Desta forma, fazendo uma busca preliminar de termos relacionados a I4.0 e MPEs na *Scopus*[®], a Figura 5 mostra a evolução do interesse no tema, desde 2011.

Figura 5 - Evolução de publicações com os termos “I4.0” e “I4.0 + MPMEs ”



Fonte: Elsevier (2025)

Nota-se que os estudos voltados a MPEs para a I4.0 ainda não é relativamente notório (aproximadamente 5% do total). Além disso, direcionando o tema para o Brasil, no mesmo período é retornado apenas 18 artigos no total.

Partindo disto, foi identificado o foco da pesquisa surgindo as seguintes questões:

- Como estão sendo abordadas as MPEs no contexto da I4.0?

b) Como as dificuldades ou barreiras destas empresas estão sendo identificadas e tratadas?

2.1.1.3 Etapa 2: Protocolo da RSL

Para responder estas questões, foi buscado estudos relevantes voltados para MPEs na base *Scopus*[®] e *WoS*[™]. Para isso, utilizou-se dos protocolos do Quadro 2.

Quadro 2 - Critérios de busca

Base de dados	<i>Scopus</i> [®] e <i>Web of Science</i> [™]
Critérios de inclusão	- Palavras relacionadas à I4.0; - Palavras relacionadas à MPEs; - Palavras relacionadas às barreiras ou dificuldades; - Tipo de documento: Artigo; - Idioma: Inglês; - Limitação de tempo: 2011 a 2024; - Disponíveis na íntegra
Critérios de exclusão	- Outros tipos de documentos; - Outros idiomas; - Incompletos; - Duplicados.

Fonte: Elaborador pelo Autor (2025)

A seleção dos artigos foi realizada nas bases de dados *Scopus*[®] e *Web of Science*[™], escolhidas por sua abrangência e relevância acadêmica. Os critérios de inclusão foram definidos para focar a pesquisa em seu cerne, utilizando uma combinação de palavras-chave relacionadas à Indústria 4.0, ao contexto das Micro e Pequenas Empresas (MPEs) e aos termos que descrevem barreiras e dificuldades. Adicionalmente, para assegurar a qualidade e o recorte temporal do estudo, a busca foi delimitada a artigos publicados entre 2011 e 2024, no idioma inglês e com acesso ao texto na íntegra. Consequentemente, foram excluídos outros tipos de publicações, artigos em outros idiomas, estudos incompletos e registros duplicados, assegurando uma amostra bem delimitada para análise subsequente.

2.1.2 Fase 2: Condução da RSL

Nesta etapa, são realizadas a definição da RSL (palavras-chave e termos), filtros e artigos finais, avaliação e seleção, extração dos dados e análise de conteúdo.

2.1.2.1 Etapa 3: Definição da revisão sistemática

Iniciou-se a busca utilizando palavras-chave e termos que foram identificados nas etapas anteriores. O Quadro 3 sumariza a busca realizada.

Quadro 3 – Critérios de Inclusão e Exclusão (Cont.)

Base de dados	Scopus®	Web of Science™
Critérios de inclusão	TITLE-ABS-KEY("industrial revolution 4.0" OR "industry 4.0" OR "industrie 4.0" OR "the fourth industrial revolution" OR "4th industrial revolution" OR "smart manufacturing" OR "smart production" OR "smart factor*" OR "IR 4.0" OR "4IR" OR "IR4" or "digital transformation") AND TITLE-ABS-KEY("small scale indust*" OR "micro compan*" OR "small scale enterprise*" OR "small scale compan*" OR "small and medium?size*" OR "small business*" OR "small compan*" OR "small enterprise*" OR "micro enterprise*" OR "micro empres*" OR "SME*" OR "MSME*" OR "SMB" OR "SMI" OR "micro and small compan*" OR "micro and small empres*" OR "micro and small enterprise*" OR "micro and small industr*" OR "MSE") AND TITLE-ABS ("Barrier" OR	"industrial revolution 4.0" OR "industry 4.0" OR "industrie 4.0" OR "the fourth industrial revolution" OR "4th industrial revolution" OR "smart manufacturing" OR "smart production" OR "smart factor*" OR "IR 4.0" OR "4IR" OR "IR4" or "digital transformation" (All Fields) and "small scale indust*" OR "micro compan*" OR "small scale enterprise*" OR "small scale compan*" OR "small and medium?size*" OR "small business*" OR "small compan*" OR "small enterprise*" OR "micro enterprise*" OR "micro empres*" OR "SME*" OR "MSME*" OR "SMB" OR "SMI" OR "micro and small compan*" OR "micro and small empres*" OR "micro and small enterprise*" OR "micro and small industr*" OR "MSE" (All Fields) and "Barrier" OR "obstacle" OR "impediment" OR "limitation" OR "constraint" OR "difficult*" OR "hurdle" OR "challenge" OR "problem" OR "issue" OR "dilemma" (All Fields) and Article (Document Types) and English

	"obstacle" OR "impediment" OR "limitation" OR "constraint" OR "difficult*" OR "hurdle" OR "challenge" OR "problem" OR "issue" OR "dilemma")	(Languages) and Article (Document Types) and English (Languages)
Critérios de exclusão	Não aplicado.	

(Conclusão) Fonte: Clarivate Analytics (2024); Elsevier (2024) - Elaborado pelo Autor (2025)

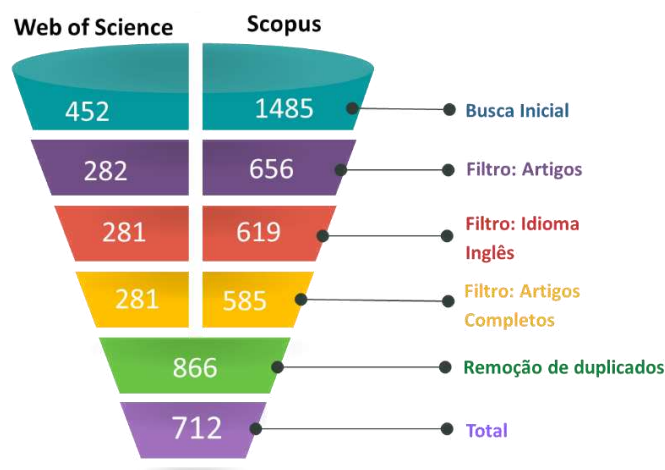
A estratégia de busca foi construída sobre três eixos conceituais, conectados pelo operador booleano AND para garantir que os artigos recuperados abordassem simultaneamente: (i) o fenômeno da Indústria 4.0, (ii) o contexto das Micro e Pequenas Empresas (MPEs) e (iii) a problemática das barreiras ou dificuldades. Dentro de cada eixo, o operador OR foi utilizado para abranger uma vasta gama de sinônimos, termos correlatos e variações linguísticas (por exemplo, "industry 4.0" OR "smart manufacturing"). O uso de truncamentos, como o asterisco (*) em termos como compan*, visou capturar todas as flexões da palavra (companhia, companhias), maximizando a abrangência da busca. Essa abordagem sistemática na construção das strings foi fundamental para assegurar uma coleta de dados precisa e focada nos objetivos da pesquisa.

Importante ressaltar que as médias empresas não foram excluídas, pois, como a literatura trata muitas vezes de MPEs em conjunto com as empresas médias devido a variações de definições entre países e percepções comuns de barreiras, este termo foi mantido para não deixar de lado algum documento que possa fornecer informações relevantes acerca do tema.

2.1.2.2 Etapa 4: Filtros e pré-seleção de artigos

O *output* da pesquisa com as *strings* do tópico anterior gerou 1937 documentos extraídos das bases *Scopus*[®] e *Web of Science*[™] (Figura 6).

Figura 6 - Filtros e resultados de pesquisa inicial



Fonte: Clarivate Analytics (2024); Elsevier (2024) - Elaborado pelo Autor (2025)

Estes documentos foram filtrados para o tipo artigo resultando em 938 itens. Além disso, foi considerado artigos em inglês, gerando 900 itens. O filtro “artigos completos” resultou em 866 documentos e após remover duplicados das duas bases de dados totalizou 712 artigos.

2.1.2.3 Etapa 5: Avaliação e seleção dos artigos

Dos 712 artigos, realizou-se a leitura dos títulos e resumos de cada artigo. Os critérios de inclusão foram de artigos que mencionam barreiras, dificuldades, limitações ou impedimentos de MPEs para transição à I4.0. Não foram excluídos documentos que abordam setores de serviços ou comércio, visto que pode haver barreiras comuns entre indústria e estes setores, podendo fornecer *insights* interessantes. Deste processo, resultaram 161 artigos.

2.1.2.4 Etapa 6: Extração dos dados

No processo para selecionar os artigos para leitura, 7 publicações não foram encontradas em nenhuma base de dados, resultando em 158 artigos. Uma base foi criada no *Microsoft Excel*[®] para organização dos dados.

Como RSL consiste em identificar as barreiras que MPEs enfrentam na transição para a I4.0 e identificar métodos que tratam destas barreiras, foram estabelecidos critérios para análise dos resumos. De modo a direcionar melhor os critérios no momento da avaliação, subcritérios foram definidos juntamente com respectivos pesos, conforme Quadro 4.

Quadro 4 - Critérios de Análise dos resumos

Critério	Detalhamento	Subcritério	Peso
A	Barreiras para transição à I4.0 em MPEs	A1. O artigo propõe identificar as barreiras de MPEs como objetivo de pesquisa e de maneira holística.	3
		A2. O artigo propõe identificar as barreiras de MPEs como objetivo de pesquisa num contexto ou tecnologias específicos.	2
		A3. O artigo menciona as barreiras de MPEs, mas não é o objetivo principal da pesquisa.	1
		A4. O artigo não abrange identificação de barreiras.	0
B	Proposta de Métodos para tratar as barreiras	B1. O artigo propõe métodos para tratar as barreiras de forma clara e sistemática e descreve sua aplicação.	2
		B2. O artigo propõe métodos sistemáticos, mas não detalha a aplicação.	1
		B3. O artigo não propõe métodos para tratar as barreiras.	0

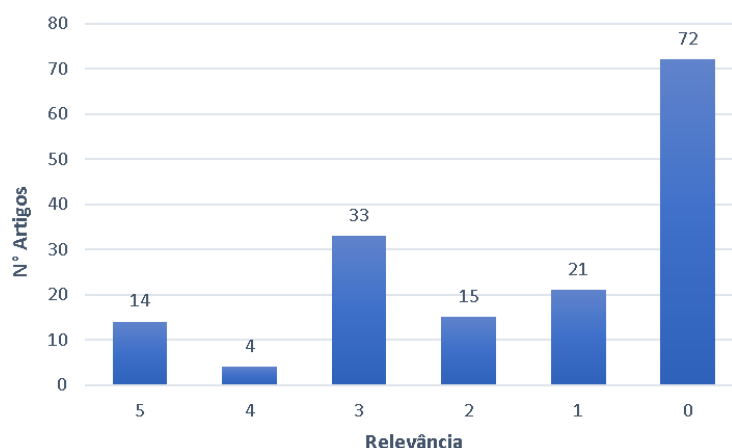
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Para elucidar esta metodologia, segue um exemplo: um artigo foi escolhido, lido seu resumo e avaliado. No critério A, foi atribuído peso 3, pois tinha como objetivo de pesquisa identificar as barreiras enfrentadas por MPEs na I4.0 e de forma abrangente, ou seja, que estuda o fenômeno na sua totalidade e não apenas em tecnologias ou contextos específicos (barreiras de implementação de *IoT* ou em cadeia de suprimentos, por exemplo). Já no critério B, foi atribuído peso 1 pois menciona em seu resumo que utiliza de métodos para tratar as barreiras, de maneira sistemática, mas não há detalhes suficientes sobre como os métodos são aplicados para tratar as barreiras. Portanto, sua nota final será 4 ($3+1=4$).

Assim, para cada resumo foi atribuído uma nota final. Artigos que não apresentaram informações mínimas foi atribuído valor zero nos critérios avaliados. O maior valor obtido foi “5” e o menor “0”.

Finalizada a classificação, a Figura 7 sumariza a quantidade de artigos por relevância.

Figura 7 - Classificação dos artigos



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Foi estabelecido um corte de nota maior ou igual a 4 para a seleção dos artigos a serem lidos na íntegra. Isto permite direcionar aos melhores documentos no tema pesquisado. É notável a quantidade de artigos com baixa relevância para a pesquisa, com 72 artigos com nota zero. Aplicando esta linha de corte, 139 artigos foram descartados, resultando em 18 artigos selecionados para leitura.

Importante ressaltar que, apesar de alguns artigos serem descartados para alcançar os objetivos deste trabalho, não foram excluídos totalmente da base de informação, podendo possuir algumas informações úteis em etapas posteriores.

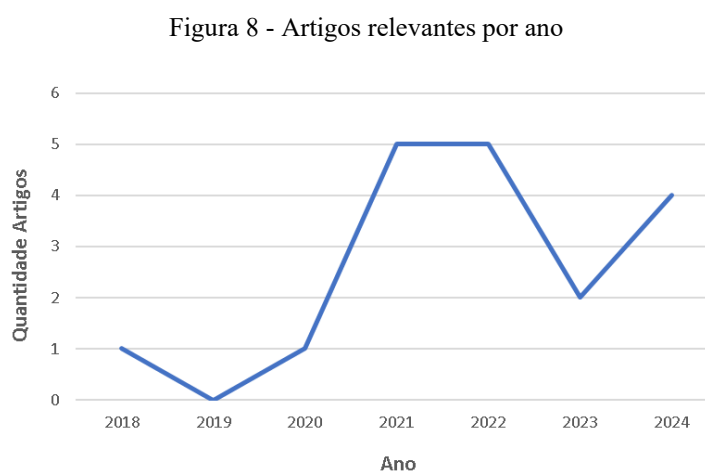
2.1.3 Fase 3: Análise do Conteúdo

Nesta seção, o panorama geral dos artigos será apresentado, com informações acerca dos autores, países de publicação, entre outros e, na sequência, apresentado informações individuais desde objetivo até limitações de cada um.

2.1.3.1 Etapa 7: Panorama dos artigos

Partindo da análise quantitativa, nesta etapa serão apresentados os resultados da análise bibliométrica para mapear o estado atual da pesquisa das dificuldades de MPEs na transição à I4.0. Para isto, utilizou-se dos 18 artigos relevantes escolhidos na fase 6 da etapa 2.

A Figura 8 mostra a quantidade de artigos para cada ano. É evidente que os escolhidos são considerados mais atuais, visto que o assunto I4.0 começou a ser difundido em 2011, sugerindo que esta preocupação ainda é recente. Outro ponto é que em 2021 e 2022 houve um pico de publicações, atingindo 5 artigos sobre o tema.

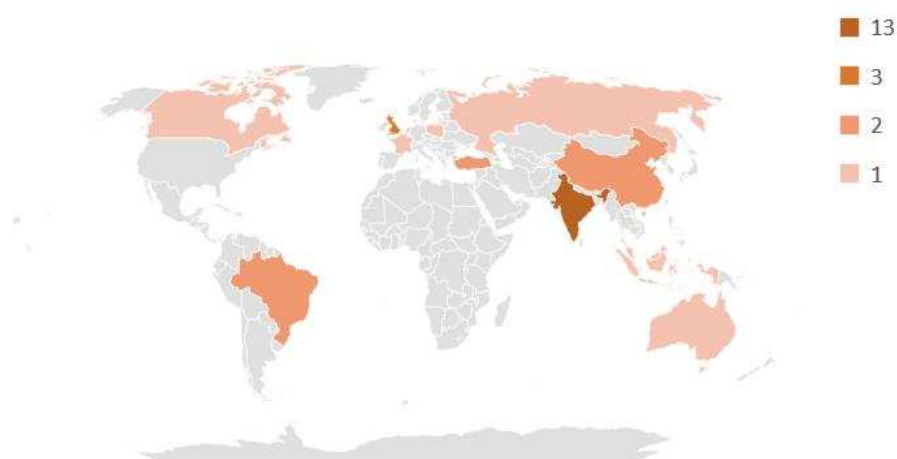


Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Além da quantidade de artigos por ano, uma análise dos países representados pelos autores foi realizada.

A Índia lidera a quantidade de artigos publicados com mais de 68% dos documentos (13 artigos), conforme evidenciado na Figura 9. O Reino Unido é representado em 3 artigos, a Turquia, China e Brasil totalizam 2. Rússia, Indonésia, Austrália, Irã, Polônia, Países Baixos, França, Canadá, Suécia e Malásia são representados em 1 artigo cada.

Figura 9 - Artigos publicados por país



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Nota-se que a maior parte dos países estudados são do oriente geográfico. Isto pode ser estar atrelado a políticas de incentivo para promover a I4.0 e crescimento econômico de países emergentes como a Índia e a China.

Também foi realizada a avaliação dos periódicos os quais os artigos foram publicados, que são ilustrados na Figura 10.

Figura 10 - Quantidade de artigos publicados por *Journals*

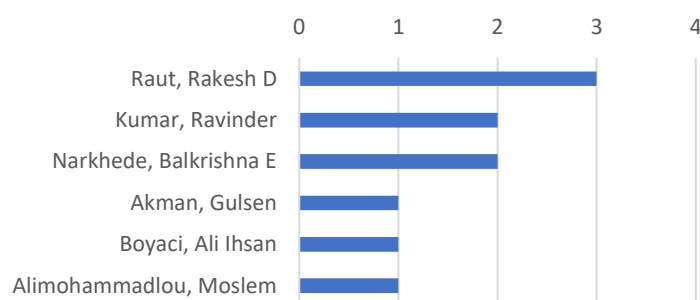
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

A revista *Journal of Cleaner Production* é a que possui maior quantidade de

publicações. Seu fator de impacto é de 2,06. A variedade de fontes demonstra o interesse crescente pelo tema em diferentes áreas de conhecimento, indo além de um nicho específico. Por outro lado, a dispersão das publicações pode indicar a necessidade de pesquisas mais aprofundadas em áreas específicas dentro do tema.

Finalmente, foram listados todos os autores referenciados nos 20 artigos e contabilizados (Figura 11).

Figura 11 - Relação dos autores mais referenciados dos artigos relevantes



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Os autores que mais se repetem nas referências são os Indianos Raut, R. D., Kumar, R. e Narkhede, B. E.. Dos 25% documentos mais citados no mundo, mais de 70% das publicações de Raut estão nesta lista, totalizando 103. Narkhede possui 61% (62 publicações) e Kumar possui 48% (19 publicações). Estes dados são extraídos da base *Scopus*[®].

Após finalizada a análise quantitativa, foi realizada a análise das informações dos artigos com relação a objetivos, abordagens e métodos, contribuições e limitações. Os 18 artigos são detalhados a seguir no Quadro 5.

Quadro 5 - Resumo dos artigos da RSL (Cont.)

Nº	Referência	Objetivo do Estudo	Abordagem / Método(s)	Contribuições	Limitações
1	Fernando et al. (2023)	Explorar barreiras em cadeias de suprimento de PMEs na Indonésia	Abordagem mista (entrevistas semiestruturadas + questionário Likert) + PLS-SEM	Evidências empíricas sobre barreiras em cadeias de suprimento	Foco apenas em cadeias de suprimento e impacto da pandemia
2	Wankhede e Vinodh (2022)	Identificar e priorizar barreiras a Sistemas Ciberfísicos	Revisão + IRP (processo de ranqueamento interpretativo)	Propostas de solução para PMEs em Sistemas Ciberfísicos	Subjetividade e quantidade limitada de especialistas
3	Kumar, Singh e Dwivedi (2020)	Analisar barreiras à I4.0 sob a ótica da economia circular	Revisão + especialistas + DEMATEL	Identifica barreiras causadoras e de efeito; suporte à superação	Viés humano e limitação ao contexto indiano
4	Machado et al. (2021)	Integrar barreiras e facilitadores de I4.0 e sustentabilidade em MPMEs	Revisão + especialistas + Fuzzy-DEMATEL	Visualização das relações entre barreiras e facilitadores	Restrito ao Brasil e abrangência da revisão
5	Kumar et al. (2022)	Identificar e hierarquizar barreiras à sustentabilidade e I4.0	Revisão + especialistas + ISM + MICMAC	Três modelos estratégicos distintos para diferentes PMEs	Poucas empresas e especialistas envolvidos
6	Sharma et al. (2023)	Investigar barreiras e propor iniciativas à I4.0 sustentável	Revisão + especialistas + FAHP + PROMETHEE	Framework barreira-solução; priorização crítica	Viés de julgamento e contexto restrito à Índia
7	Narwane et al. (2022)	Identificar barreiras e relações de causa-efeito em MPMEs	Revisão + especialistas + Fuzzy-DEMATEL	Identificação e priorização de barreiras na manufatura inteligente	Restrito à Índia e possível viés de respondentes
8	Alimohammadlou e Sharifian (2023)	Analisar desafios na indústria alimentícia iraniana para a I4.0	Revisão + questionário + IT2F-BWM + IT2F-DEMATEL	Redução de incertezas e visualização das relações entre desafios	Setor e país únicos, baixa generalização
9	Khanzode et al. (2021)	Modelar barreiras da I4.0 para produção sustentável	DEMATEL com especialistas da indústria e academia	Destaque para atualização tecnológica e políticas públicas	Subjetividade e número de especialistas
10	Sevinç, Gür e Eren (2018)	Avaliar desafios em várias dimensões da I4.0	FAHP + ANP	Comparação entre métodos e avaliação estratégica	Número limitado de especialistas e baixa generalização
11	Kumar et al. (2021)	Identificar e priorizar barreiras para PMEs indianas	Questionários + TOPSIS, VIKOR, PROMETHEE	Ajuda no reconhecimento e mitigação de barreiras	Apenas 4 opiniões, viés e foco na Índia

12	Goel et al. (2022)	Investigar barreiras à I4.0 com ISM e MICMAC em PMEs indianas	ISM + MICMAC com dados de 12 empresas	Hierarquização de barreiras; desenvolvimento estratégico	Apenas 15 barreiras analisadas; viés de metodologia
13	Kumar, Sindhwani e Singh (2021)	Relacionar IIoT e blockchain na superação de desafios	DEMATEL + especialistas	Classificação de desafios e proposta de blockchain como solução	Foco regional e necessidade de maior abrangência
14	Chen et al. (2024)	Avaliar barreiras em PMEs da construção civil para transformação digital	CRP, BULI, TOPSIS, CRITIC	Modelo robusto com tratamento de incertezas	Apenas uma empresa e alta complexidade matemática
15	Agarwal e Ojha (2022)	Relacionar barreiras e requisitos funcionais para I4.0 em MPMEs indianas	Revisão + grupo focal + QFD adaptado (HOQ)	Modelo prático com foco nas principais barreiras e requisitos funcionais	Não validado em caso real e limitado a alguns setores
16	Rawat, Yashpal e Purohit (2024)	Relacionar prioridades das PMEs indianas com suas barreiras à I4.0	Revisão + grupo focal + <i>ISM-MICMAC</i>	Identificação de barreiras independentes e críticas	Foco em PMEs indianas; não testado em outros contextos
17	Gupta e Jagtap (2024)	Desafios enfrentados por empresas indianas alimentícias na digitalização	Revisão + especialistas + DEMATEL	Identificação de desafios e proposta de soluções práticas	Foco em um único setor e país
18	Kumar, Dutta e Phanden (2024)	Identificar barreiras à I4.0 em PMEs e seu impacto na sustentabilidade	Questionários + entrevistas + PLS-SEM	Impacto negativo das barreiras na sustentabilidade e eficiência	Foco em empresas específicas e validação quantitativa limitada

(Conclusão)

Fonte: Elaborador pelo Autor (2025)

Como resultado da análise de conteúdo, várias percepções surgiram. Os pontos em comum são que a maior parte os artigos utilizam de dados quantitativos para priorizar ou relacionar as barreiras. Isto sugere a conveniência em traduzir dados subjetivos em números, o que facilita o tratamento deles. Além disso, muitos deles utilizam de métodos de decisão multicritério (*MDCM*) para tratar as barreiras, que são bastante difundidos na literatura. Outro ponto é que quase todos os artigos realizaram identificação na literatura das barreiras e confirmadas com especialistas. No entanto, há a dificuldade em abranger todos os setores e regiões no mundo.

Os estudos se diferem em alguns focos, sendo alguns em questões sustentáveis, no tipo de operação (cadeia de suprimentos), outros em tecnologias específicas como SCFs ou *IoT*. Além disso, as técnicas *MDCM* usadas são diversas e combinadas, apesar de haver quase metade que utilizam do *DEMATEL*. As barreiras encontradas nos artigos também possuem diferenças quanto a percepção de cada empresa. Existem concordâncias em grande parte, no entanto, cada empresa enxerga de uma forma, sugerindo que é difícil tomar como verdadeiro um modelo para todas as MPEs.

Como apenas 2 artigos tratam do tema no contexto brasileiro, sendo 1 não focado em pequenos negócios, foi realizada outra busca no Google Acadêmico e no Science Direct, para verificar se há outros que tratam barreiras no Brasil. Foram considerados apenas 4 artigos do Science Direct, pois o restante não tratava de barreiras específicas do Brasil ou não trata de MPEs ou de forma sistemática. Estes artigos serão detalhados a seguir:

- 1) Aniceski *et al.* (2024): O artigo investiga a adoção de tecnologias da I4.0 no Brasil e como isso pode preparar o caminho para a I5.0, centrada em sustentabilidade e abordagem humana. Utilizando a estrutura "Tecnologia-Organização-Ambiente" (TOE), o estudo analisa dados de 1.691 empresas, usando análise fatorial e regressão hierárquica para identificar como essas barreiras afetam a implementação de tecnologias I4.0 e os benefícios alcançados e conclui que barreiras internas, como resistência à mudança e falta de habilidades, são mais impactantes que barreiras externas. Os benefícios esperados da I4.0, como inovação e eficiência, não estão sendo plenamente alcançados. A pesquisa sugere maior foco em aspectos culturais e de liderança, mas é limitada por sua dependência dos dados da CNI.

- 2) Elhusseiny e Crispim (2021) visam identificar as barreiras e oportunidades na adoção da I4.0 no setor manufatureiro, comparando países desenvolvidos e em desenvolvimento. Com base em uma revisão sistemática de 803 documentos, 54 estudos foram analisados. Os resultados mostram que as barreiras organizacionais e técnicas são as mais comuns. Países em desenvolvimento enfrentam mais barreiras, mas também veem mais oportunidades, como manufatura inteligente e redução de custos. O estudo sugere a necessidade de mais pesquisas sobre barreiras legais e ressalta a importância de fatores externos, como sustentabilidade e colaboração na cadeia de suprimentos.
- 3) Satyro *et al.* (2022): exploram a implementação da I4.0 em relação à sustentabilidade e seu impacto social no Brasil, identificando benefícios e desafios. Utilizando pesquisa com especialistas de empresas do setor manufatureiro, foi aplicado um questionário com uma escala Likert. Os resultados mostraram que os desafios incluem resistência à mudança cultural e a necessidade de investimentos em tecnologia digital. A sustentabilidade foi considerada secundária, com pouca atenção às dimensões sociais, especialmente ao desemprego. As contribuições destacam a necessidade de focar nos aspectos sociais da sustentabilidade na I4.0, incentivando a consideração das desigualdades sociais. No entanto, uma limitação do estudo foi a sub-representação das preocupações com desemprego e responsabilidade social, o que pode distorcer a compreensão das implicações sociais mais amplas.
- 4) Contador *et al.* (2020) analisaram os desafios e oportunidades na construção de uma indústria flexível em empresas manufatureiras brasileiras que adotaram a I4.0. Os pesquisadores aplicaram um questionário a 39 líderes de empresas manufatureiras nacionais e multinacionais, focando em desafios e oportunidades relacionadas à flexibilidade. Os resultados mostraram 28 desafios e 23 oportunidades, com a necessidade de uma infraestrutura de TI robusta destacada como o desafio mais urgente, enquanto preocupações com segurança de dados foram consideradas menos relevantes. As contribuições incluíram o enriquecimento da literatura sobre flexibilidade na fabricação e insights práticos para os líderes do setor. Contudo, limitações foram identificadas, como o pequeno tamanho da amostra e a

possibilidade de mudança de opinião ao longo do tempo, afetando a generalização dos resultados.

A identificação para aplicação em pequenos negócios no Brasil não foi encontrada em nenhum artigo. Desta forma, surge como oportunidade de pesquisa o estudo das barreiras que pequenas empresas brasileiras enfrentam na transição à I4.0.

2.1.3.2 Seleção das barreiras

Cada autor utiliza uma lista de barreiras específica para fundamentar seu estudo, seja com base em sua própria pesquisa ou em listas de outros autores. Para garantir que todas as dificuldades enfrentadas pelas MPEs no contexto da I4.0 sejam contempladas, é relevante realizar um levantamento abrangente de todos os artigos revisados, com o objetivo de consolidar uma lista de barreiras própria. Esse procedimento visa incluir tanto as barreiras internas quanto as externas geradas pela adoção da I4.0.

No entanto, ao analisar os artigos revisados, observou-se que quase a totalidade deles não faz a distinção entre as barreiras enfrentadas por PMEs, dificultando a avaliação de possíveis diferenças nas barreiras enfrentadas por esses dois grupos. Para resolver essa questão, foi realizada uma comparação entre a lista consolidada das barreiras identificadas nos artigos e as principais dificuldades de MPEs no processo de transformação digital no Brasil, conforme publicado pela ABDI (2022), que são:

- Falta de recursos para investir na transformação digital;
- Dificuldade em acessar pessoas ou empresas com capacidade para apoiar a transformação digital da empresa;
- Dificuldade em definir as prioridades de investimento na transformação digital da empresa;
- Ausência de uma estratégia clara para a atuação no ambiente digital;
- Deficiência de tecnologias básicas na empresa que possibilitem a adoção de tecnologias mais avançadas;

- Resistência à mudança por parte da alta gestão (diretores/gerentes);
- Outros.

Todas estas barreiras corroboram com as barreiras encontradas nos artigos lidos, com exceção do item “outros”, que abre margem para qualquer barreira que não sejam as listadas.

Um outro dado que suporta esta decisão é encontrado no estudo feito por Machado *et al.* (2021), onde as variações entre as percepções de barreiras de MPEs e médias empresas são baixas. Portanto, este trabalho tratará de barreiras de MPMEs de forma conjunta. Importante tomar nota que este trabalho não trata de MPMEs como a mesma coisa e sim os tipos de dificuldades que elas enfrentam para migrar à I4.0. Por exemplo: médias empresas possuem dificuldades financeiras. MPEs também; MPEs possuem dificuldades tecnológicas. Médias também, mesmo que as intensidades dessas dificuldades sejam percebidas diferentemente. Portanto, a lista elaborada a partir dos artigos lidos será utilizada como base para aplicação do estudo de caso deste trabalho.

Com relação aos termos “barreiras”, “desafios” e “obstáculos”, são muito usados na literatura e aqui serão tratados como sinônimos, pois todos eles se referem a dificuldades ou problemas que precisam ser superados neste contexto. Segundo o dicionário Michaelis:

- Barreira (2025): Qualquer coisa que dificulte ou impeça a realização ou a obtenção de algo;
- Dificuldade (2025): Tudo o que impede, embaraça; obstáculo, estorvo, embaraço, impedimento.

Segundo Elo e Kingas (2008), a análise de conteúdo é um método sistemático e objetivo de descrever e quantificar fenômenos, existindo dois tipos: Indutiva e dedutiva. A primeira é utilizada quando não há categorias predefinidas e o objetivo é permitir que os padrões e temas emerjam dos dados. Os pesquisadores organizam os dados qualitativos a partir de um processo exploratório, incluindo codificação aberta, criação de categorias e abstração. Portanto, o objetivo é identificar conceitos e categorias a partir do próprio material analisado, sem impor um modelo teórico prévio. Já a análise dedutiva, parte de um conjunto pré-existente de categorias, modelos ou teorias, que são testados ou aplicados a novos dados. Os pesquisadores utilizam uma matriz de categorização, onde os dados são analisados para verificar se

correspondem ou não às categorias definidas. Pode ser usada para validar hipóteses ou testar teorias em um novo contexto.

Portanto, para este estudo, será usado a análise de conteúdo indutiva. A Figura 12 ilustra o processo de análise de conteúdo indutiva para este trabalho, conforme Elo e Kingas, (2008).

Figura 12 - Processo de análise de conteúdo indutiva



Fonte: Adaptado de Elo e Kingas (2008)

Iniciando com a codificação aberta, 325 barreiras foram listadas dos 26 artigos (Apêndice A). Foram identificadas sinonímias, sendo concluída a etapa de codificação. No agrupamento, as barreiras comuns como, por exemplo, “alto custo de implementação” e “alto custo para a transição” foram agrupadas. Por fim, este processo resultou em 51 barreiras divididas em 10 categorias, a qual finaliza a etapa de categorização. Estas 10 categorias foram nomeadas de acordo com o processo de abstração. Como resultado deste processo, o Quadro 6 sintetiza as barreiras que serão usadas no presente estudo.

Quadro 6 – Resultado do agrupamento e categorização das barreiras (Cont.)

Categorias	Barreiras	Referências
Infraestrutura e Tecnologia	Dificuldades de Integração e Interoperabilidade	Khanzode et al. (2021); Agarwal; Ojha (2022); Contieri <i>et al.</i> (2023); Machado <i>et al.</i> (2021); Kumar, G. <i>et al.</i> (2022); Elhusseinya; Crispim (2022); Contador <i>et al.</i> (2020); Sharma <i>et al.</i> (2023); Alimohammadlou; Sharifian (2023); Goel et al. (2022); Rawat <i>et al.</i> (2024); Kumar et al. (2024); Kumar <i>et al.</i> (R.) (2021); Kumar et al. (2020); Kumar, R. et al. (2022); Gupta; Jagtap (2024); Aniceski <i>et al.</i> (2024); Narwane <i>et al.</i> (2022); Wankhede; Vinodh (2021); Fernando <i>et al.</i> (2023); Chen <i>et al.</i> (2024).
	Inadequações na Infraestrutura	
	Segurança e Gestão de Dados	
	Capacidades e Recursos Tecnológicos	
	Desafios de Implementação e Desempenho	
	Desafios de Digitalização e Análise de Dados	
Financeiras	Custo e Investimento Inicial Elevado	Khanzode <i>et al.</i> (2021); Sevinç; Gür (2018); Agarwal; Ojha (2022); Machado <i>et al.</i> (2021); Kumar, G. <i>et al.</i> (2022); Elhusseinya; Crispim (2022); Contador <i>et al.</i> (2020); Sharma <i>et al.</i> (2023); Alimohammadlou; Sharifian (2023); Goel <i>et al.</i> (2022); Rawat <i>et al.</i> (2024); Kumar <i>et al.</i> (2024); Kumar et al. (2020); Kumar, R. <i>et al.</i> (2022); Gupta; Jagtap (2024); Aniceski <i>et al.</i> (2024); Wankhede; Vinodh (2021); Fernando <i>et al.</i> (2023); Chen et al. (2024).
	Dificuldades de Acesso a Recursos Financeiros	
	Custos de Treinamento e Suporte	
	Altos Riscos e Incertezas sobre ROI	
	Falta de Investimento em P&D	
	Necessidade de Investimentos Sustentáveis	
Habilidades e conhecimento	Falta de Qualificação e Habilidades	Khanzode <i>et al.</i> (2021); Sevinç; Gür (2018); Machado <i>et al.</i> (2021); Figueiredo; Graglia (2021); Kumar, G. <i>et al.</i> (2022); Elhusseinya; Crispim (2022); Contador <i>et al.</i> (2020); Sharma <i>et al.</i> (2023); Alimohammadlou; Sharifian (2023); Goel <i>et al.</i> (2022); Rawat <i>et al.</i> (2024); Kumar <i>et al.</i> (2024); Kuma R. <i>et al.</i> (2021); Kumar <i>et al.</i> (2020); Kumar, R. <i>et al.</i> (2022); Gupta; Jagtap (2024); Aniceski <i>et al.</i> (2024);
	Falta de Treinamento e Desenvolvimento	
	Falta de habilidades na Gestão e Implementação	
	Dificuldade em gerar empregos de alta qualificação	
	Alto nível de complexidade	
Culturais e de gestão	Falta de Compromisso e Suporte da Alta Gestão	Sevinç; Gür (2018); Cruzara <i>et al.</i> (2023); Machado <i>et al.</i> (2021); Kumar, G. <i>et al.</i> (2022); Elhusseinya; Crispim (2022); Contador <i>et al.</i> (2020); Sharma <i>et al.</i> (2023); Alimohammadlou; Sharifian (2023); Goel <i>et al.</i> (2022); Rawat <i>et al.</i> (2024); Kumar <i>et al.</i> (2020); Kumar, R. <i>et al.</i> (2022); Gupta; Jagtap (2024); Aniceski <i>et al.</i> (2024); Narwane <i>et al.</i> (2022); Satyro <i>et al.</i> (2022).
	Desafios na Cultura Organizacional	
	Falta de Planejamento e Visão Estratégica	
	Dificuldades em adaptação e Flexibilidade	
	Falta de Prioridades e Alinhamento Estratégico	
	Dificuldade na Gestão de Mudanças e Desempenho	
	Desafios Operacionais e de Produtividade	
	Falta de Cooperação e Colaboração	
	Impacto das Inovações	
	Resistência à Mudança	

Categorias	Barreiras	Referências
Governamentais e Regulatórias	Falta de Políticas e Suporte Governamental	Khanzode <i>et al.</i> (2021); Sevinç; Gür (2018); Agarwal; Ojha (2022); Machado <i>et al.</i> (2021); Kumar, G. <i>et al.</i> (2022); Sharma <i>et al.</i> (2023); Alimohammadlou; Sharifian (2023); Goel <i>et al.</i> (2022); Rawat <i>et al.</i> (2024); Kumar, K. <i>et al.</i> (2022); Fernando <i>et al.</i> (2023); Chen <i>et al.</i> (2024).
	Falta de Regulamentações e Legislação	
	Inseguranças legais	
	Falta de Incentivos para adoção	
Conscientização e Informação	Consciência e Interesse Limitados	Sevinç; Gür (2018); Agarwal; Ojha (2022); Sharma <i>et al.</i> (2023); Goel <i>et al.</i> (2022); Rawat <i>et al.</i> (2024); Kumar <i>et al.</i> (2020); Kumar, R. <i>et al.</i> (2022); Fernando <i>et al.</i> (2023).
	Falta de clareza sobre a implementação	
	Falta de Informação sobre Políticas e Sustentabilidade	
Mercado e Necessidades do Cliente	Falta de Acesso e Oportunidades de Mercado	Khanzode <i>et al.</i> (2021); Sevinç; Gür (2018); Figueiredo; Graglia (2021); Contador <i>et al.</i> (2020); Sharma <i>et al.</i> (2023); Alimohammadlou; Sharifian (2023); Goel <i>et al.</i> (2022); Kumar <i>et al.</i> (2024); Kumar <i>et al.</i> (2020); Kumar, R. <i>et al.</i> (2022); Gupta; Jagtap (2024); Aniceski <i>et al.</i> (2024).
	Pressão Competitiva e Concorrência	
	Incertezas na demanda	
	Poucos exemplos no mercado	
	Necessidade de Inovação e Flexibilidade	
	Falta de soluções alternativas para problemas tecnológicos	
	Engajamento e Suporte dos Stakeholders	
	Infraestrutura de telecomunicação do país insuficiente	
Cadeia de Suprimentos	Alterações de design em estágios tardios	Agarwal; Ojha (2022); Sharma <i>et al.</i> (2023); Goel <i>et al.</i> (2022); Kumar <i>et al.</i> (2020); Aniceski <i>et al.</i> (2024).
	Falta de alinhamento com Parceiros Comerciais	
	Aspectos Legais e Contratuais	
	Falta de comprometimento	
Sustentabilidade	Dificuldade em identificar tecnologias e parceiros	Sharma <i>et al.</i> (2023); Alimohammadlou; Sharifian (2023); Goel <i>et al.</i> (2022); Kumar, R. <i>et al.</i> (2022); Wankhede; Vinodh (2021); Satyro <i>et al.</i> (2022).
	Falta de Iniciativas e Práticas "verdes"	
	Dúvidas sobre a sustentabilidade da I4.0	
Sociais	Medo de desemprego	Khanzode <i>et al.</i> (2021); Kumar, G. <i>et al.</i> (2022); Contador <i>et al.</i> (2020); Sharma <i>et al.</i> (2023); Goel <i>et al.</i> (2022); Kumar <i>et al.</i> (2020); Kumar, R. <i>et al.</i> (2022); Satyro <i>et al.</i> (2023);
	Impactos na Saúde Mental	

(Conclusão)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Buscou-se manter uma quantidade de categorias de barreiras equilibrada, pois muitas delas são bastante específicas. Por outro lado, categorizar em poucos itens pode generalizar demais as definições e gerar problemas na interpretação delas. Por exemplo, barreiras como “dificuldades na implementação de SCF usando rede com fio” (Wankhede; Vinodh, 2022), “falta de conexões abrangentes de banda larga” (Kumar *et al.*, 2021) e “falta de aplicações de SCF com consumo mínimo de energia” (Wankhede; Vinodh, 2022) foram agrupadas na barreira “Infraestrutura e Tecnologia”. Além disso, listas extensas para as barreiras torna não só o processamento dos métodos mais oneroso e, conseqüentemente, inviável, como o questionário para o respondente mais cansativo. Isto atende o descrito por Elo e Kingas (2008) em que o processo de abstração continua até que seja razoável e possível.

Após realizada a análise do conteúdo dos artigos, foi selecionado o método mais apropriado para o desenvolvimento deste trabalho.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, primeiramente serão apresentados os conceitos relativos à I4.0 e as tecnologias envolvidas, com a contextualização e definições.

Na sequência serão abordadas quais as implicações desta temática. Isto resultará em discussões acerca da I4.0, envolvendo aspectos como tamanho das empresas, particularidades de alguns países, cenário econômico, aspectos sociais, entre outros.

Por fim, foco será dado nas MPEs e as barreiras que elas enfrentam ou percebem enfrentar na implementação de tecnologias digitais rumo a quarta revolução industrial.

Em resumo, este tópico servirá de base para o desenvolvimento do presente trabalho.

3.1 *Background* e definição da I4.0

A primeira revolução industrial ocorreu por volta de 1760 a cerca de 1840, desencadeada pela construção de ferrovias e a invenção da máquina a vapor, introduzindo a produção mecânica. Após isso, inovações começaram a surgir, especialmente na indústria têxtil. A segunda revolução industrial, que começou no final do século 19 e se estendeu até o início do século 20, tornou a produção em massa possível, impulsionada pelo surgimento da eletricidade, uso extensivo do óleo e do desenvolvimento das linhas de montagem. Já a terceira, teve início na década de 1960. Geralmente é chamada de revolução computacional ou digital, pois foi catalisada pelo desenvolvimento de semicondutores, computação de *mainframes* (década de 1960), computação pessoal (décadas de 1970 e 80) e a internet (década de 1990) (Haseeb *et al.*, 2019; Kumar *et al.*, 2021; Schwab, 2016). Hoje, 50 anos depois, as empresas começaram a trabalhar com o conceito de objetos interligados por redes e informação, conhecidos como Sistemas Ciberfísicos (Kumar *et al.*, 2021, p. 154)

Diferentemente das revoluções anteriores, as tecnologias e inovações se difundem de forma mais rápida e mais abrangente (Bikse *et al.*, 2022, p. 6).

O crédito da introdução da quarta revolução industrial é dado ao Governo alemão em 2011 como resultado de uma iniciativa para melhorar a produtividade da indústria manufatureira no país e manter-se na liderança manufatureira, onde o conceito foi espalhado e

adotado pelo mundo (Goel *et al.*, 2022; Ko *et al.*, 2020; Pasi; Mahajan; Rane, 2022; Stentoft *et al.*, 2019) e isso está desestabilizando a forma que modelos de negócio são projetados e como as organizações operam (KOH *et al.*, 2019).

Não existe uma forma geral aceita para a definição da I4.0 (Rauch e Vickery, 2020, p. 1) e isto deriva das diferentes denominações usadas para indicar o mesmo fenômeno (Sabatini; Bartoloni; Gregori, 2020, p. 113). No entanto, o elemento comum em todas as definições é a conexão entre sistemas físicos e virtuais utilizando de tecnologias da informação e comunicação para facilitar os processos de manufatura (Prause, 2019, p. 2). O Quadro 7 compila algumas definições encontradas na literatura.

Quadro 7 - Algumas definições do conceito da I4.0

Definição	Fonte
Fábrica inteligente com alta capacidade tecnológica centrada em integrar todos os processos produtivos através de tecnologia da informação e comunicação, de modo a fabricar produtos customizados no melhor custo-benefício e melhor tempo possível.	(Ko <i>et al.</i> , 2020)
Integração de sistemas Cíberfísicos na produção e logística em como aplicação de <i>IoT</i> em processos industriais, impactando a cadeia de valor, modelos de negócios, serviços e ambiente de trabalho.	(Prause, 2019)
Processo de digitalização de alto nível bem como interconexões vertical e horizontal para a criação de valor industrial de forma inteligente e autoconsciente.	(Müller; Voigt, 2018)
Mundo habilitado por fábricas inteligentes o qual sistemas virtuais e físicos de fabricação cooperam globalmente entre si de maneira flexível, possibilitando a personalização absoluta de produtos e a criação de novos modelos operacionais.	(Schwab, 2016)
Integração de tecnologias avançadas para criar sistemas de produção mais flexíveis, personalizados e eficientes, com o objetivo de melhorar a qualidade, produtividade e sustentabilidade da indústria.	(Frank; Dalenogare; Ayala, 2019)
Novo paradigma da manufatura na economia global que direciona para a completa digitalização dos processos produtivos, logística, organizações e toda a cadeia de suprimentos.	(Amaral; Peças, 2021)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

A I4.0 introduziu a ideia de manufatura inteligente, onde máquinas trabalham como uma comunidade colaborativa que beneficia a empresa com a criação de uma alta capacidade

tecnológica (Azman; Ahmad, 2020, p. 1434).

Vários países estão com iniciativas similares do tema como “*Smart Manufacturing*” nos EUA, “*Made in China 2025*” na China (Müller; Voigt, 2018), “*Future Manufacturing*” no Reino Unido (Masood; Sonntag, 2020, p. 1), *Making Indonesia 4.0* (Fernando *et al.*, 2023), *Industrie 2025* na Suíça (Krajčík, 2021) e “*Make in India*” (Wankhede; Vinodh, 2022). No entanto carecem em países como República Tcheca (Krajčík, 2021).

Além de Sistemas Ciberfísicos, a quarta etapa da industrialização tem como objetivo introduzir conceitos como *IoT*, Automação e Interação Humano-Máquina, bem como Tecnologias Avançadas de Manufatura (Rauch; Vickery, 2020, p. 2). Estes conceitos estão integrados como um conjunto de unidades controladas de forma individual para processamento de informação, podendo ser chamado de “fábrica inteligente”, o que seria um estágio avançado de implementação da I4.0. (Khanzode *et al.*, 2021, p. 3). Essas fábricas são capazes de gerenciar processos de produção de forma autônoma e eficiente, permitindo uma comunicação natural entre humanos, máquinas e recursos, semelhante às redes sociais digitais. Elas estão conectadas a dispositivos móveis, redes elétricas inteligentes, logística avançada entre outros, tornando-se o coração da infraestrutura “inteligente”. Desta forma, o recurso controlador decisivo, que antes era a terra, passando posteriormente a ser a mão-de-obra, hoje passou a ser o conhecimento. Ou seja, ignorar o ambiente intelectual é ignorar o futuro da empresa (Biagio; Batocchio, 2005).

Não somente a aplicação e integração entre as tecnologias, a integração e flexibilidade de toda a cadeia de valor são aspectos chave para a I4.0 e construção de fábricas inteligentes, como também a vida cotidiana, cultura e o ser humano em si (Adamik, 2020; Krajčík, 2021).

A flexibilidade pode ser interpretada como a habilidade de se adaptar para se manter competitivo no mercado. Assim, as estratégias, operações, desempenho, informação e mão de obra devem convergir para a flexibilidade (Contador *et al.*, 2020)

Estas caracterizações se dão através da engenharia ponta-a-ponta, integrações vertical e horizontal (Ko *et al.*, 2020; Prause, 2019, p. 2).

Segundo a definição de Henning Kagermann (2013):

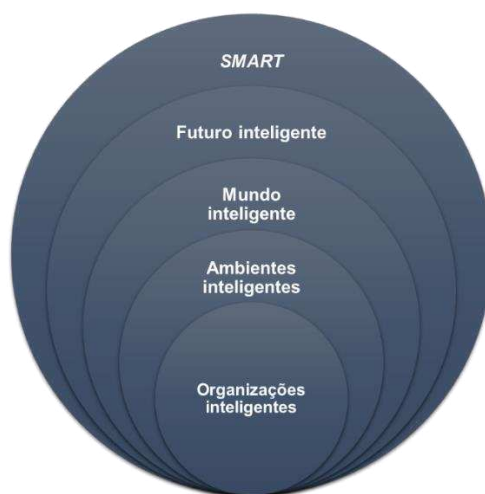
- Integração vertical: integração dos diversos sistemas de TI nos diferentes níveis hierárquicos (por exemplo, atuador e sensor, controle, gestão da produção, fabricação e execução e níveis de planejamento corporativo). Em outras palavras, se refere

interligação de todos os elementos do ciclo de vida do produto de uma organização (Türkeş *et al.*, 2019, p. 3);

- Integração horizontal: integração dos diversos sistemas de TI usados nas diferentes etapas dos processos de fabricação e planejamento de negócios que envolvem a troca de materiais, energia e informações tanto dentro de uma empresa (por exemplo, logística de entrada, produção, logística de saída, marketing) quanto entre várias empresas diferentes (redes de valor);
- Integração ponta-a-ponta: integração dos processos de engenharia que possibilita a interação entre o mundo real e digital em toda a cadeia de valor e entre diferentes empresas, ao mesmo tempo em que incorporam as necessidades dos clientes.

Este conceito é esclarecido por Adamik (2020) de uma forma mais abrangente (Figura 13) com o conceito *Smart*, que se refere a ser inteligente e adaptável em várias situações e contextos. Indivíduos e organizações podem se adaptar ao ambiente *Smart*, que engloba tecnologias avançadas, colaboração, busca por soluções inteligentes e criação de um futuro mais atrativo. Também é discutida a interação entre o mundo físico e virtual, a importância da computação ubíqua e como as organizações devem se adaptar para funcionar de maneira inteligente. Aborda ainda a influência da tecnologia nas sociedades, indústrias e cidades, enfatizando a necessidade de compreender as percepções e comportamentos dos clientes para alcançar sucesso.

Figura 13 - Conceito Smart



Fonte: Adaptado de Adamik (2020)

A I4.0 enfatiza a importância da conectividade e coleta de grandes quantidades de dados para otimização em monitoramento contínuo e tomada de decisões avançadas (Narwane *et al.*, 2022). No entanto, seu conceito também pode ser entendido não só como a implementação de tecnologias como *Big Data*, manufatura aditiva, *MES*, *IoT*, entre outras, mas também o que as empresas conseguem fazer com elas (Amaral; Peças, 2021, p. 2).

Desta forma, esse fenômeno deve ser tratado como um ecossistema econômico em que as empresas devem se reorganizar em prol da melhoria de produtividade e diminuição de custos e não apenas como um salto tecnológico (Szelaowski; Berniak-Woźny, 2023, p.388). Sua adoção envolve todos os setores da economia, podendo ser referenciado pelo seu conceito de cidades inteligentes (Schwab, 2016), como construção civil (Newman *et al.*, 2021), restaurantes (Ndhlovu; Dube, 2023), hotelaria (Amin *et al.*, 2021), naval e petroquímicos (Narwane *et al.*, 2022), entre outros. Temos sinais claros das 21 mudanças tecnológicas idealizadas por Schwab (2016). Por exemplo, a mudança tecnológica 1 trata de que dispositivos não serão mais usados apenas e sim implantados de forma a coletar informações como localização, comportamento, saúde (Azemi *et al.*, 2023). Alguns exemplos da mídia podem já ser citados que tendem à este conceito como a Apple®, que recentemente publicou um registro de patente de fones de ouvido que utilizam de eletrodos para captar sinais cerebrais.

No entanto, é difícil obter o benefício direto da I4.0 a menos que as redes de cadeia de suprimentos em fábricas inteligentes estejam conectadas digitalmente umas às outras. Os sistemas, máquinas e pessoas devem estar conectados a sistemas de rede comuns entre si (Fernando *et al.*, 2023, p. 680).

Esta ideia fez com que provocasse um aumento potencial do interesse público juntamente com os receios sobre os impactos e incerteza, que exigiu uma resposta buscada por instituições de educação, governo e empresas (Azman; Ahmad, 2020, p. 1429). Estas incertezas são causadas pelo rápido crescimento do tema em um período curto, o que exige um aumento dramático nas capacidades tecnológicas das empresas manufatureiras, sendo a maior parte dos estudos direcionados a este setor (Azman; Ahmad, 2020).

Porém, as tecnologias da I4.0 ainda estão em desenvolvimento e os gestores das empresas ainda estão indecisos quanto a sua implementação (Alqam; Saqib, 2020; Sharma *et al.*, 2023, p. 2).

De acordo com um estudo feito pela KPMG (2022), uma das maiores redes globais de auditoria e consultoria, 80% das empresas globais ainda estão nos primeiros estágios da jornada

(nível 2 - conectividade, indústria 3.0).

Em conjunto com as tecnologias, a inovação é parte do pilar para a adoção da I4.0 e pivô na vantagem competitiva das empresas (Fernando *et al.*, 2023; Sabatini; Bartoloni; Gregori, 2020). Por isso, transições como esta exigem mudanças culturais de modo a adotá-las dentro da linha de negócio (Ndhlovu; Dube, 2023, p. 162).

A integração com práticas sustentáveis no cenário da I4.0 também é abordada pelos acadêmicos (Khanzode *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2023; Ancillo *et al.*, 2022; Sharma *et al.*, 2023). Especificamente nas pequenas empresas, Kumar, Singh e Dwivedi (2020) enfatizam que elas devem adotar estas práticas, como a transição para a economia circular e a aplicação de tecnologias avançadas da I4.0, a fim de enfrentar desafios e aproveitar oportunidades no cenário de negócios. Destaca ainda que tais práticas não apenas melhoram a competitividade das PMEs, mas também contribuem para a responsabilidade social corporativa e operações sustentáveis, resultando em benefícios como redução de custos, aprimoramento da sustentabilidade e oferta de produtos personalizáveis aos clientes.

Desta forma, é importante integrar a I4.0 à estratégia global da empresa bem como comunicar e conscientizar para facilitar o processo de digitalização e adoção da I4.0. Em um estudo feito na Irlanda por Mcdermott *et al.* (2023) evidenciou-se que a implementação bem-sucedida da I4.0 requer não apenas treinamento e capacitação dos funcionários, mas também o alinhamento da administração com a estratégia de implementação. Além disso, recomendou-se que o governo aumente a conscientização das empresas sobre os apoios disponíveis para a I4.0.

3.2 Elementos da I4.0

Como mencionado no tópico anterior, a implementação da I4.0 depende de vários componentes. A conexão das tecnologias visa alto nível de personalização de produtos e processos produtivos com baixa proporção de mão de obra humana (Ślusarczyk; Pyplacz, 2020, p. 256).

Segundo Nakagawa *et al.* (2021), de modo a suportar as empresas neste processo, vários modelos de arquitetura foram propostos como o *IIRA*, *RAMI 4.0*, *SITAM*, *IVRA*, *IBM Industry 4.0* e *LASFA*. Todas estas arquiteturas, até certo ponto, cobrem níveis diferentes da pirâmide da automação, desde o nível operacional até estratégico. *IIRA* e *RAMI4.0* são as mais populares,

no entanto, existem várias outras utilizadas em regiões e contextos específicos. O Quadro 8 descreve estes modelos.

Quadro 8 - Descrições das arquiteturas de referência da I4.0

Arquitetura de Referência	Descrição da Arquitetura
IIRA (Industrial Internet Reference Architecture)	• Quatro pontos de vista arquitetônicos (negócios, uso, funcional e implementação) • Representação informal usando camadas, caixas e setas • Descrição textual dos pontos de vista
RAMI 4.0 (Reference Architectural Model for Industry 4.0)	• Uma visão geral contendo as três dimensões • Representação informal • Descrição textual da visão
SITAM (Smart Industrial Technology Adoption Model)	• Uma visão geral contendo camadas e caixas • Representação informal • Descrição textual da visão
IVRA (Industrial Virtualization Reference Architecture)	• Uma visão geral apresentando as três camadas (negócios, atividade e especificação) • Três visões gerais para detalhar cada camada • Representação informal complementada com legenda • Descrição textual da visão
IBM Industry 4.0	• Uma visão geral apresentando camadas, caixas e setas • Representação informal complementada com legenda • Descrição textual de cada elemento na visão
LASFA (Local Agile Smart Factory Architecture)	• Uma visão geral e uma visão sobre o processo de produção local representado através de camadas, caixas e setas • Representação informal • Descrição textual da visão

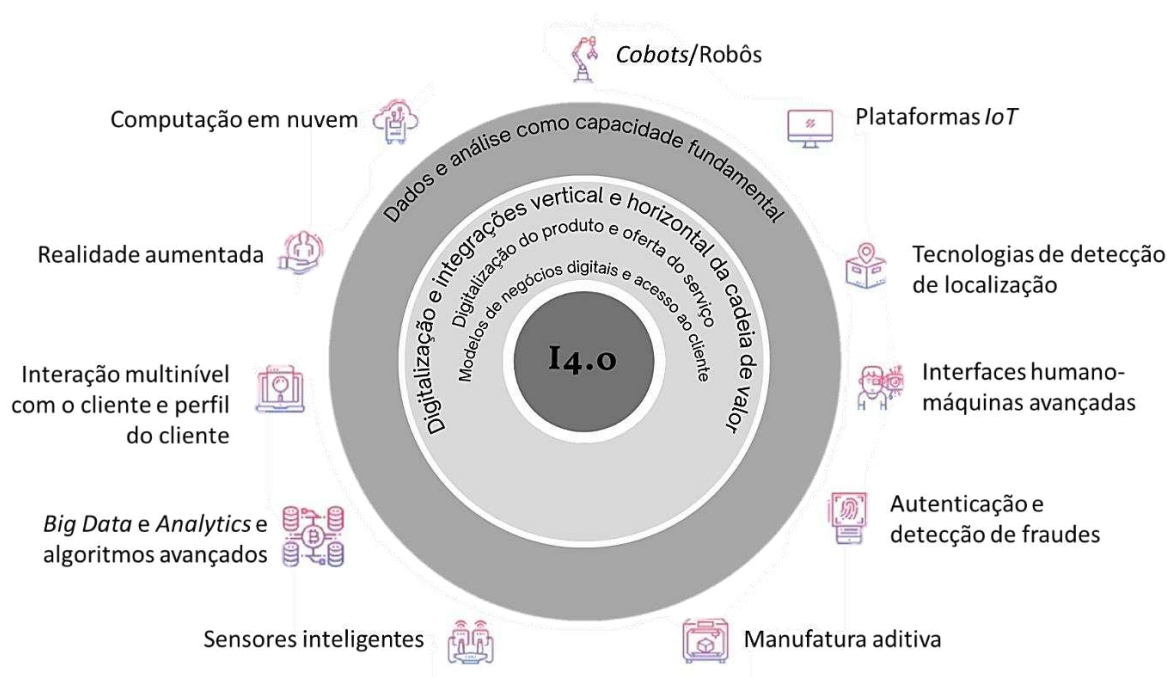
Fonte: Adaptado de Nakagawa *et al.* (2021)

De acordo com Ascúa (2021), os elementos tecnológicos e dispositivos que comunicam entre si ao longo da cadeia de valor envolvem: Robôs colaborativos, *IoT*, Big Data, ciência de dados ou mineração de dados, computação em nuvem, inteligência artificial e aprendizado de máquina, manufatura aditiva, realidade aumentada e virtual entre outras tecnologias como *HMIs*, *RFID*, blockchain, sensores inteligentes etc. (Figura 14).

A automatização de cada etapa dos processos, desde a configuração e produção até a cadeia de suprimentos e manutenção preditiva é o objetivo primário de Sistemas Ciberfísicos (SCFs) (Nagy; Lăzăroiu; Valaskova, 2023). Estes sistemas integram computação, redes e processos físicos, unindo o mundo físico e o virtual. No ambiente de manufatura, os SCFs consistem em máquinas inteligentes, sistemas de armazenamento e instalações de produção capazes de trocar informações de forma autônoma, acionar ações e controlar uns aos outros de

forma independente. Os SCF são a tecnologia central na Fábrica Inteligente (Sabatini; Bartoloni; Gregori, 2020, p. 114). A infraestrutura lógica, incluindo comunicação, aquisição de dados e análise, precisa ser robusta. Tudo isso deve ser automatizado, incluindo a tomada de decisões no controle dos processos de produção (Ślusarczyk; Pyłacz, 2020, p. 257).

Figura 14 - Elementos tecnológicos da I4.0



Fonte: Tradução própria a partir de Ascúa (2021)

Sua aplicação no processo de fabricação permite um novo grau de controle, transparência, eficiência e flexibilidade dos processos de produção (Sabatini; Bartoloni; Gregori, 2020, p. 114), sendo considerado a espinha dorsal da quarta revolução industrial (Müller; Voigt, 2018; Wankhede; Vinodh, 2022, p. 2324).

Além disso, os sistemas físicos estão se comunicando entre si, utilizando tecnologia da informação e sensores que capturam as atividades. Os dados são subsequentemente processados, e as decisões podem ser tomadas com base nos dados, e atuadores executam as decisões. Ou seja, SCF é um campo multidisciplinar que inclui ciência da computação, processos e algoritmos, matemática, controle, interações humanas/máquina e engenharia mecatrônica (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023).

Nos SCFs, o sistema de fabricação monitora e toma decisões por meio de comunicações em monitoramento contínuo e da cooperação de humanos, máquinas e sensores. Portanto, ele pode perceber e reagir como um ambiente inteligente. Múltiplos sensores fornecem coleta e integração de informações nos SCFs (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023). Com isso, espera-se gerar novos modos de criação de valor com SCFs (Müller; Voigt, 2018, p. 660).

Essa conectividade nos SCFs é viabilizada quando os mundos físico e digital são combinados (conexão, comunicação, computação e controle), tratando-se da conexão inteligente de qualquer coisa, em qualquer momento e em qualquer lugar, remetendo-se ao *IoT* (Rauch; Vickery, 2020, p. 2), que é essencial para a construção de uma fábrica inteligente, permitindo a integração de processos por meio da coleta de dados (Narwane *et al.*, 2022).

A *IoT* pode ser implementada diretamente usando um smartphone, por exemplo, onde um aplicativo móvel pode conectar diferentes módulos da entidade empresarial e monitorá-los continuamente. Assim, a *IoT* é econômica e implementável nas MPMEs (Khanzode *et al.*, 2021). Além disso, algumas aplicações também podem ser feitas nos setores de saúde, transportes ou residenciais (Haseeb *et al.*, 2019). Um exemplo é o monitoramento por um smartwatch monitorando os batimentos cardíacos e outros parâmetros de saúde (Bikse *et al.*, 2022).

De forma similar, a Internet de Serviços (*IoS*) permite que os fornecedores de serviços ofereçam seus serviços pela Internet e, conseqüentemente, adicionem valor à sua oferta. Como resultado da aplicação das tecnologias *IoT* e *IoS* na manufatura, as empresas estão mudando de oferecer produtos para oferecer pacotes integrados de produtos e serviços, um fenômeno chamado de "servitização" (Sabatini; Bartoloni; Gregori, 2020).

O *RFID*, usado para rastreamento de produtos (Ślusarczyk; Pypłacz, 2020, p. 257), computação em nuvem, middleware e diferentes aplicações de software da *IoT* são elementos vitais para a I4.0 (Silva *et al.*, 2022).

A conectividade e o monitoramento oferecidos pela *IoT* e pelo *RFID* são potencializados pela Computação em Nuvem, que inclui serviços e recursos compartilhados no sistema de manufatura [...]. Este exemplo de aplicação integrando *IoT* e Computação em Nuvem com o *RFID*, permite etiquetar materiais processados, obtendo informação continuamente a ser coletada enquanto rastreia componentes dentro ou fora da fábrica, além de atualizar do nível de estoque, localização e tempo esperado de entrega (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023, p. 7).

Soluções em nuvem já tem se tornado parte integrante de muitas empresas, em que, em conjunto com sistemas *IoT* são as tecnologias mais utilizadas nas PMEs. Não demorará muito

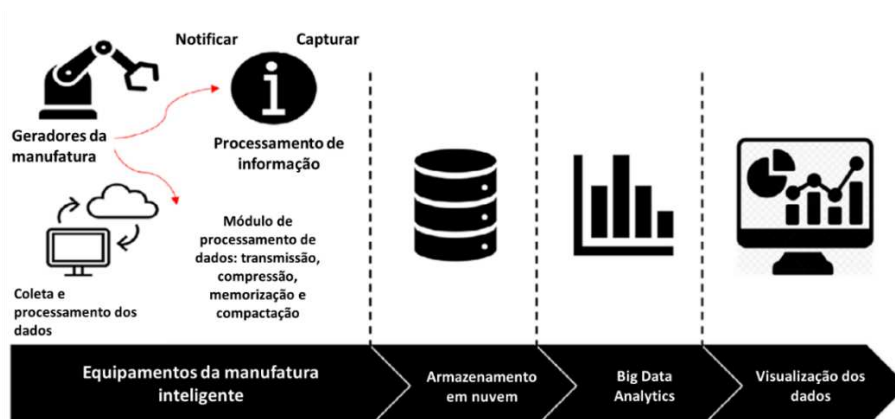
para empresas grandes abdicarem de seus espaços físicos de servidor e migrar para armazenamentos seguros em nuvem para facilitar os acessos aos dados e otimizar custos (Bikse *et al.*, 2022; Silva *et al.*, 2022).

Estes sistemas estão se tornando cada vez mais complexos em termos de sua estrutura e funcionalidade, levando a uma enorme quantidade de dados (Schlegel; Langer; Putz, 2017, p. 42). O *Big Data* é usado geralmente nesta situação, de forma a identificar estes dados e interpretá-los, como por exemplo dados originados de sistemas *IoT*, ERP e CRM (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023; Bikse *et al.*, 2022). Este elemento é um dos guarda-chuvas para qualquer método usado para processar dados, conhecimento ou informação, incluindo captura, segurança, transmissão, armazenamento, análise, busca, confidencialidade e qual data é estruturado ou não estruturado (Haseeb *et al.*, 2019, p. 4).

O *Big Data* é definido por quatro dimensões: Volume dos dados, variedade, taxa de produção de aquisição dos dados e variabilidade (erros e incertezas) (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023, p. 8). Isso permite alcançar insights valiosos como ciclo de vida produtivo e parâmetros de processo (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023, p. 8), podendo ser utilizado também para análises preditivas (Ascúa, 2021).

A combinação do *Big Data* e a computação em nuvem (Figura 15) podem fornecer interação e aprendizado das máquinas, possuindo uma identidade virtual armazenada em nuvem, permitindo uma troca contínua de dados (Nagy; Lăzăroiu; Valaskova, 2023).

Figura 15 - Integração de Data Analytics e Computação em nuvem



Fonte: Tradução própria a partir de Atieh, Cooke e Osiyevskyy (2023, p. 10)

O uso de simulações também é feito para ajustar e representar virtualmente o funcionamento conjunto de máquinas, processos e pessoas em monitoramento contínuo antes de serem colocados em operação, o que ajuda a prevenir falhas, economizar tempo e avaliar o resultado em um ambiente controlado. Ou seja, permite reduzir os custos associados aos processos de aprendizagem (de “tentativa e erro”) por meio de uma representação virtual para o design de novos produtos, ou ainda testar diferentes configurações nas operações da planta produtiva (Kumar; Singh; Dwivedi, 2020).

Neste contexto, se há cópias virtuais conectadas a sistemas físicos através de sensores, dispositivos inteligentes, sistemas de gestão e bancos de dados, há os gêmeos digitais, que reproduzem virtualmente o comportamento físico dos sistemas produtivos e, através de técnicas e ferramentas de análise, fornecem orientações mais eficientes aos tomadores de decisão (Santos *et al.*, 2021). Para implementar efetivamente gêmeos digitais no processo, a integração requer fábricas inteligentes, onde a conectividade e interoperabilidade se desenvolvem em sistemas baseados em *IoT* e sensores, ferramentas preditivas e realidade aumentada (Nagy; Lăzăroiu; Valaskova, 2023).

Os robôs colaborativos (*Cobots*) também tem seu papel na colaboração com humanos sem colocar sua saúde em risco e relacionam-se com a introdução de automação inteligente nos equipamentos da produção. Por exemplo, robôs autônomos, capazes de tomar decisões por conta própria ou comunicar e dotar medidas com outros times, ou seja, são robôs especialmente projetados para interagir fisicamente com humanos ou outros robôs em um ambiente de trabalho colaborativo e contínuo. Para as PMEs, Cobots mais leves e fáceis de programar se tornam mais acessíveis (Ascúa, 2021; Nagy; Lăzăroiu; Valaskova, 2023).

Dispositivos por controle computadorizado permitem a flexibilidade da manufatura, podendo os fabricantes ajustarem o tipo e quantidade de seus produtos (Nagy; Lăzăroiu; Valaskova, 2023). A Manufatura Aditiva (Impressão 3D) complementa essa flexibilidade. A manufatura aditiva é definida como um processo de unir materiais para criar objetos por meio de um modelo 3D, normalmente feito de camada em camada (ASTM, 2013). Seu valor se dá pela facilidade de personalização. Antes da fabricação em massa, é comumente utilizada para prototipagem rápida, sendo uma alternativa de baixo custo (Nagy; Lăzăroiu; Valaskova, 2023, p. 6). Foi amplamente adotada pela indústria, especialmente nos setores aeroespacial e médico. Ela desempenha um papel importante no design de produtos, pesquisa e desenvolvimento e fabricação aditiva, contribuindo para melhorar a eficiência de produção (Türkeş *et al.*, 2019, p.

3). Grandes progressos foram feitos usando impressão 3D, unindo computação, manufatura, engenharia de materiais e biologia sintética, de forma a remover as limitações da produção em massa (Bikse *et al.*, 2022).

Existem diversos processos diferentes por sinterização, fusão, deposição direta, entre outros e diferentes materiais (p. ex. metais, polímeros, cerâmica, concreto), aplicados desde em construção de casas até implantes médicos (Duda; Raghavan, 2016; Ngo *et al.*, 2018).

A Inteligência Artificial (IA) é o campo que desenvolve sistemas computacionais capazes de realizar tarefas complexas que normalmente exigiriam inteligência humana, como raciocinar, tomar decisões, aprender, planejar e se comunicar. Embora não haja uma definição única, a IA pode ser caracterizada como qualquer sistema artificial, seja em software ou hardware, capaz de operar de forma autônoma em ambientes imprevisíveis, aprender com dados e melhorar seu desempenho. Esses sistemas podem simular o pensamento ou comportamento humano, agir racionalmente para alcançar objetivos e utilizar técnicas como aprendizado de máquina para executar funções cognitivas (EUA, 2024).

A inteligência artificial tem progredido de forma impressionante nos últimos anos, impulsionada pelos aumentos exponenciais da capacidade computacional e disponibilidade de enormes quantidades de dados. Ela pode ser puramente baseada em *software*, agindo no mundo virtual ou em embutidos em dispositivos físicos. Estudos estão sendo realizados utilizando a IA para promover simbiose entre microrganismos, nossos corpos, produtos que consumimos e até mesmo as construções onde vivemos (Bikse *et al.*, 2022).

Por fim, a integração entre todos os itens citados, por envolver troca de dados, levanta a preocupação da segurança deles. A exposição por ciberataques não pode ser desprezada, pois isso pode custar muito para a empresa. Segundo Admass, Munaye e Diro (2024), a segurança cibernética fornece serviços de confidencialidade, integridade e confiabilidade para diferentes áreas, fornecendo mecanismos de defesa, detecção de intrusão e de criptografia. A inteligência artificial e o aprendizado de máquinas podem ser utilizados para detectar ameaças, descobrir vulnerabilidades de rede, reduzir as cargas de trabalho e automatizar muitas das tarefas envolvidas na segurança cibernética, como a detecção de intrusões, a análise de malware e a avaliação de vulnerabilidades.

Yeoh *et al.*, (2022) explicam que os fatores críticos de sucesso para a segurança cibernética envolvem desde uma equipe de segurança qualificada e comprometida até conformidade de segurança de partes interessadas transacionais e colaboração com outros.

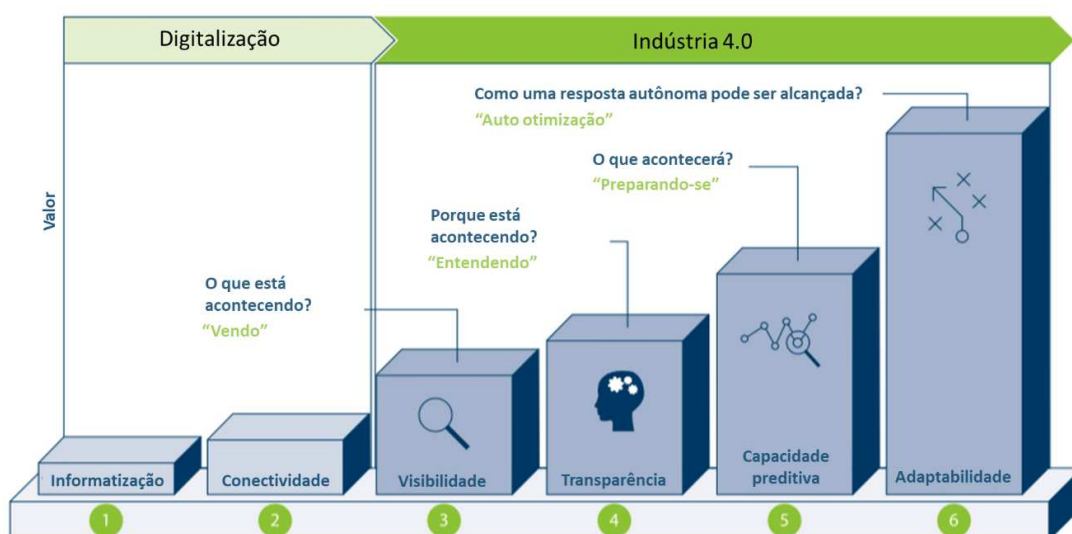
Desta forma, todas as partes interessadas se não forem blindadas podem ser considerados portadores de ameaças.

3.3 Estágios de desenvolvimento para a I4.0

Uma análise inicial das novas tecnologias digitais destaca que sua adoção envolve diferentes estágios de desenvolvimento (Ascúa, 2021, p. 208). Para isso, as empresas precisam resistir a pressões em alterar os processos existentes, dispor a se arriscar com estas tecnologias, possuir conhecimento suficiente sobre as mesmas bem como ter funcionários motivados e competentes, além do suporte adequado em termos de orçamento (Stentoft *et al.*, 2019).

Uma das ilustrações mais disseminadas com relação ao grau de maturidade de uma empresa na I4.0, conforme Figura 16, foi apresentada pela Academia Nacional de Ciências e Engenharia alemã (ACATECH) (Schuh *et al.*, 2020), a qual idealizou estágios graduais de implementação das tecnologias e conceitos. Alguns modelos para avaliar as empresas quanto a prontidão das empresas para a I4.0 como o *IMPULS* (Grufman; Lyons; Sneiders, 2020) e o proposto por Schumacher, Erol e Sihm (2016) são bastante difundidos na literatura.

Figura 16 - Estágios para o desenvolvimento da I4.0



Fonte: Tradução própria a partir de Schuh *et al* (2020).

O modelo utilizado por Prause (2019) é similar ao da ACATECH, no entanto o primeiro estágio é considerado que não existe tecnologia alguma de informação e comunicação na empresa, onde todo o trabalho é realizado manualmente.

Os elementos apresentados na Figura 14 são partes que integram estas etapas graduais à medida que a empresa evolui. Por exemplo, não faz sentido a empresa começar a pensar em implementar *Big Data and Analytics* se a mesma não possui sequer sistemas digitais (*IoT*, *ERP*, *MES* etc.) que sejam possíveis coletar dados para análise e tomadas de decisão.

Segundo Schuh *et al.*, (2020), sendo a base para a digitalização, a etapa de informatização (etapa 1) envolve, por exemplo, computadores, máquinas com comando numérico computadorizado (CNC), ou então sistemas que não estão conectados ao sistema *ERP* ou *MES*. Normalmente nesta etapa as empresas têm uma estrutura voltada para a operação, com individualização dos departamentos

Na Conectividade (etapa 2), aplicativos na empresa são todos conectados entre si. Aqui a empresa é capaz de unificar os dados e integrá-los, estabelecendo a base para tornar possível a *IoT*. Dados podem ser enviados, por exemplo, de um projeto da engenharia para a produção para que as etapas possam ser executadas de forma adequada (*CAD/CAM*) e quando concluída, a confirmação é fornecida em monitoramento contínuo por meio de um sistema *MES*. Máquinas antigas podem ser conectadas para fornecer dados para a produção.

A terceira etapa (Visibilidade), é conhecida como “sombra digital” da empresa, onde sensores permitem capturar processos do início ao fim com grande número de pontos de dados. Neste momento a empresa consegue registrar eventos e status em monitoramento contínuo pela empresa toda ao invés de apenas áreas individuais como células de manufatura, tornando possível a implementação de sistemas *IoT*.

A etapa 4 é para um gestor da empresa entender o porquê algo está acontecendo e usar isto para a produção de conhecimento por meio de análises de causa raiz (Transparência). O *Big Data* suporta nesta etapa na análise de grandes volumes de dados, podendo ser aplicados em conjunto com os sistemas *ERP* e *MES*.

Com o estágio 4 consolidado, a empresa consegue simular diferentes cenários futuros e identificar os mais prováveis (Capacidade preditiva). Desta forma é possível tomar decisões e implementar as medidas mais adequadas, reduzindo o número de eventos não esperados.

Por fim, a capacidade preditiva (etapa 6) é requisito fundamental para ações automatizadas. Nesta etapa final, o objetivo é atingido quando a empresa consegue usar dados

da “sombra digital” para tomada de decisões com o melhor resultado no menor tempo e implementar as ações de forma automática sem assistência de humanos (Adaptabilidade).

Os elementos apresentados na Figura 14 são partes que integram estas etapas graduais à medida que a empresa evolui. Por exemplo, não faz sentido a empresa começar a pensar em implementar *Big Data and Analytics* se a mesma não possui sequer sistemas digitais (*IoT, ERP, MES* etc.) que sejam possíveis coletar dados para análise e tomadas de decisão.

3.4 Implicações da I4.0

É evidente que a transformação digital resulta em uma mudança da produção de bens e serviços na forma de “trabalho braçal” para “trabalho mental” e isso estimula criatividade, inovação e conhecimento (Alqam; Saqib, 2020, p. 124).

Sua implementação pode trazer vários benefícios como melhoria em produtos e processos e redução de custos,, devido aos processos rápidos e customizáveis (Klunder; Dörseln; Steven, 2019; Juhász, 2018), bem como vários desafios, como toda mudança. Mas estas implicações não se restringem a aspectos de integração entre as empresas, mas também possuem relação com impactos ambientais, econômicos, sociais locais e globais.

Na I4.0 os processos produtivos serão automatizados de forma mais rápida que o esperado, deslocando mais de 85 milhões de empregos nos próximos quatro anos. Por outro lado, criará 97 milhões de empregos. Além disso, o pensamento analítico, criatividade e flexibilidade serão as habilidades mais demandadas, sendo os negócios mais competitivos aqueles que se preocupam em aumentar as habilidades de seus funcionários (Bikse *et al.*, 2022).

Vários estudos realizaram a estimativa da contribuição destas tecnologias na produtividade (PIB) de algumas economias desenvolvidas como a Alemanha com 1% ao ano e Espanha em 2% ao ano (Ascúa, 2021). O motivo disso é que a digitalização impacta significativamente o desempenho financeiro da organização e na economia de forma geral (Anatan; Nur, 2023; Krajčák, 2021).

Desta forma, ao aumentar a capacidade tecnológica de uma empresa, seu desempenho melhora e permite sua sobrevivência em um ambiente de intensa transformação que a I4.0 causa (Azman; Ahmad, 2020). Porém, as estratégias para adoção de novas tecnologias respondem a um conjunto variado de fatores nos quais a utilização de certos graus é mais favorável

competitivamente do que o uso total ou integral dos diferentes tipos de novas tecnologias digitais disponíveis. Isso acontece porque as empresas tendem a adotar uma determinada tecnologia, mas ela é relevante para uma área limitada ou grupo de etapas no processo de produção (Ascúa, 2021, p. 208).

Neste contexto, três cenários podem ser considerados nas relações entre humanos e SCFs, de acordo com Schlegel, Langer e Putz (2017):

- Cenário de automação: As pessoas são direcionadas por SCF, os quais controlam a si mesmos e orientam os funcionários em monitoramento contínuo.
- Cenário de assistência: as pessoas utilizam SCF, no final as pessoas que decidem de acordo com as informações e serviços do SCF.
- Cenário híbrido: distribuição cooperativa entre pessoas e SCF inteligentes, baseado nos requisitos e situações atuais.

A ideia de customização em massa que a I4.0 permite se resume em fornecer produtos ou serviços individualmente adaptados em grande escala e a um preço similar aos produtos homogêneos e em grande escala. Em outras palavras, permite reduzir o tamanho do segmento de consumidores-alvo para um único cliente, aumentando assim a disposição dos clientes em pagar (*Willing To Pay*). A I4.0 possibilita que cada cliente pague pelo que eles precisam. Isto permite que as operações sejam conduzidas próximas ao cliente, havendo economia de custos de transportes e estoques muito grandes, graças a eficiência, flexibilidade e rapidez. Além disso, há a orientação ao mercado local. Se, por exemplo, a Europa e EUA começam um modelo de produção local ao invés de “*made in China*”, as empresas chinesas não têm outra opção a não ser concentrar na satisfação das necessidades locais (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023, p. 13).

Khanzode *et al.* (2021) detalham que redução de defeitos, consequente menor impacto ambiental, aumento da velocidade de entrega do produto ou serviço, aumento de habilidades, menos utilização dos recursos escassos disponíveis são alguns pontos positivos que o cenário da I4.0 traz. De uma forma mais ampla, com a tendência das atividades remotas os custos de transporte diminuirão, logística e cadeias de suprimento globais se tornarão mais eficientes e o custo do comércio diminuirá, abrindo novos mercados e impulsionando o crescimento econômico (Bikse *et al.*, 2022, p. 7).

Na dimensão da gestão de relacionamento com o cliente (*CRM*), ao implementar sistemas e métodos modernos de análise de dados, as empresas podem coletar informações sobre o uso de produtos e serviços para adaptá-los melhor às futuras necessidades dos clientes (Ślusarczyk; Pyłacz, 2020, p. 257).

A preocupação ambiental, que é um tópico bastante fomentado, se beneficia das práticas digitais, podendo contribuir significativamente na redução das emissões de carbono, no aumento do uso de energia renovável e na otimização transparente de recursos. Além disso, tais práticas aprimoram a eficiência de produção e incentivam a inovação, impactando positivamente a sustentabilidade social e ambiental (Kumar; Singh; Dwivedi, 2020).

Para alcançar todos estes benefícios, o mapeamento realizado por Bikse *et al* (2022) mostra as competências e habilidades para a empregabilidade, que se dividem em habilidades essenciais, sociais, contextuais e digitais, sendo a capacidade de adaptação fator crucial para os profissionais se manterem no mercado. O estudo evidencia que a nova geração é a que mais será impactada nessa transição tecnológica, por isso o investimento no capital humano e melhoria do ambiente organizacional deve ser dado a devida atenção.

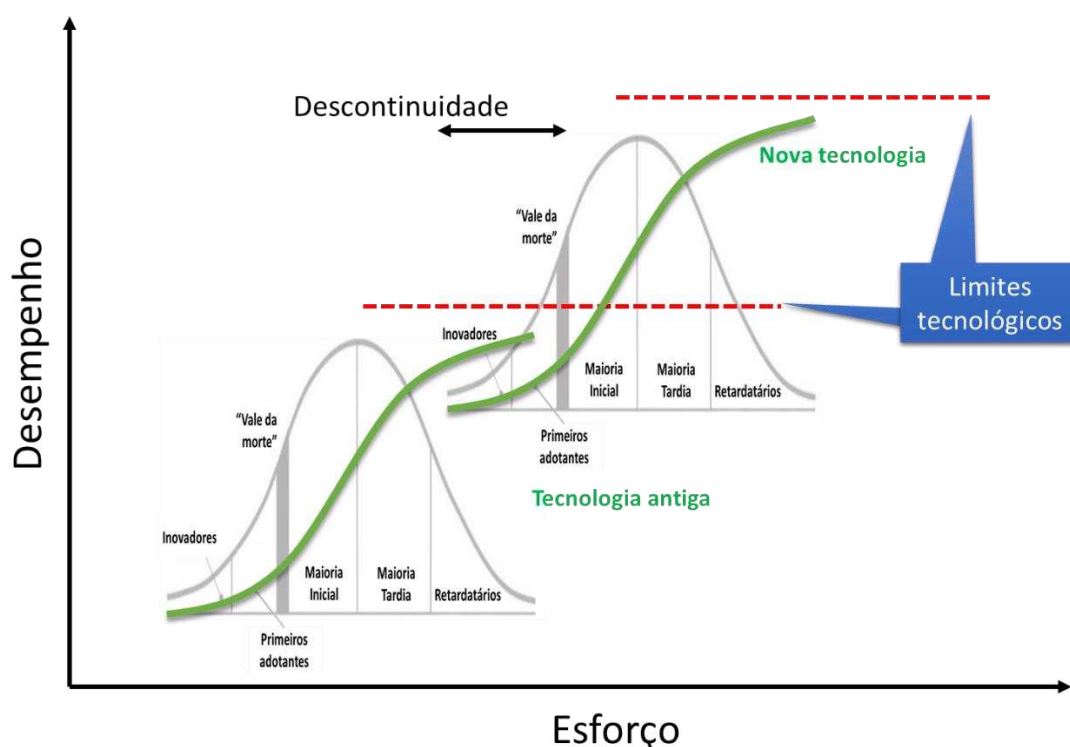
Todo este processo de adoção de fábricas inteligentes também traz consigo a necessidade práticas inovadoras. A OCDE e Eurostat (2018) define inovação como um novo produto, processo ou combinação de ambos que difere significativamente do anterior e que foi disponibilizado para potenciais usuários (produto) ou adotado pela unidade (processo).

Este conceito pode ser referenciado como a junção do modelo proposto por Foster (1986) e do modelo de difusão de Moore (2001), conforme ilustra a Figura 17. A primeira parte do framework, a Curva S, descreve a evolução de desempenho de uma tecnologia. Conforme são feitos investimentos em seu desenvolvimento, o progresso é inicialmente lento, acelera e, por fim, atinge um ponto em que se torna cada vez mais difícil e caro obter avanços, chegando ao seu limite tecnológico (Foster, 1986). A substituição por uma nova tecnologia depende, contudo, de um processo de adoção pelo mercado, que não é homogêneo.

É neste ponto que pode ser integrado o modelo de Moore (2001). O modelo, com referência a Everett Rogers, é definido baseado numa distribuição normal (curva de sino). As categorias são definidas com base em desvios padrão (σ) a partir da média da população: a maioria (Inicial e Tardia) se concentra em $\pm 1\sigma$, enquanto os grupos extremos (Inovadores, Adotantes Iniciais e Retardatários) se posicionam nos desvios subsequentes.

Dentro deste contexto, Moore (2001) explica que entre os "Adotantes Iniciais" (o grupo visionário, localizado entre $+1\sigma$ e $+2\sigma$) e a "Maioria Inicial" (o grupo pragmático, que inicia na média) existe um "abismo" ou "vale da morte". Esta não é apenas uma barreira psicológica, mas uma descontinuidade na curva de difusão. Para que um produto tecnológico seja adotado em grande escala, ele deve superar esse "abismo" de incompatibilidade entre as expectativas e necessidades destes dois grupos estatisticamente distintos. Isso muitas vezes requer esforços significativos de marketing, desenvolvimento e suporte ao cliente para tornar o produto mais acessível, confiável e fácil de integrar nas operações existentes das organizações. No entanto, a velocidade com que essa difusão ocorre pode ser influenciada por outros fatores, pois, devido aos custos mais altos e competências necessárias, algumas tecnologias difundem mais rapidamente que outras (Cirera; Comin; Cruz, 2022).

Figura 17 - Curva tecnológica de Foster integrada ao ciclo de vida de adoção de Moore



Fonte: Foster (1986) e Moore (2001) – Elaborado pelo Autor (2025)

Ascúa (2021) evidenciaram as motivações e benefícios da adoção de novas tecnologias digitais, especialmente no contexto de empresas brasileiras e argentinas. Algumas empresas

também buscam desenvolver novos modelos de negócios e melhorar relacionamentos com clientes e fornecedores. No entanto, a incorporação completa dessas tecnologias ainda é limitada, e muitas empresas as utilizam de forma parcial, principalmente para coleta de informações e tomada de decisões. Além disso, essa adoção não é uma opção definitiva, e as empresas buscam adaptá-las de acordo com suas necessidades e capacidade, exigindo mudanças organizacionais e capacitação dos recursos humanos. Portanto, embora haja vantagens, muitas empresas enfrentam dificuldades em mensurar os benefícios financeiros e em utilizar todo o potencial que estas tecnologias oferecem.

Uma outra preocupação é com relação à capacidade das máquinas e computadores supervisionarem o trabalho humano, o que pode levar à perda de intimidade entre as pessoas e criar uma dependência excessiva de robôs, resultando em apatia, introspecção e desconexão com a vida real. Ainda, com relação a demografia, especialmente pelo envelhecimento da população devido a um crescimento populacional negativo, representa um novo problema para o avanço da I4.0. A falta de jovens na força de trabalho levanta questões sobre quem irá operar os robôs e sistemas automatizados (Türkeş *et al.*, 2019).

Todo este processo resulta na necessidade de revisões de regulamentações atuais (Krajčík, 2021, p. 762). Governos de países emergentes podem fornecer créditos fiscais de pesquisa e desenvolvimento para as empresas investirem em ciência e tecnologia, além de poderem receber concessões fiscais as quais adquirem equipamentos e evoluem na produtividade e eficiência (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023, p. 12).

No entanto, o suporte financeiro não tem sentido se a organização não está disposta a realizar esta integração em seu ambiente organizacional e isto está relacionado ao respaldo gerencial, onde a gerência também é responsável por maximizar a utilização dos auxílios financeiros para que a capacidade de absorção das tecnologias seja alcançada (Nagy; Lăzăroi; Valaskova, 2023, p. 15).

Tomando como exemplo uma empresa de grande porte da indústria farmacêutica em que realiza todo o processo de embalar comprimidos de forma automática (CLPs, sensores etc.), onde todo o processo é realizado de forma sincronizada, desde a identificação do comprimido no início do processo até entrega da caixa de papelão embalada no final do processo. Se, por exemplo, na segregação do produto não conforme no meio do processo ocorre um problema, toda a linha para. De forma análoga, o sistema é como um conjunto de engrenagens, ou seja, o gargalo do processo é a própria linha como um todo.

Por isso é importante, nesta situação, possuir sistemas de redundância e tolerância a falhas, monitoramento em monitoramento contínuo da linha, análise de dados para previsão de quando um componente pode falhar, entre outros elementos para evitar uma parada completa.

Mas este é um exemplo hipotético, não é tão comum encontrar um sistema como este, com linhas com alto grau de sensorização e automação em empresas menores. Por este e outros motivos, a implementação integral da I4.0 difere em cada tamanho de organização (Adamik, 2020; Goel *et al.*, 2022; Stentoft *et al.*, 2019).

3.5 I4.0 em pequenos negócios

Inicialmente, é importante salientar que muitos artigos são referenciados como “MPMEs” e outros apenas como “PMEs” os quais muitas vezes estão inclusas as microempresas. Um dos desafios que envolve o tema é como conceituar as MPMEs no mundo, não existindo uma definição consensual que delimite o conceito destas empresas devido a diferenças entre os países (Nogueira; Zucoloto; 2018).

Devido à esta falta da unificação dos termos devido a fatores como número de empregados, tamanho da organização e localização (Alqam; Saqib, 2020, p. 123), eles foram citados mantendo o formato original do documento referenciado.

Por exemplo, segundo a definição oficial da UE, PMEs são aquelas com menos de 250 funcionários e com faturamento ou balanço anual inferior a 43 milhões de euros. Já as microempresas são classificadas como organizações com menos de 10 empregados (European Union, 2023).

Já na Irlanda, a qual considera microempresas com menos que 10 empregados, dados de 2020 representam 16,1% do Valor Agregado Bruto seguido de 8,2% para as empresas pequenas (Central Statistical Office, 2022).

Na Malásia, a microempresa é classificada pelo *Sales Turnover* (receita anual) menor que RM300.000,00 (~\$66.000,00) ou ter menos que 5 funcionários (Jayashree *et al.*, 2021). No ano de 2018 as PMEs alcançaram 38,9% do PIB, o qual cresceu comparado ao ano anterior (Muhamad; Mohamad; Nor, 2021, p. 42)

Na Jordânia, as PMEs possuem menos que 100 funcionários e com receita anual de aproximadamente JD3 milhões (aproximadamente \$4,2 milhões) e representam 95% das

empresas registradas, contribuindo com mais de 50% do PIB, empregando 60% da mão de obra (Shqair; Altarazi, 2022).

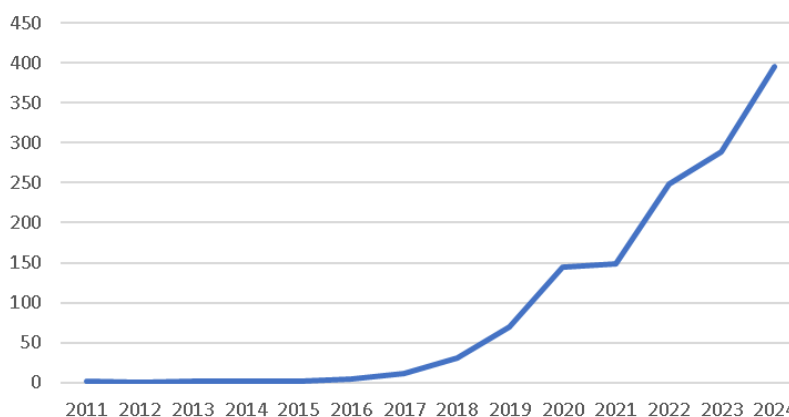
A Índia classifica MPMEs de acordo com o valor investido na planta e seus maquinários (Khanzode *et al.*, 2021), compreendendo 30% do PIB com quase 64 milhões de unidades empregando em torno de 120 milhões de Indianos (Wankhede; Vinodh, 2022).

Sitthidetchtamrourng *et al.* (2023) relatam que na Tailândia as PMEs representam 42,2% do PIB, onde as MPEs são definidas como (respectivamente) até 5 empregados e até 1,8 milhões de Bahts de receita anual (aproximadamente US\$ 53.000,00 na cotação atual) e até 50 empregados e 100 milhões de Bahts (aproximadamente US\$ 300.000,00). As PMEs também representam quase a totalidade das empresas no país (99,8%), gerando um PIB de pouco mais de 50% (Ślusarczyk; Pyplacz, 2020)

Já no Brasil, existem diversos critérios usados para classificar as empresas por diversos órgãos. O SEBRAE (2022b) classifica as microempresas sendo as que possuem receita anual bruta menor ou igual a R\$360 mil e as de pequeno porte, entre R\$360 e R\$4,8 milhões.

Estas empresas desempenham um papel fundamental na economia global. As PMEs representam cerca de 90% dos negócios e são responsáveis por 50% dos empregos no mundo. Nos países em desenvolvimento, contribuem com aproximadamente 40% do Produto Interno Bruto (PIB), conforme dados do (The World Bank, 2023). No Brasil especificamente, MPEs representam 99% do total das empresas brasileiras e contribuem com 27% do PIB nacional (Brasil, 2022). Porém, apesar das MPMEs representarem fortemente as economias mundiais, Masood *et al.* (2020) enfatizam que antes de 2016 não havia trabalhos em potencial para discussão do tema I4.0 em pequenos negócios. De fato, pode-se observar na Figura 18 que a tendência de alta é observada apenas após esta época.

Figura 18 - Evolução de publicações de artigos de I4.0 em MPes



Fonte: Elsevier (2025)

Sendo a I4.0 um constructo *sociotécnico* (Kumar; Singh; Dwivedi, 2020), que tem em seu cerne a ideia de que o projeto e o desempenho de qualquer sistema organizacional só podem ser compreendidos e aprimorados se os aspectos "sociais" e "técnicos" forem reunidos e tratados como partes interdependentes de um sistema complexo (Leeds University Business School, 2023), as PMEs fazem parte deste sistema e são diretamente afetadas por esta transição.

Elas podem usufruir de benefícios como melhoria de produtividade, competitividade, ganho de clientes e consequente expansão, criar inovação, melhorar a qualidade, reduzir custos e promover a sustentabilidade (Alqam; Saqib, 2020) (Kumar; Singh; Dwivedi, 2020; Silva *et al.*, 2022) e as que perceberem a taxa de sucesso que a I4.0 pode trazer, poderão colher bons frutos em seus processos. (Goel *et al.*, 2022, p. 6). Além disso, as pequenas empresas têm uma vantagem na digitalização podendo implementar as tecnologias de forma mais ágil (Abdulaziz *et al.*, 2023, p. 6; SZELĄGOWSKI e BERNIAK-WOŹNY, 2023).

Os modelos da I4.0 têm o potencial de melhorar drasticamente os resultados econômicos e não econômicos das operações das PMEs (receita e produtividade, sustentabilidade de processos, eficiência, saúde, segurança, treinamento e inovações), e negligenciar essas oportunidades se tornará prejudicial para qualquer organização (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023, p. 12) (Fernando *et al.*, 2023, p. 679; Haseeb *et al.*, 2019). Sendo assim, o país que incentiva sua adoção atrairá potenciais investidores e criará mais oportunidades de emprego (Fernando *et al.*, 2023, p. 679)

Isso também está associado às habilidades que as empresas têm de produzir novos processos, bens e tecnologias. De acordo com Azman e Ahmad (2020), a capacidade de inovar,

investir e de conexão (troca de informações, competências e tecnologias) entre as partes interessadas são os itens mais citados na literatura que se relacionam diretamente com a capacidade tecnológica.

As MPMEs possuem flexibilidade, espírito empreendedor e capacidades inovadoras, não somente em termos de produto, mas nas práticas fabris. Assim, estas empresas se mostram mais proativas em melhorar as operações em seu negócio, o que pode ser uma vantagem para a introdução da I4.0 (Rauch; Vickery, 2020).

Nos países em desenvolvimento, é necessário verificar o efeito da I4.0 na criação e captura de valor dos modelos de negócio que convergem na customização em massa, produção local dos produtos e orientação ao mercado local. Isto implica em quanto o consumidor está disposto a pagar no produto ou serviço, o preço em si e os custos oriundos da proposta de valor. Desta forma, a captura de valor do cliente e do negócio decorrentes resultam na criação de valor ao consumidor (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023). Em outras palavras, a empresa que conhece sua cadeia de valor possui vantagem competitiva, pois está mais preparada que os concorrentes para oferecer o que o cliente precisa no valor que ele está disposto a pagar e isso que define se a empresa terá ou não sucesso (Biagio; Batocchio, 2005).

Segundo (Anatan; Nur, 2023), o produto é o aspecto mais importante a considerar para se ter sucesso na transformação digital nas MPMEs e ele deve ser de alta qualidade, atrativo e estar disponível nas plataformas digitais atuais. No entanto, a I4.0 sob a ótica da cadeia de fornecimento deve ser analisada. Empresas orientadas por demanda podem possuir colaborações desafiadoras devido a diferenças de estratégia, cultura empresarial e falta de coordenação contratual. Grandes empresas têm poder de seleção de fornecedores, criando um desequilíbrio de poder. Além disso, as PMEs enfrentam dificuldades em estabelecer confiança, concordar em termos contratuais, lidar com falta de infraestrutura tecnológica e compartilhar informações. Isso resulta em obstáculos que impedem a participação efetiva das PMEs em oportunidades de negócios limitadas pelo tempo (Kazantsev *et al.*, 2022, p. 268).

As PMEs que querem promover fabricas inteligentes precisam de aplicações de casos em indústrias similares (Ko *et al.*, 2020). Observando novamente a Figura 17, no estágio inicial da curva S, as MPMEs podem estar enfrentando desafios para compreender e implementar as novas tecnologias da I4.0, devido a barreiras como falta de conhecimento, recursos e capacidade técnica. No entanto, a atual fase de aplicação da I4.0 entre estas empresas pode amadurecer nos

próximos anos, à medida que mais aplicações práticas desenvolvidas por empresas maiores ou PMEs inovadoras permitam que tais aplicações se difundam (Stentoft *et al.*, 2019, p. 5161).

Portanto, as MPMs que resistem à adoção da I4.0, caracterizando-se como retardatários, podem estar em desvantagem competitiva à medida que a concorrência adota essas tecnologias e obtém vantagens operacionais. Desta forma, o assunto deve despertar o interesse, especialmente destas empresas, devendo observar as mudanças oriundas e reagir de acordo, caso contrário não será possível se adaptar à situação e naturalmente as empresas são excluídas do cenário (Ingaldi; Ulewicz, 2020).

3.5.1 Cenários global e brasileiro

Com a introdução da I4.0, as economias entraram em uma nova era da informação, o que torna a competitividade para as PMEs algo mais difícil (Goel *et al.*, 2022). Além disso, os benefícios econômicos, ecológicos e sociais percebidos pelas PMEs diferem entre os países (Müller; Voigt, 2018).

O conceito da I4.0 é algo novo para países emergentes e é preciso um entendimento mais aprofundado para explorar seus benefícios no ambiente de negócios (Pasi; Mahajan; Rane, 2022, p. 157).

Sabendo que a adoção de tecnologias avançadas são mais desafiadoras em países em desenvolvimento devido a vários motivos como culturas, nível de educação, limitação de recursos ou instabilidades políticas (Shqair; Altarazi, 2022, p. 2), as tecnologias críticas podem impulsionar significativamente seu valor para os modelos de negócios de PMEs de países emergentes, os quais envolvem melhora na flexibilidade do processo de manufatura, aumento de rapidez no desenvolvimento de novos produtos, aumento da eficiência dos sistemas de manufatura e a confiabilidade dos processos (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023). Isto resulta numa forte relação com o cliente e como resultado, maior número de pedidos (Ślusarczyk; Pyłacz, 2020, p. 257).

Porém, apesar dos benefícios da I4.0, as PMEs não estão seguras de como e quando devem iniciar a transição (Tamvada *et al.*, 2022).

Empresas de maior porte e com uma atitude positiva em relação à adoção de tecnologias da I4.0 tendem a colher mais benefícios dessa implementação. Por outro lado, a complexidade

da manufatura, provavelmente devido à natureza dos processos produtivos, pode apresentar mais desafios na incorporação dessas tecnologias (Masood; Sonntag, 2020). Isso também foi evidenciado por Müller e Voigt (2018) comparando as PMEs chinesas e alemãs. Muitas PMEs alemãs concordam que o "Industrie 4.0" pode estar mais alinhado com as necessidades das empresas de grande porte, dificultando para as PMEs alemãs capturarem seus benefícios.

Normalmente as empresas de grande porte terceirizam alguns trabalhos para MPMEs de modo a economizar em custos de produção e evitar investimentos em infraestrutura, máquinas e outros recursos para executar determinadas tarefas. Um exemplo bastante usual disso são as OEMs automotivas (Khanzode *et al.*, 2021). Se uma montadora precisasse fabricar todos os produtos que constitui um automóvel em sua própria fábrica, por exemplo, isso exigiria uma estrutura fabril extremamente complexa e diversificada, com investimentos elevados em diferentes tecnologias, mão de obra especializada em diversas áreas e processos produtivos distintos. Além disso, haveria perda de flexibilidade e aumento no tempo de produção e nos custos operacionais.

Por outro lado, as MPMEs que recebem trabalhos terceirizados das grandes empresas podem enfrentar desafios relacionados ao capital de giro. Quando grandes clientes terceirizam suas operações para as MPMEs, estas podem precisar de um capital de giro maior para financiar a produção ou a aquisição de matéria-prima antes de receber o pagamento dos clientes maiores. Isso pode criar uma pressão financeira adicional, pois podem enfrentar um desequilíbrio temporário entre os pagamentos de entrada e saída de dinheiro (Khanzode *et al.*, 2021).

Outro ponto é que a gestão das MPMEs normalmente é centralizada individualmente ou de modo familiar, havendo autoridade e ordens, fazendo jus a alguns princípios da administração de Fayol (Khanzode *et al.*, 2021).

Entender o que move a adoção de tecnologia e suas barreiras é um fator crítico para projetar políticas que facilitam o desenvolvimento econômico (Cirera; Comin; Cruz, 2022). Desta forma, visto que as PMEs geralmente não possuem orçamento (recursos limitados) para pesquisa e desenvolvimento, se faz necessário estudos para servir de suporte para elas (Sharma *et al.*, 2023).

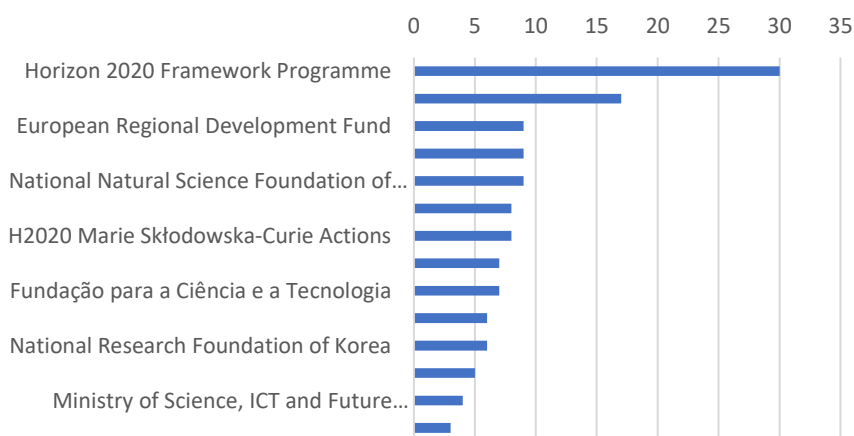
No caso do Brasil, a melhora de eficiência é o principal aspecto positivo na introdução das tecnologias da I4.0, devido a sua capacidade de melhorar os processos internos obtendo maior produtividade e consequente lucratividade. A redução de custos e melhoria na qualidade são os outros dois fatores que as PMEs brasileiras entendem como motivadores (Ascúa, 2021).

Para potencializar esses benefícios, incentivos governamentais são fatores essenciais neste processo (Nagy; Lăzăroi; Valaskova, 2023, p. 21) e países como Indonésia, que possui ferramentas como o EDUKUKM, SPARC e Digital Hero Program (Anatan; Nur, 2023), Alemanha com o Fraunhofer-i4.0-Stack, WindNODE e Mittelstand 4.0-competence center (o que é sugestivo), já desenvolvem estratégias para preparar as MPMEs para a I4.0. No caso da UE, os países com maior alocação orçamentaria para pesquisa e desenvolvimento são Luxemburgo, Dinamarca, Alemanha, Suécia e Finlândia. Não por acaso, são alguns dos países que mais investem em educação com relação ao PIB (Eurostat, 2021).

Por outro lado, as PMEs da Polônia ainda possuem baixo nível de automação e integração. No estudo feito por Ingaldi e Ulewicz (2020), as PMEs são equipadas com dispositivos antigos, não automatizados, que regularmente quebram. Apesar dos dados serem bem armazenados, é importante ressaltar que isso é resultado da LGPD em vigor na UE. Isto pode ocorrer devido a atividade fraca em termos de construir uma esfera de informações e instalações para novas soluções tecnológicas (Adamik, 2020).

O fato de as PMEs representarem mais de 50% da economia bruta Europeia (Nagy; Lăzăroi; Valaskova, 2023) dá sentido aos indicadores de patrocínios realizados nas pesquisas, conforme mostra a Figura 19. Utilizando a base *Scopus®* (Elsevier, 2024), *Horizon 2020 Framework Programme*, *European Commission* e *European Regional Development Fund* são os três com maiores publicações de artigos científicos relacionados a I4.0 em MPMEs, sendo notável o interesse Europeu no tema.

Figura 19 - Subsídios relativos a I4.0 em MPMEs no mundo.

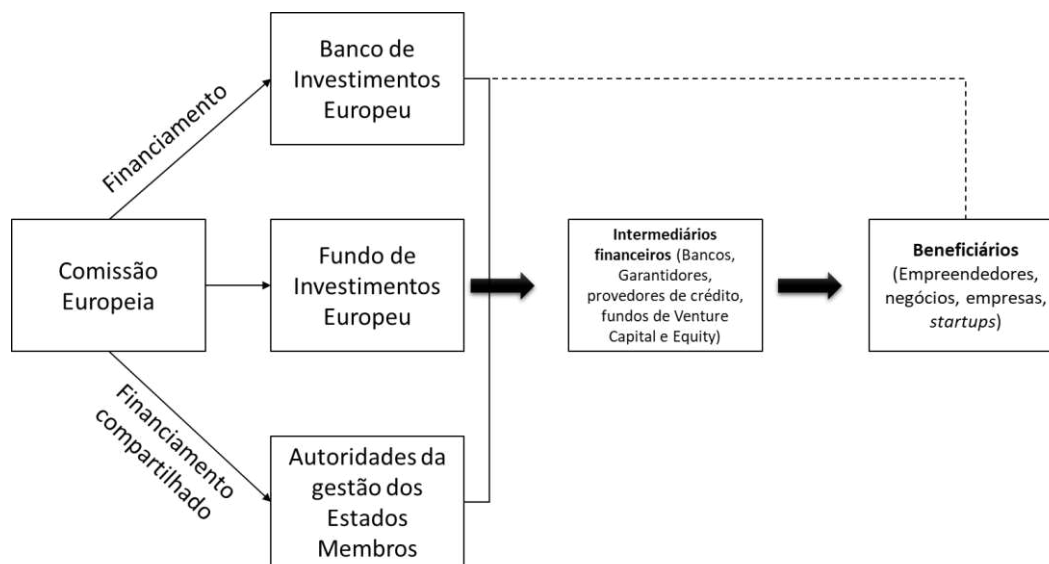


Fonte: Elsevier (2024)

Na União Europeia (UE), observa-se um crescimento expressivo no número de PMEs entre 2008 e 2022, refletindo sua importância crescente no cenário econômico regional (Nagy; Lăzăroiu; Valaskova, 2023). A UE oferece uma variedade de apoios financeiros para as PMEs, dada sua importância na economia europeia.

A Figura 20 esquematiza como é realizado este processo. O Banco de Investimentos Europeu concede empréstimos por meio de intermediários como bancos comerciais. Esses empréstimos são destinados a investimentos de PMEs em ativos tangíveis e intangíveis e servem como base para o acesso das PMEs a capital operacional sustentável e às necessidades de financiamento de longo prazo. O financiamento provém de instituições financeiras nos estados membros europeus. Existem vários tipos de assistência financeira, incluindo empréstimos, garantias, microfinanças e financiamento de capital próprio. Uma maneira de alocar recursos é por meio de organizações que estabelecem as condições e critérios de financiamento (por exemplo, investidores sociais, investidores anjos, parceiros de financiamento coletivo e fundos de capital de risco).

Figura 20 - Esquema de suporte financeiro das instituições da UE



Fonte: Tradução própria a partir de Nagy; Lăzăroiu; Valaskova (2023, p. 17)

Além destes programas, o Horizon 2020 que foi um projeto de pesquisa e inovação com bastante ênfase nas PMEs, forneceu um orçamento de € 77 bilhões entre 2014 e 2020.

Em 2022, com pouco mais de 447 milhões de habitantes (Eurostat, 2023), foi atingido em torno de 23 milhões de MPEs, sendo a maior parte microempresas (~22,2 milhões) empregando 48% do total, 1,3 milhões pequenas empresas empregando 16%. Além disso, representam mais de 37% da contribuição econômica da UE (Bella; Katsinis; Lagüera-González, 2023),

No caso do Brasil, o CAPES (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) aparece em oitavo lugar, o que mostra o fomento do tema também nas universidades brasileiras.

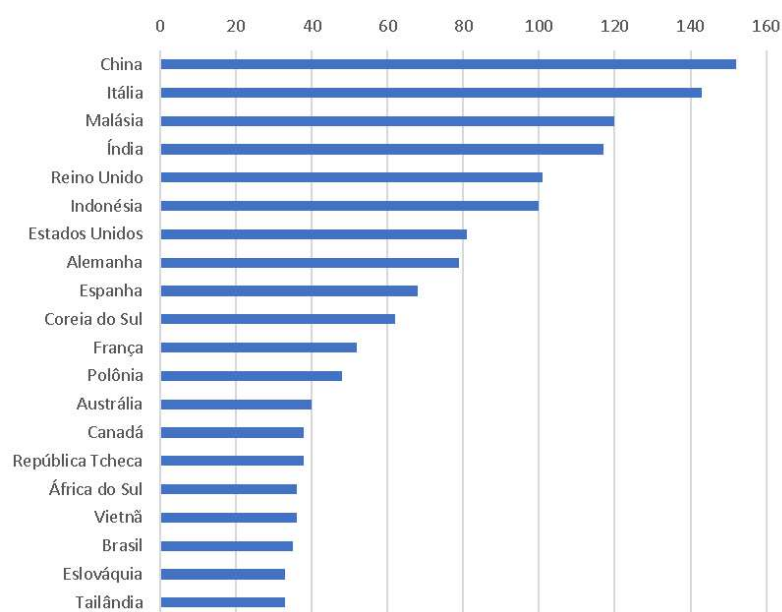
Os países da América Latina dependem fundamentalmente da tecnologia dos países desenvolvidos e têm capacidade limitada para gerar e disseminar mudanças técnicas em suas economias. Isso apresenta desafios para a região na era digital, requerendo políticas públicas eficazes para lidar com essas questões. Embora a adoção de tecnologias digitais possa impulsionar o crescimento de setores e atividades na América Latina, a heterogeneidade estrutural e as desigualdades podem ser agravadas pela digitalização (Ascúa, 2021, p. 209).

Um estudo feito por Ascúa (2021) avaliou várias empresas do Brasil e Argentina estão na jornada de implementação de tecnologias rumo a I4.0. No caso das empresas brasileiras, grande parte dos projetos avaliados já estão implementados e envolve sistemas *IoT* e computação em nuvem.

Para ajudar na transferência de conhecimentos, a parceria entre universidade e empresa pode ser realizada, visto a dificuldade das MPMs com recursos, conhecimento e expertise limitados (Anatan; Nur, 2023).

Os estudos mais recentes relativos à I4.0 nos mostram que a fomentação do tema se dá em maior quantidade em regiões da Europa e orientais, de acordo com a Figura 21.

Figura 21 – Vinte países com maior número de artigos publicados desde 2012 sobre I4.0 em pequenos negócios



Fonte: Elsevier (2025)

Existem várias possíveis razões pelas quais as pesquisas sobre a I4.0 podem estar mais difundidas nas regiões orientais (considerando a divisão geográfica de Greenwich), especialmente em países como Alemanha, Índia, China, Coreia do Sul e Malásia, em comparação com o ocidente, como EUA, Canadá e América Latina. Algumas dessas razões podem incluir:

- Investimentos governamentais e empresariais: países do oriente têm demonstrado um forte compromisso em investir em tecnologias de ponta. Governos e empresas nesses países têm direcionado recursos significativos para pesquisa, desenvolvimento e adoção de tecnologias inovadoras, o que impulsiona o crescimento e a disseminação do conhecimento na área (Narwane *et al.*, 2022);
- Melhor desempenho em inovação: Países como Suíça, Suécia, Holanda e Reino Unido são considerados um dos mais inovadores mundialmente. Além disso, apesar de existir um *gap* grande entre países desenvolvidos e emergentes (Azman; Ahmad, 2020), países como Índia e Vietnã estão se saindo melhor do que outros países em desenvolvimentos semelhantes (Ślusarczyk; Pyłacz, 2020);

- Parcerias acadêmicas e empresariais: Universidades e instituições de pesquisa nesses países têm desenvolvido parcerias sólidas com o setor privado, o que pode acelerar a transferência de conhecimento e tecnologia para a indústria. Isso pode promover a pesquisa e a inovação em I4.0 (Anatan; Nur, 2023);
- Incentivos governamentais e políticas de apoio: Os governos de alguns países orientais oferecem incentivos e políticas favoráveis para estimular a adoção da I4.0, o que pode encorajar empresas e pesquisadores a se envolverem em projetos relacionados (Nagy; Lăzăroiu; Valaskova, 2023);
- Necessidades e desafios específicos: Alguns países orientais enfrentam desafios específicos em termos de população, recursos e demandas industriais. Um exemplo da Índia, a maioria das PMEs está localizada em áreas remotas que enfrentam problemas de infraestrutura civil e tecnológica, incluindo TI. Outro ponto é a dificuldade de baixa pontuação de crédito, impossibilitando o acesso a empréstimos pelo déficit financeiro que ocorre (Kumar *et al.*, 2022b).

A Coreia do Sul possui políticas voltadas à fabricas inteligentes para PMEs com o SMBA (Small and Medium Business Administration), bem como o Japão (BMW (Federal Ministry For Economic Affairs and Energy), EUA (SBA - Small Business Act of 1958) e Alemanha (SMEA - The Small and Medium Enterprise Agency) (Choi; Choi, 2019).

Em contraste, os países do ocidente também estão desenvolvendo pesquisas e iniciativas relacionadas à I4.0, mas podem estar enfrentando diferentes dinâmicas políticas, econômicas e culturais que afetam a velocidade e o alcance da disseminação desses estudos.

No caso do Brasil, segundo a CNI (2021), apesar da grande representação das MPMEs, ainda enfrentam baixa produtividade e níveis reduzidos de digitalização, refletindo a falta de consolidação da manufatura avançada no país — mesmo entre grandes empresas. A situação é especialmente crítica para as MPEs, muitas das quais operam com tecnologias da 2ª Revolução Industrial, com uso limitado de recursos digitais. Isso dificulta sua inserção em mercados digitalizados e a adoção de modelos de negócio baseados em dados. Em 2017, apenas 1,6% das empresas brasileiras estavam em um estágio avançado de digitalização (Geração 4), enquanto 60% tinham expectativa de alcançá-lo futuramente. No caso das MPEs, o cenário é ainda mais desafiador: empresas com baixo grau de digitalização tinham 75% de chance de permanecerem pequenas, com baixa capacitação e sem planejamento estratégico.

Desta forma, apesar de ser menor comparado a UE, no Brasil, o Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços realizou aporte de R\$1,5 bilhão voltado para o desenvolvimento de fábricas inteligentes em MPMEs. O chamado “Brasil mais produtivo” é o programa que visa aumentar a produtividade e competitividade destas empresas visando melhoria de gestão e soluções digitais, em parceria com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), o SENAI e o SEBRAE (MDIC, 2023).

O quadro institucional para apoiar a produção e os pequenos negócios no contexto brasileiro é amplo em termos de organizações envolvidas. Destacam-se em nível nacional entidades como os mencionados Serviço Brasileiro de Apoio às MPEs (SEBRAE) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), o Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC), o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), a Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (EMBRAPPI) e a Confederação Nacional da Indústria (CNI) do Brasil, juntamente com as diferentes universidades e o restante do sistema de ciência e tecnologia. No contexto estadual, diversas instituições estão envolvidas nas iniciativas de digitalização (Ascúa, 2021, p. 214).

Sendo assim, é importante entender como e para quais propósitos as empresas nestes países estão utilizando as tecnologias digitais bem como suas dificuldades (Cirera; Comin; Cruz, 2022). Portanto, uma análise dos aspectos chave da empresa do ponto de vista estratégico, de processos, organizacional e de pessoas, infraestrutura e produtos ou serviços é necessária para entender melhor as necessidades (Ancillo *et al.*, 2022, p. 205).

3.6 Processo de tomada de decisão

A adoção de tecnologias da I4.0 por MPEs não é um processo automático. Pelo contrário, ela é impulsionada por uma série de decisões estratégicas tomadas por seus gestores. Compreender como essas decisões são tomadas é, portanto, fundamental para analisar a transformação digital no contexto das MPEs (De Vries; Kroukamp, 2023; Chonsawat; Sopadang; Yacine, 2023.).

A teoria econômica clássica imaginava um "homem econômico" perfeitamente racional, capaz de conhecer todas as alternativas, prever todas as consequências e ter poder de cálculo

ilimitado para sempre escolher a melhor opção. Contudo, na prática, esse modelo se mostra irrealista, pois não há evidências de que decisores humanos consigam realizar esses cálculos complexos no mundo real (Simon, 1955).

Como alternativa, Herbert Simon propôs o conceito de Racionalidade Limitada (*Bounded Rationality*). A ideia central é que "a capacidade da mente humana para formular e resolver problemas complexos é muito pequena quando comparada com o tamanho dos problemas". Essa limitação se deve tanto ao acesso incompleto às informações quanto à própria capacidade cognitiva e computacional do ser humano. Por causa desses limites, os gestores não buscam a solução ótima, mas sim uma solução "boa o suficiente", um conceito que Simon chamou de "satisfazimento" (*satisficing*). Na prática, o decisor define um nível de aspiração e escolhe a primeira alternativa que atende a esse critério mínimo, interrompendo a busca (Barros, 2020; Melo; Fucidji, 2016; Simon, 1955).

Isso nos leva à Racionalidade Procedimental, que se concentra não apenas no resultado da escolha, mas no processo utilizado para chegar até ela. Enquanto a racionalidade limitada explica por que não podemos ser perfeitamente racionais, a procedimental explica como de fato tomamos decisões: usando simplificações, regras práticas (heurísticas) e rotinas para lidar com a complexidade (Barros, 2020).

O cenário da I4.0 torna esse debate ainda mais importante. A transição digital muda radicalmente o ambiente de decisão, aumentando o número de opções e, ao mesmo tempo, o "ruído" e o viés, como a desinformação. Para uma MPE, que já lida com recursos escassos, decidir em qual tecnologia investir é um desafio crítico. A decisão de investimento em I4.0 geralmente se divide em duas estratégias principais: uma postura conservadora, focada em reduzir custos operacionais, e uma postura liberal, que busca aumentar receitas e a participação de mercado. Embora ambas possam trazer resultados, estudos indicam que a abordagem focada em aumentar a receita tende a ser mais eficaz para a lucratividade da empresa (De Vries; Kroukamp, 2023; Ulrich *et al.*, 2023).

Além disso, a I4.0 introduz a tomada de decisão algorítmica, em que máquinas auxiliam ou substituem o julgamento humano. Essa abordagem promete mais eficiência, mas também apresenta riscos, como a codificação de vieses discriminatórios nos algoritmos ou a aplicação de uma solução em um contexto inadequado, o que a literatura chama de "armadilhas" (De Vries; Kroukamp, 2023).

Portanto, o caminho de uma MPE na I4.0 é pavimentado por decisões tomadas sob condições de racionalidade limitada. Os gestores precisam adotar uma abordagem procedimental e estruturada, definindo claramente seus objetivos (redução de custos ou aumento de receita) e avaliando criticamente as novas ferramentas disponíveis. Esse complexo processo decisório é o ponto de partida para entender os desafios práticos que pequenos negócios enfrentam.

3.7 Barreiras enfrentadas pelas MPEs para implementação da I4.0

A I4.0 representa um dos maiores desafios da manufatura, exigindo que as indústrias adotem estratégias eficazes para garantir o desempenho competitivo (Azman; Ahmad, 2020, p. 1434). Micro, pequenas e médias empresas correm o risco de ficar para trás nesse cenário (Rauch; Vickery, 2020), diante das pressões por produção otimizada, personalização em massa, ciclos de vida curtos dos produtos, acesso rápido a dados e competitividade baseada em prazos reduzidos (Goel et al., 2022). Embora enfrentem essas mesmas pressões, MPMEs lidam com recursos limitados, dificultando seu desenvolvimento operacional (Sitthidetchtamroung et al., 2023, p. 27). Em países emergentes, o baixo custo da mão de obra também reduz o incentivo à adoção tecnológica (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023), ao mesmo tempo em que se observa uma priorização das tecnologias em detrimento da estratégia organizacional (Sabatini; Bartolini; Gregori, 2020).

Apesar de as áreas de "Engenharia" (13809 artigos) e "Ciência da Computação" (12820 artigos) ainda concentrarem a maioria das publicações, observa-se um crescimento em "Gestão, Negócios e Contabilidade" (8179 artigos), apontando para uma mudança de enfoque (Bencsik, 2020; dados *Scopus*®, 10/08/2024). No entanto, os *frameworks* desenvolvidos para apoiar pequenos negócios na transformação digital muitas vezes não aprofundam os desafios enfrentados por essas empresas (Masood; Sonntag, 2020), o que contribui para a dificuldade de adoção da I4.0 (Goel et al., 2022), seja por desconhecimento, seja pelo receio da mudança (Machado et al., 2021). Além disso, a limitação de recursos para investimento em pesquisa e desenvolvimento restringe a capacidade destas empresas de acompanhar o ritmo das empresas de grande porte (Amaral; Peças, 2021, p. 3). Assim, a decisão de adoção muitas vezes depende da capacidade de a tecnologia reduzir custos (Khanzode et al., 2021).

A complexidade dos processos industriais, potencializada pelas fábricas inteligentes (*smart factories*), é uma barreira crítica à implementação da I4.0 (Ślusarczyk; Pyplacz, 2020, p. 257). Além disso, a incerteza nos ambientes de negócios, a presença de novos concorrentes e as diferenças entre gerações desafiam a liderança (Bencsik, 2020). A identificação das competências exigidas para a I4.0 é dificultada pelo seu caráter técnico (Bencsik, 2020; Jerman; Bach; Bertonecelj, 2018; Kipper et al., 2021), e a percepção dos riscos tende a ser distinta entre MPMEs e grandes corporações (Machado et al., 2021). Outros fatores, como o porte da empresa, o setor industrial (Krajčák, 2021) e as características nacionais (Fernando et al., 2023), também influenciam o tipo e o grau de barreiras enfrentadas. Por isso, é importante analisar os obstáculos com base em realidades específicas, considerando também aspectos como sustentabilidade e o contexto dos países emergentes (Machado et al., 2021).

Questões como localização geográfica, cultura organizacional, políticas públicas e cenário econômico contribuem para a inadequação de modelos genéricos na identificação de barreiras (Masood; Sonntag, 2020). Em países em desenvolvimento, o atraso na digitalização se deve à falta de conhecimento, comunicação limitada e uso de tecnologias obsoletas, como a entrada manual de dados e ausência de integração com tecnologias da informação e comunicação (TIC) (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023). Na Tailândia, por exemplo, ainda predominam processos manuais, além de problemas como falta de controle de processos e perdas produtivas (Sitthidetchtamrourng et al., 2023). Já na Indonésia, a baixa alfabetização digital representa um desafio significativo (Anatan; Nur, 2023). Em regiões da América Latina e da Ásia, a infraestrutura limitada de internet também é apontada como um entrave relevante (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023).

Na Coreia do Sul, o orçamento restrito lidera a lista de barreiras, seguido por desempenho incerto, escassez de especialistas e falta de interesse na inovação (Choi; Choi, 2019). Já na Romênia, os principais entraves são desconhecimento dos conceitos da I4.0, ausência de padrões, foco excessivo em tarefas operacionais, escassez de mão de obra qualificada e resistência à mudança (Türkeş et al., 2019). O medo da perda de empregos também é recorrente em países emergentes, onde a dependência da mão de obra ainda é marcante (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023), especialmente considerando o uso de países como Índia, Vietnã e Bangladesh para serviços terceirizados de baixo custo (Kumar; Singh; Dwivedi, 2020).

Na Polônia, as dificuldades para contratar e reter trabalhadores são atribuídas, em parte, à emigração. Isso tem exigido a contratação de trabalhadores estrangeiros, que por sua vez

enfrentam barreiras linguísticas e falta de qualificação (Ingaldi; Ulewicz, 2020). A escassez de mão de obra qualificada também é confirmada por outros autores (Silva et al., 2022; Ślusarczyk; Pyplacz, 2020), que identificam como entraves adicionais os custos de treinamento, necessidade de investimentos, desconhecimento por parte da gerência, preocupações com segurança de dados e a ausência de incentivos governamentais. Na Índia, os principais fatores limitantes incluem a baixa conscientização, a imprevisibilidade da demanda, além da falta de apoio da liderança e de políticas públicas voltadas ao tema (Goel et al., 2022). Na indústria eletrônica, especificamente, o alto custo de implementação tecnológica se mostra como uma barreira crítica à digitalização da cadeia de suprimentos (Sharma et al., 2023).

Em síntese, observa-se que, apesar da crescente disseminação do conceito de I4.0, os pequenos negócios ao redor do mundo continuam enfrentando barreiras significativas para sua implementação. Essas barreiras, embora variem conforme o contexto econômico, cultural e regulatório de cada país, revelam um padrão comum de dificuldades relacionadas à limitação de recursos, à ausência de qualificação técnica e à complexidade dos processos envolvidos. A transformação digital nos pequenos negócios demanda, portanto, uma compreensão aprofundada de seus desafios específicos, que muitas vezes se distinguem daqueles enfrentados por empresas de maior porte.

4 PANORAMA METODOLÓGICO PARA O TRATAMENTO DE BARREIRAS EM PEQUENOS NEGÓCIOS PARA A INDÚSTRIA 4.0

A literatura muitas vezes utiliza dos termos “método” e “abordagem” como a mesma coisa, gerando bastante confusão ao leitor. Para esclarecer o uso destes termos, segundo o dicionário Michaelis, “método” é o emprego de procedimentos ou meios para a realização de algo, seguindo um planejamento (Método, 2025). Já o termo “abordagem” se refere a maneira de tratar ou interpretar um assunto, uma questão. Os artigos lidos possuem métodos (ou procedimentos) para se chegar aos objetivos propostos, ou seja, é o “como fazer” (Abordagem, 2025). Para isso, a abordagem é usada para orientar a escolha e a aplicação dos métodos, em outras palavras, “como pensar” sobre como fazer.

Com base na RSL, foi possível identificar um vasto conjunto de procedimentos para tratar as barreiras à I4.0. Para organizar e compreender esses procedimentos de forma estruturada, eles foram classificados em seis categorias distintas (Quadro 9).

Como evidenciado na RSL, as abordagens metodológicas encontradas são frequentemente mistas, contendo aspectos qualitativos e quantitativos. Por exemplo, Łabędzka (2021) realizou estudos de casos descritivos (uma abordagem qualitativa), enquanto Müller e Voigt (2018) aplicaram uma abordagem quantitativa, utilizando questionários com escala de Likert. Para executar essas abordagens, os pesquisadores empregam técnicas de coleta de dados, como questionários e entrevistas semiestruturadas, como visto nos trabalhos de Ingaldi e Ulewicz (2020) e Kazantsev et al. (2022), respectivamente.

Quadro 9 - Ferramentas e abordagens da literatura no tratamento de barreiras de pequenos negócios à I4.0 (Cont.)

Tipo	Item	Finalidade	Vantagens	Limitações	Fonte:
Métodos de apoio à decisão	IRP	Realiza ranqueamento racional usando forças e limitações intuitivamente	Avalia a importância relativa com base no desempenho, tem lógica clara, reduz a sobrecarga cognitiva e é simples de aplicar.	Pode ser subjetivo, trata critérios igualmente e se torna complexo com muitos elementos (ex: matrizes grandes).	Badhotiya; Sachdeva; Soni, 2022
	ANP	lidar com problemas multiobjetivos, multiatores e multicriterios	Aceita diversos tipos de dados, permite comparações pareadas sem referência fixa e tem boa capacidade de priorização.	Assume pesos iguais entre critérios, pode não captar nuances entre grupos, exige alto processamento em grandes problemas e não permite testes estatísticos com facilidade.	Sevinç, Gür e Eren (2018) Taherdoost e Madanchian (2023)
	DEMATEL	Auxilia nas relações de causa e efeito entre fatores de forma visual, ranqueia alternativas e relaciona as influências diretas e indiretas entre diferentes fatores.	Lida bem com sistemas complexos e facilita a visualização das interações entre fatores.	Não considera múltiplos critérios nem o peso dos especialistas, podendo não captar preferências subjetivas nem fornecer classificação detalhada.	Kumar; Singh; Dwivedi, 2020, Machado <i>et al.</i> , 2021, Narwane <i>et al.</i> , 2022, Si <i>et al.</i> , 2018
	ISM e MICMAC	ISM: técnica usada para examinar a relação entre diferentes fatores, usada em áreas da gestão e operações na tomada de decisão. MICMAC: complementa a abordagem ISM ao representar uma matriz de classificação	Proporcionam análise visual e sistemática das interrelações no sistema.	Pode sofrer com vies do respondente, carece de validação estatística e nem sempre captura todas as forças atuantes.	Goel <i>et al.</i> 2022, Warfield, 1974, Duperrin; Godet, 1973 <i>apud</i> Goel <i>et al.</i> 2022, Ahmad <i>et al.</i> , 2019 Narwane <i>et al.</i> , 2022, Nazlabadi <i>et al.</i> , 2023, Wu <i>et al.</i> , 2023
	AHP	Ranqueia alternativas de acordo com a importância relativa usando pesos.	Simples, de fácil compreensão, aceita julgamentos subjetivos e é amplamente utilizado em diversos contextos.	Usa valores fixos que podem não captar subjetividade e considera critérios como independentes, o que pode limitar análises mais complexas.	Saaty, 1987, Narwane <i>et al.</i> , 2022, Sharma <i>et al.</i> , 2023, Si <i>et al.</i> , 2018
	BWM	Auxilia na ponderação de critérios e alternativas por meio de comparações pareadas	Reduz vies de ancoragem, exige menos comparações e reduz sobrecarga cognitiva.	Dificulta a verificação de consistência, depende de julgamento subjetivo e pode ser difícil em grupos grandes.	Alimohammadlou e Sharifian (2023) Gholamizadeh <i>et al.</i> (2022)
	PROMETHEE	Obter o ranking entre um conjunto finito de alternativas.	Simples, flexível nas funções de preferência, fácil de interpretar e requer menos dados.	Dificuldade em definir pesos e limiares; não mostra quais critérios destacam cada alternativa e pode ser confuso com muitos critérios.	Brans e Vincke, 1985, Taherdoost, 2023, Sharma <i>et al.</i> , 2023
	TOPSIS	Seleciona a alternativa que esteja o mais próxima possível da solução ideal positiva e o mais afastada possível da solução ideal negativa.	Representa a lógica humana na escolha, permite boa visualização e independe do número de atributos.	Usa distância euclidiana sem considerar correlação, atribuição de pesos é difícil e pode ocorrer reversão de ranking.	Hwang; Yoon, 1981, Madanchian; Taherdoost, 2023
	VIKOR	MCDM para a classificação e seleção a partir de conjuntos de alternativas na presença de critérios conflitantes.	Simples, ágil e permite ajustar pesos conforme a preferência do decisor.	Pequenas mudanças nos pesos afetam o ranking; exige normalização linear, o que limita a flexibilidade.	Opricovic; Tzeng, 2004, Zimonjić; Dekić; Kastratović, 2018
	CRITIC	Atribuir pesos que reflitam não apenas a variabilidade de cada critério, mas também o grau de conflito ou correlação entre eles.	Objetivo, reduz subjetividade, evita redundância e é eficaz com incertezas em sua versão fuzzy.	Exige dados quantitativos confiáveis e não incorpora preferências dos decisores.	Chen <i>et al.</i> , 2023, Lotfi <i>et al.</i> , 2023
	HOQ-QFD	Definir os requisitos do cliente e traduzir as especificações e características de controle do produto em uma matriz	Melhora comunicação entre equipes, alinha produto ao mercado e pode reduzir custos.	Envolvimento do cliente é limitado ao início; exige tempo para preencher matrizes e não se aplica bem a produtos não modulares.	Agarwal e Ojha, 2022, Mehrjerdi, 2011

Tipo	Item	Finalidade	Vantagens	Limitações	Fonte:
Técnicas e ferramentas de análise de dados	Conjuntos Fuzzy	Lida com imprecisões nos julgamentos humanos	Considera valores intermediários entre verdadeiro e falso, o que reflete melhor a realidade.	Exige regras bem definidas e pode ser complexo em problemas maiores.	Masoumi <i>et al.</i> , 2020, Zadeh, 1965
	Estatística	Apoia desde o planejamento até a análise dos dados, incluindo testes de hipóteses, amostragem e interpretação baseada em evidências.	Simplifica dados complexos, melhora a estrutura da pesquisa, reduz erros, facilita visualização e permite generalização.	Pode ser mal interpretada se mal aplicada; complexidade dificulta entendimento; risco de foco excessivo em dados quantitativos; uso inadequado pode levantar questões éticas.	Hair Junior <i>et al.</i> , 2014, Ali; Bhaskar, 2016, Abuhmda; Ismail; Bsharat, 2021, Gil, 2022, Mor; Sood; Goyal, 2020; Nawrocka <i>et al.</i> , 2015
Técnicas de coleta de dados	Questionários	Instrumento de coleta de dados, que envolve conjunto de questões que os participantes respondem por escrito.	Rápido, barato, fácil de aplicar (especialmente online), permite anonimato e facilita análise de dados.	Limita aprofundamento; pode gerar respostas superficiais; tendência dos respondentes pode distorcer resultados.	Gil, 2022; Surawy-Stepney <i>et al.</i> , 2023
	Entrevistas	Instrumento para coleta de dados que envolve duas pessoas em uma situação "face a face", onde uma formula questões e a outra responde.	Acessível a analfabetos, permite auxílio ao entrevistado e análise do comportamento não verbal.	Demanda tempo para transcrição; respostas podem conter vies interpretativo; articulação dos participantes pode variar.	Gil, 2022; Surawy-Stepney <i>et al.</i> , 2023
Métodos de consenso	CRP	Facilitar o processo de tomada de decisão, direcionando-o para resoluções mutuamente aceitas.	Lida com dados linguísticos desbalanceados, aumenta consenso e prioriza decisões de forma estruturada.	Complexo, exige conhecimento técnico, pode demandar alto processamento e ajustes de parâmetros.	Zhang; Li; Gao, 2021, Chen <i>et al.</i> 2023
	DELPHI	Permite formular varios cenarios como "descrição de possíveis futuros que refletem diferentes perspectivas", partindo do entendimento de especialistas em varios questionarios.	Minimiza influência de status, promove anonimato e criatividade, permite feedback entre rodadas e reduz ruídos na decisão.	Interpretação dos resultados é difícil; processo é demorado; resultados podem ser pouco generalizáveis; exige discrição do pesquisador.	Culot <i>et al.</i> (2020) Fink-Hafner <i>et al.</i> (2019)
Abordagem Metodológica	Pesquisa Qualitativa	Compreender profundamente a realidade e os significados atribuídos a fenômenos, com base em coleta em ambiente natural e análise indutiva.	Gera ideias ricas e contextuais, promove flexibilidade e profundidade, e permite surgimento de teorias a partir dos dados.	Exige mais tempo, tem replicabilidade limitada, pode conter vieses interpretativos e tem amostras pequenas.	Gil, 2022, Abuhmda; Ismail; Bsharat, 2021
	Pesquisa Quantitativa	Uso da quantificação tanto na coleta quanto na análise dos dados, quando se busca medir opiniões, comportamentos, fenômenos ou variáveis de forma objetiva e sistemática	Processo claro e sistemático, facilita análise e visualização com tabelas e gráficos, bom para generalizações.	Pode não capturar significados profundos; estrutura rígida limita a criatividade e o aprofundamento qualitativo.	Abuhmda; Bsharat, 2021; Gil, 2022

(Conclusão)

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Uma vez coletados, os dados são processados. Para obter o julgamento de múltiplos especialistas, a literatura aponta para métodos de consenso, como o DELPHI. Para a análise dos dados brutos, são utilizadas Técnicas e Ferramentas de Análise de Dados gerais, como a Estatística e os Conjuntos Fuzzy, que ajudam a tratar as incertezas do julgamento humano.

Por fim, a categoria mais proeminente na literatura para tratar as barreiras é a de métodos de apoio à decisão. Tais métodos são frequentemente utilizados em conjunto com entrevistas e análises qualitativas para enriquecer os resultados. Dentro deste grande grupo, é possível identificar ferramentas com diferentes finalidades: para hierarquização e priorização de barreiras, destacam-se o *AHP*, *ANP*, *BWM*, *PROMETHEE*, *TOPSIS* e *VIKOR*; já para a modelagem da estrutura e das relações de causa e efeito, as ferramentas mais comuns são o *DEMATEL* e o conjunto *ISM-MICMAC*. Já o *HOQ-QFD* foi utilizado de forma adaptada para traduzir as barreiras como voz do cliente na matriz. Essa diversidade de métodos e a combinação entre eles sugerem uma busca da literatura por uma visão equilibrada, visando minimizar as limitações de cada ferramenta isoladamente.

Diante deste panorama, e considerando o objetivo de propor uma sistematização aplicável à realidade de uma pequena empresa, a seleção não poderia ser aleatória. A escolha exigiu a combinação de métodos que permitissem não apenas hierarquizar as barreiras com base nos julgamentos subjetivos do gestor, mas também modelar as complexas relações de causa e efeito entre elas. O Capítulo seguinte detalha o processo de seleção e a lógica de integração das ferramentas selecionadas, que, juntas, formaram a espinha dorsal do método de análise desenvolvido e aplicado neste trabalho.

4.1 Estratégias para mitigação das barreiras

A transição de pequenos negócios para a I4.0 demanda uma abordagem além da simples aquisição tecnológica, exigindo a consideração de certos fatores para sua eficácia. A complementaridade entre as tecnologias implementadas (Nagy; Lăzăroiu; Valaskova, 2023) e o treinamento adequado da equipe (Masood *et al.*, 2020) são pilares essenciais, preparando a organização para a aceitação e o pleno aproveitamento dos benefícios da digitalização.

A literatura recomenda uma implementação gradual, iniciando com projetos de menor escala, sendo o guia de três estágios proposto por Schumacher, Erol e Sihni (2016) um exemplo:

1) definição de uma visão personalizada da I4.0; 2) análise de forças e fraquezas; e 3) tradução da estratégia em ações concretas. Essa abordagem progressiva permite que as empresas compreendam os fundamentos das novas tecnologias e desenvolvam familiaridade com elas (Amaral; Peças, 2021; Silva *et al.*, 2022), sendo eficaz para mitigar barreiras como a falta de clareza, a resistência a mudanças e a incerteza por parte dos envolvidos (Anatan; Nur, 2023; Goel *et al.*, 2022; Kumar *et al.*, 2023; Machado *et al.*, 2021; Alimohammadlou; Sharifian, 2023; Serumaga-Zake; Poll, 2021).

Na prática, essa estratégia se materializa por meio de soluções de baixo custo e alta aplicabilidade. Tecnologias como *RFID*, *Cloud Computing*, *IoT* e Redes de Sensores Sem Fio (*WSN*) são indicadas para projetos-piloto devido à sua menor complexidade (Masood *et al.*, 2020). Exemplos incluem a digitalização da comunicação com aplicativos em nuvem, o uso de *tablets* para coleta de dados da produção (Amaral; Peças, 2021), e a implementação de sistemas *IoT* de baixo consumo para monitoramento de equipamentos, com visualização de dados em plataformas acessíveis como o *Google Sheets*® (Paulino; Maria; Dutra, 2022). A otimização de sistemas já existentes, como a integração entre *ERP* e *MES*, também se apresenta como uma alternativa eficaz, dispensando a necessidade de uma infraestrutura de *Big Data* em estágios iniciais (Rauch; Dallasega; Unterhofer, 2019).

Contudo, a mera disponibilidade de tecnologias não garante o sucesso. A implementação eficaz depende fundamentalmente do planejamento estratégico, com o uso de ferramentas como a análise *SWOT* (Biagio; Batocchio, 2005), embora muitas PMEs negligenciem essa etapa em favor das demandas operacionais imediatas (McDermott *et al.*, 2023). Superar essa tendência exige uma mudança na filosofia empresarial, com foco em uma visão de longo prazo (Kumar; Singh; Dwivedi, 2020). Adicionalmente, o suporte de um ecossistema externo, envolvendo governo, especialistas e universidades, funciona como um catalisador para o processo de inovação, sendo a colaboração intraorganizacional uma via promissora para mitigar a escassez de recursos e competências (Anatan; Nur, 2023; Machado *et al.*, 2021).

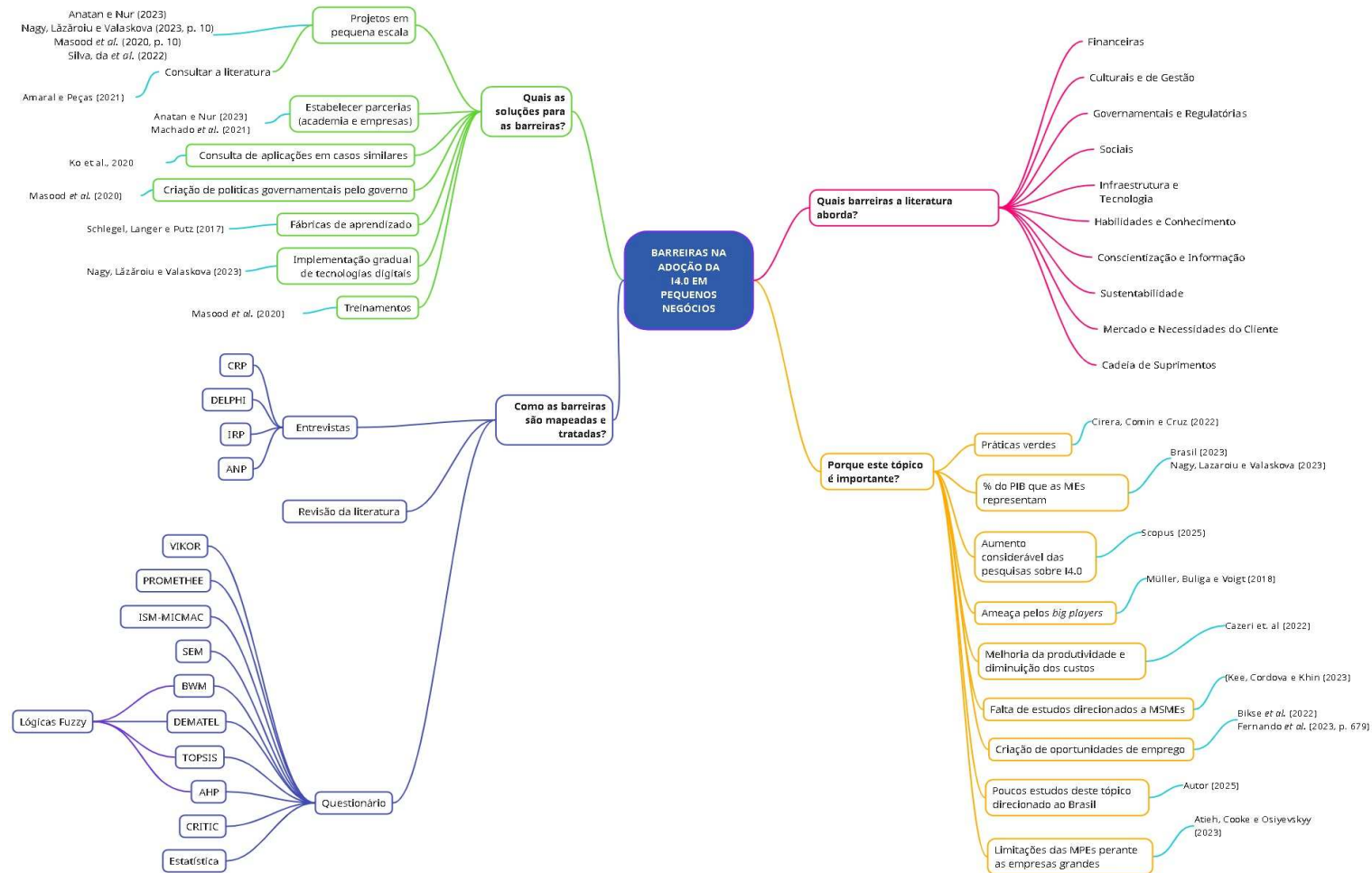
No cenário brasileiro, esse ecossistema de apoio se manifesta em diversas iniciativas de fomento. Existem linhas de financiamento público de instituições como o BNDES e a Finep (Brasil, 2025a; 2025c); programas de consultoria e capacitação do Sebrae (SEBRAE, 2023); e oportunidades de colaboração com Parques Tecnológicos, a Embrapii (2024), o SENAI e a ABDI (SENAI, 2025a; ABDI, 2025). Uma iniciativa de destaque é a Jornada de Transformação

Digital do SENAI (2025b), que oferece diagnóstico e consultoria gratuitos para indústrias com faturamento de até R\$ 8 milhões, atuando diretamente sobre as barreiras de conhecimento, planejamento e, principalmente, a financeira. Para que essas empresas possam aproveitar tais oportunidades, é indispensável o investimento na qualificação do capital humano, incluindo a liderança, tornando a empresa apta a participar de editais públicos que exigem capacidade técnica e visão estratégica.

Finalmente, é necessário reconhecer que a dimensão humana e cultural é central para o sucesso da transição. O receio da perda de empregos, associado à automação, deve ser mitigado com estratégias de requalificação profissional (Atieh; Cooke; Osiyevskyy, 2023). Nesse sentido, a atualização dos currículos de ensino técnico e superior para atender às demandas da I4.0 é fundamental, um movimento já em curso no Brasil (COTUCA, 2023; Faculdade de Engenharia Química, 2023; Governo do Estado de São Paulo, 2021). A superação dos desafios se torna mais viável ao se adotar uma cultura centrada em dados e ao abordar primeiramente as barreiras causais para então avançar sobre os demais obstáculos de forma sequencial (Machado *et al.*, 2021).

Por fim, o *output* de toda esta fundamentação realizada até este tópico pode ser ilustrado no mapa mental da Figura 22.

Figura 22 - Mapa mental sobre as barreiras na adoção da I4.0 em pequenos negócios



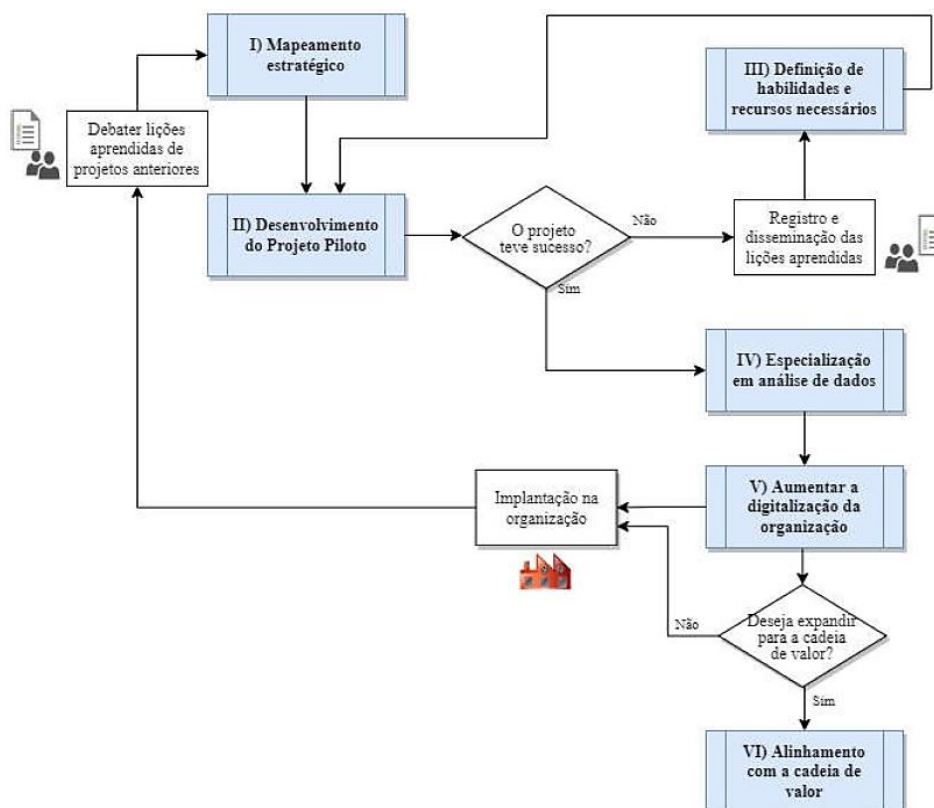
Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

5 PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO PARA IDENTIFICAR E TRATAR AS BARREIRAS

Baseado nos métodos e abordagens que os documentos da RSL apresentam, há concentração de estudos usando métodos quantitativos e algumas abordagens mistas.

As abordagens destes estudos seriam suficientes para identificar, relacionar e /ou priorizar as dificuldades que se enfrenta. No entanto, para ainda atender aos objetivos propostos e ao mesmo tempo permitir robustez e abrangência ao procedimento, utilizou-se como base o trabalho de Cordeiro (2022) que trata de uma proposta de um método para implantar projetos de digitalização. Embora o foco de sua pesquisa não possua delimitação específica para MPes e não possuir objetivo específico em barreiras, a estrutura proposta as utiliza no mapeamento estratégico e foram fundamentais para o constructo deste trabalho (Figura 23).

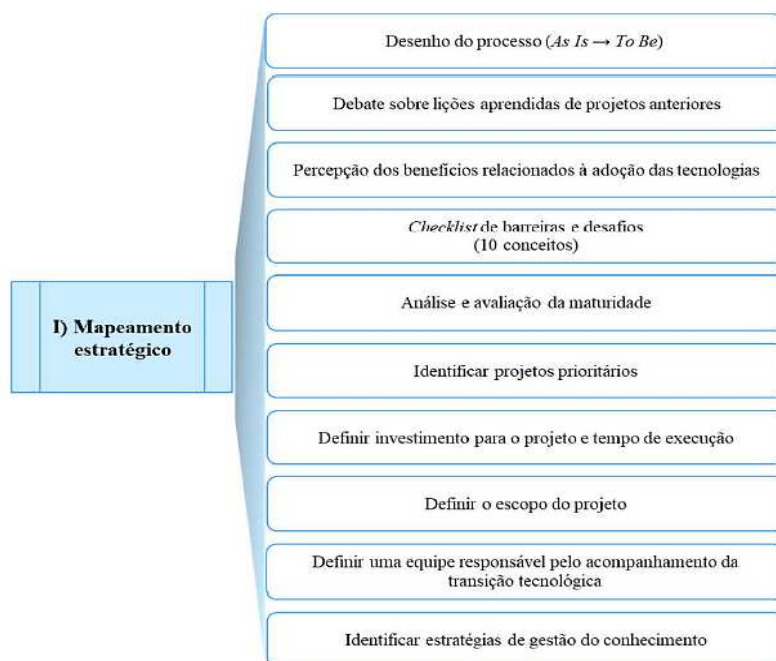
Figura 23 - Visão macro da proposta do método para implantação de projetos de digitalização.



Fonte: Cordeiro (2022)

Assim, o presente trabalho focou na etapa I (Figura 24) desta proposta (Mapeamento estratégico), envolvendo desde o estudo do processo atual de uma empresa até proposição de soluções práticas.

Figura 24 - Etapas do mapeamento estratégico



Fonte: Cordeiro (2022).

Para a aplicação da proposta, uma pequena empresa brasileira (aqui denominada Empresa Beta) foi selecionada. Trata-se de uma empresa familiar do ramo alimentício, situada no interior do estado de São Paulo, de origem nacional, com 5 funcionários (inclusive proprietário), 11 anos de atuação no mercado e faturamento anual de R\$ 1,4 milhão, portanto caracterizando-se como pequena empresa. A Empresa Beta atende clientes bem estabelecidos (grandes empresas) e pequenos.

Entretanto, algumas adaptações significativas deste procedimento foram necessárias no decorrer da pesquisa.

Segundo Cordeiro (2022), o mapeamento estratégico inicia com o entendimento sobre o processo no qual a tecnologia de transformação digital será implantada. No entanto, como o presente estudo está sendo realizado por um pesquisador externo, isso será possível apenas após a observação direta feita na empresa. O debate sobre lições aprendidas de projetos anteriores

não foi realizado devido à limitação de acesso a informações históricas da empresa e pela pesquisa não adotar entrevistas. O debate dos benefícios relacionados à adoção das tecnologias foi feito pelo próprio pesquisador, baseado nas observações.

Na sequência, conforme Cordeiro (2022), a proposta é da realização de uma avaliação das barreiras que a empresa enfrenta e isso gera um nível de maturidade, através de uma relação com as dimensões da matriz de maturidade. Esta avaliação das barreiras em conjunto com a maturidade não foi utilizada neste estudo pelos seguintes motivos:

1. **Alteração da estrutura original da tese:** Existe a necessidade de alteração da estrutura idealizada por Cordeiro (2022) para adaptar às barreiras identificadas na RSL, o que geraria um novo modelo específico para MPEs, não sendo o foco deste trabalho.
2. **Nível atual das MPEs:** Tendo em mente o estágio de evolução das MPEs, elas estão, em média, no primeiro ou no segundo nível de maturidade dos modelos existentes (Amaral; Jorge; Peças, 2019; Grufman; Lyons; Sneiders, 2020). Isso é evidenciado também pelo estudo feito por Moura e Kohl (2020), que compararam os níveis de maturidade de empresas brasileiras com alemãs. As pequenas empresas brasileiras não passam de nível 1,3 (na escala IMPULS: 0 = Outsider/fora do contexto digital e 5 = Alto desempenho). Além disso, esses dados corroboram com mais recentes da plataforma criada pela ABDI (2025) que mapeiam a maturidade digital de MPEs no Brasil, as quais 66% ainda são analógicas/emergentes. A pesquisa de Amaral, Jorge e Peças (2019) revelou que os modelos de maturidade atuais não são adequados para PMEs, principalmente porque eles são focados na implementação da I4.0, e não no primeiro passo, que é o reconhecimento e preparação das empresas para esse conceito. A maioria dos gestores dos pequenos negócios não tem conhecimento pleno sobre a I4.0 ou está em estágios iniciais de maturidade, o que torna difícil usar esses modelos de forma eficiente, sendo necessário um modelo com maior granularidade.

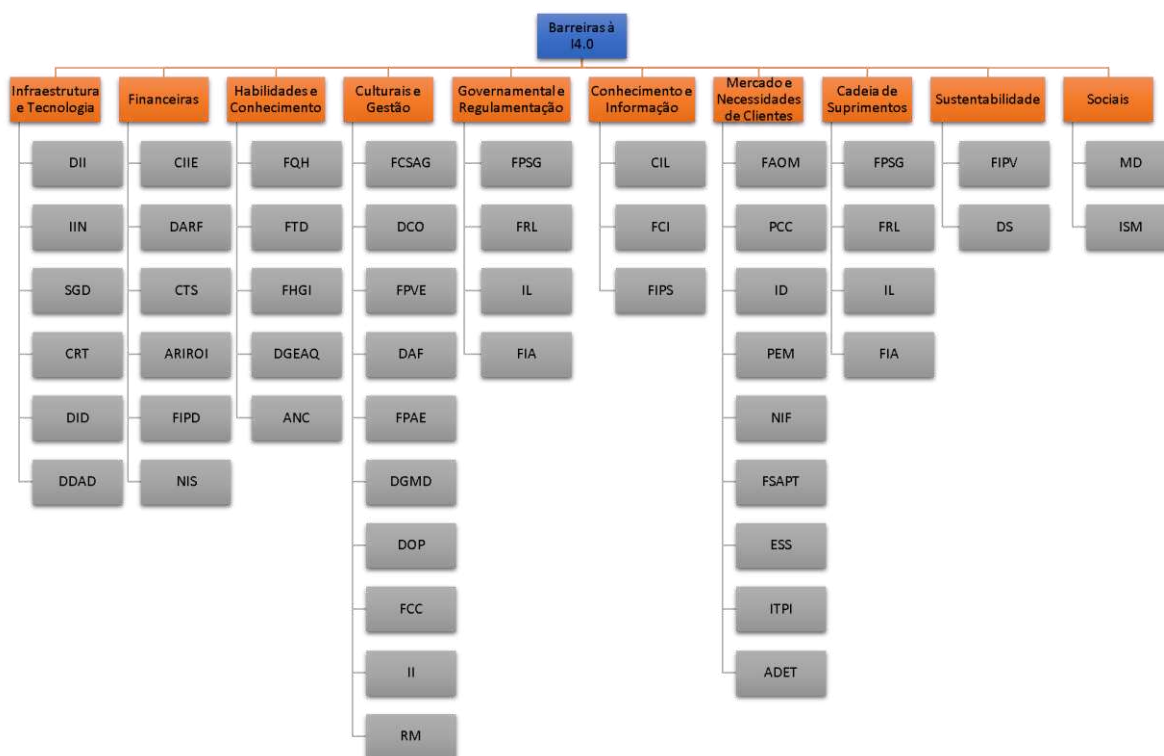
A RSL permitiu uma análise aprofundada das barreiras enfrentadas por MPEs, com foco especial nas dificuldades externas, como aquelas relacionadas à cadeia de suprimentos, mercado e aspectos sociais. Com base nesse levantamento, foram aplicados os métodos *AHP* e *ISM-MICMAC*, que se destacam, respectivamente, pela capacidade de priorizar e de analisar as

interrelações entre as barreiras. Vale destacar que esses métodos não são absolutos, ou seja, outros métodos citados aqui ou não, podem ser aplicados para relacionar e priorizar as barreiras.

A escolha dos métodos *AHP* e *ISM-MICMAC* deve-se à sua robustez e complementaridade, bem como à escassez de estudos que combinem ambas as abordagens no contexto de pequenas empresas e a Indústria 4.0.

O *AHP* foi utilizado para hierarquizar e priorizar as barreiras de forma quantitativa, com base nos julgamentos de valor do decisor. Diferentemente de uma abordagem que segmenta a análise em múltiplos critérios, optou-se aqui por um critério de julgamento holístico. As barreiras foram comparadas diretamente com base em sua significância como o "obstáculo mais crítico" para o avanço tecnológico e a competitividade geral do negócio. A estrutura hierárquica do *AHP* permite, assim, transformar essa percepção subjetiva em um ranking de prioridades claro e quantitativo. A Figura 25 ilustra a estrutura hierárquica utilizada.

Figura 25 - Estrutura do *AHP* para o presente estudo



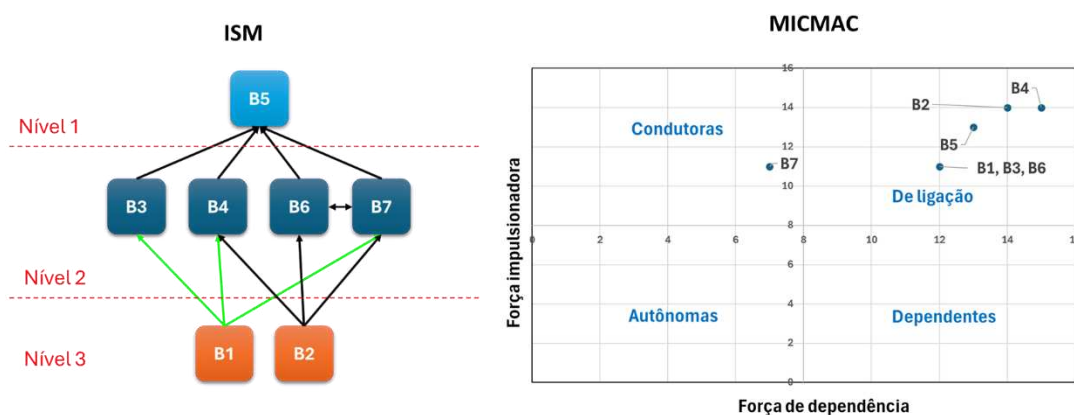
Fonte: Saaty (1987) - Elaborado pelo Autor (2025)

O *ISM-MICMAC* foi selecionado como ferramenta complementar ao *AHP* devido à sua

capacidade de interrelacionar as barreiras. Enquanto o *AHP* prioriza as barreiras, o *ISM-MICMAC* oferece uma visão estrutural do problema, identificando quais barreiras possuem maior influência sobre as demais e quais são mais dependentes dentro do sistema.

Além disso, a literatura utiliza amplamente o uso das ferramentas *AHP* e *ISM-MICMAC* em contextos similares ao deste trabalho, o que reduz a necessidade de um estudo de caso piloto. A Figura 26 ilustra um exemplo de resultado do *ISM-MICMAC* para posterior análise.

Figura 26 - Exemplo hipotético do resultado do *ISM-MICMAC*



Fonte: Duperrin e Godet (1973) *apud* Goel *et al.* (2022); Warfield (1974) - Elaborado pelo Autor (2025)

O questionário, será estruturado com perguntas, de acordo com Vieira (2009), fechadas e abertas (esta última especificamente para sanar questões básicas do perfil da empresa como número de funcionários, receita e tempo de atuação da empresa). As perguntas fechadas foram elaboradas para aplicação no *AHP* e *ISM-MICMAC*, sendo a única a qual abordará diretamente alguém (no caso, o sócio proprietário via questionário).

Segundo Yin (2001), um bom estudo de caso deve reunir diversas fontes de evidência, como documentações, entrevistas, observações e artefatos físicos. Nesse sentido, a observação direta simples, por ser espontânea, não participativa e assistemática, complementa o questionário ao oferecer um panorama prático da rotina da empresa.

De acordo com Gil (2022) e Yin (2001), esse tipo de observação permite ao pesquisador acompanhar o ambiente sem interferir, registrando dados que podem confirmar ou contrastar com o questionário. A coleta será feita por meio de notas descritivas e reflexivas (Creswell; Creswell, 2020), baseadas em diretrizes propostas por Angrosino (2007), que defende algum

grau de estrutura mesmo em observações espontâneas. O pesquisador atuará como espectador, sem interações, como orientam Marconi e Lakatos (2017), sendo essa uma abordagem útil para estudos exploratórios (Gil, 2022), por permitir uma aproximação natural com o fenômeno. A coleta será discreta para evitar viés e interferências.

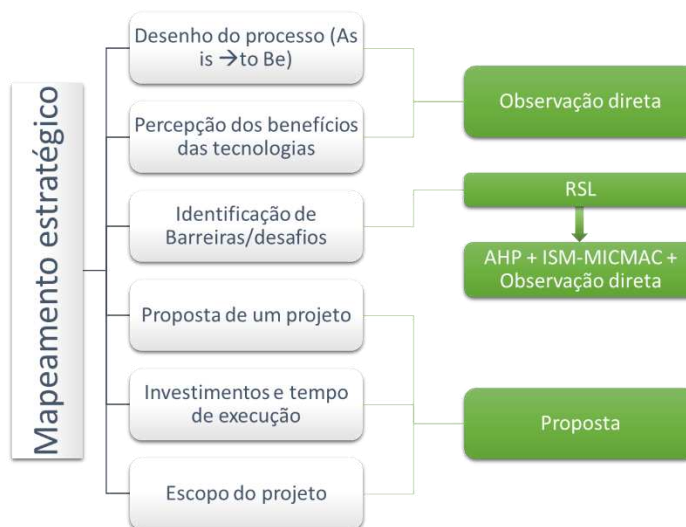
Embora a observação possa influenciar o comportamento (Angrosino, 2007), esse efeito tende a diminuir com o tempo. Além disso, a abordagem emergente e a triangulação com outras fontes (como registros e entrevistas) aumentam a confiabilidade dos dados e favorecem uma compreensão mais profunda da realidade estudada.

A etapa de identificação dos projetos prioritários caberia ao proprietário da empresa realizar com base em sua análise de investimento, riscos e posicionamento estratégico (Cordeiro, 2022). No entanto, foi realizada uma adaptação usando os resultados do *AHP*, *ISM-MICMAC* e observações feitas *in loco*, resultando numa proposta para a empresa.

A definição de investimento do projeto, tempo de execução e escopo do projeto (entregáveis e quais são os desafios tecnológicos que são superados) foram direcionadas para o pesquisador, visto que a proposta final será feita por ele.

Por fim, as atividades de definir uma equipe responsável pelo acompanhamento da transição tecnológica e identificar estratégias de gestão do conhecimento não fazem parte do escopo desta pesquisa, o qual poderia ser realizado posteriormente pela própria empresa após os resultados deste estudo. Portanto, a adaptação realizada seguiu as atividades da Figura 27.

Figura 27 - Método de aplicação da proposta.



Fonte: Cordeiro (2022) – Elaborado pelo Autor (2025)

6 APLICAÇÃO DA PROPOSTA

Neste capítulo serão apresentadas as etapas da proposta mencionada no capítulo anterior (Figura 27).

6.1 Desenho do processo (As is → to be)

Visando a discussão posterior com relação às barreiras, e por cada empresa operar de uma forma, é necessário entender suas características e entender como ela opera.

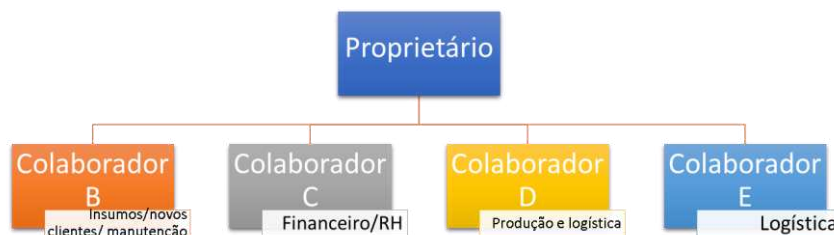
Desta forma, os tópicos seguintes refletem as observações feitas. No entanto, a observação não foi realizada necessariamente na sequência destes tópicos. Todos os dados foram anotados (dados brutos) e posteriormente compilados para formar as descrições deste capítulo. Essa abordagem foi escolhida para tornar o fluxo das informações mais claro. No Apêndice E é possível verificar todos os dados brutos (notas descritivas e reflexivas) que foram utilizados para gerar as descrições deste tópico.

6.1.1 Caracterização Geral da Empresa e do Ambiente

O local onde a Empresa Beta está situada fica na área central da cidade, em uma região de grande fluxo de pessoas e veículos, com acesso direto e sinalizado, facilitando a localização. A vizinhança possui residências e outras empresas, como por exemplo, venda de água potável.

O organograma pode ser ilustrado conforme Figura 28. Este organograma não é o oficial da Empresa Beta, mas resultado das observações realizadas.

Figura 28 - Organograma observado da Empresa Beta



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

O nível de escolaridade dos colaboradores se dá conforme abaixo:

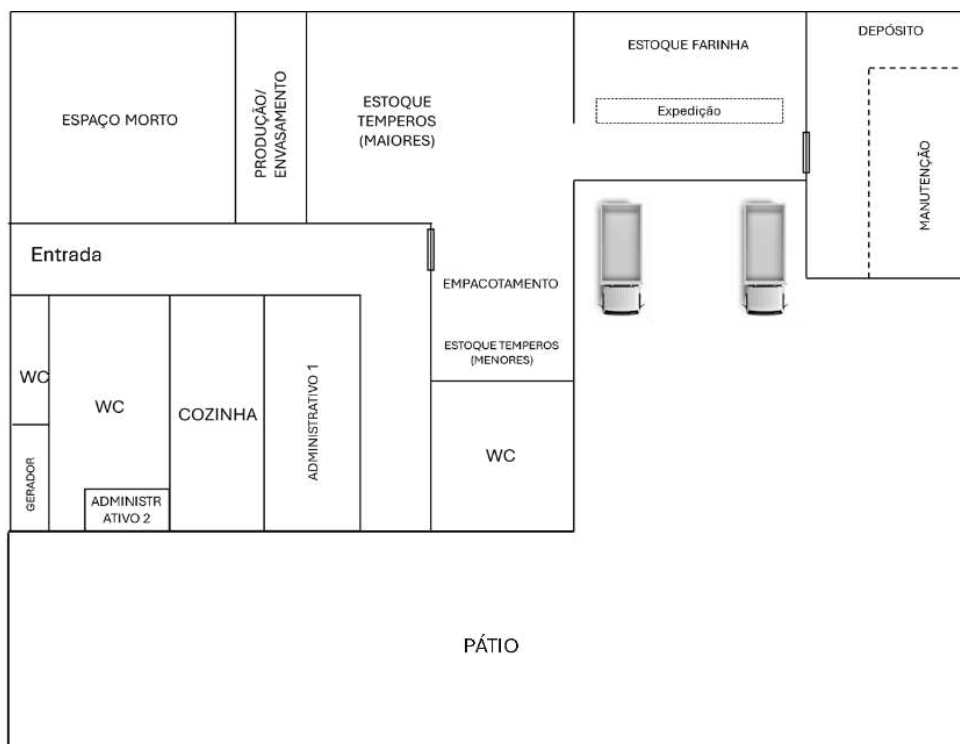
- Proprietário: Ensino Fundamental Completo.
- Colaborador B: Ensino Superior Completo em Tecnologia de Materiais Poliméricos.
- Colaborador C: Mestrado Completo em Ciência e Tecnologia de Alimentos.
- Colaborador D: Ensino Superior Completo em Psicologia.
- Colaborador E: Ensino Fundamental Completo.

O ambiente interno é arejado, possui janelas, o acesso aos locais de trabalho é simples. A pintura dos recintos não possui manchas e marcas, com aparência de nova. O ambiente é limpo e sem odores.

6.1.2 Layout e Organização Física

Através da observação do local, é possível mapeá-lo para ter noção dos fluxos de trabalho e disposição física (Figura 29)

Figura 29 - Layout básico gerado através da observação feita



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025).

Os setores estão dispostos de forma compacta e próximos uns aos outros. A organização do espaço inclui:

- 1) Produção e estoque
- 2) Recebimento/Expedição
- 3) Administrativo/Escritório 1 e 2
- 4) Deposito/Manutenção

A área fabril abriga algumas máquinas e, anexado, um estoque de temperos, organizado em caixas de hortifrúti empilhadas. Em um ambiente adjacente à área fabril, encontra-se outro estoque, junto à área de expedição, contendo sacarias de farinhas.

6.1.3 Produção e estoque de temperos

Neste setor são realizadas as produções dos pedidos e armazenados os produtos. Há uma área específica onde ficam as máquinas e equipamentos e logo ao lado, o estoque de temperos. Abaixo as descrições de cada área deste setor:

- **Máquina seladora 1:** Máquina possui uma esteira integrada, controlador digital de temperatura, ajuste de velocidade por potenciômetro e botões para ligar e desligar.
- **Dosadora 1:** Anexada à máquina seladora 1, usada para pesar os produtos antes da selagem.
- **Dosadora 2:** De frente para a seladora 1, usada para pesar os produtos antes da selagem.
- **Estoque de temperos 1:** após produzidos os produtos nas máquinas, os mesmos são armazenados logo ao lado numa área com várias fileiras de caixas hortifruti que contém os produtos. Nesta área são produtos de tamanho maior. Todas as caixas estão identificadas com o nome do produto (etiqueta) e um controle de estoque visual na própria etiqueta, feito por canetas piloto que apagam facilmente.
- **Estoque de temperos 2:** Sistemática idêntica ao do estoque 1, porém para os temperos menores e armazenados em estantes gaveteiras.
- **Bancada:** Entre os dois estoques, de frente para a saída que fica de frente para o Escritório 1, são montados os pedidos dos clientes (empacotamento). Há diversas ferramentas como tesouras, fitas adesivas e caixas de papelão com etiquetas. Com exceção do Colaborador E e Colaborador C, o restante dos funcionários realizam essa atividade conforme necessidade.

Um controle diário do estoque manual é feito pelo proprietário conforme os produtos vão acabando. Caso esteja indicado que o estoque está baixo, é passado uma folha em mãos para o Colaborador D (normalmente) para produzir os produtos e não deixar o estoque sem produtos. A informação de estoque mínimo vem de históricos de pedidos.

Com relação aos pedidos de temperos dos clientes, o proprietário informa ao colaborador D verbalmente e numa folha de papel para iniciar o empacotamento em caixas de papelão de tamanhos diversos.

Já as farinhas, o colaborador E já separa diretamente, solicitado pelo proprietário ou via Colaborador D, pois não há necessidade de passar pelo processo de selamento, normalmente. Quando há necessidade de fracionar sacarias maiores de farinha, o proprietário, colaborador B e D realizam esta tarefa, dependendo da disponibilidade de cada um. Todos dão baixa manual nas etiquetas de estoque com caneta de quadro branco.

6.1.4 Estoque Farinha/Expedição

Nesta área são armazenados produtos recebidos de fornecedores (farinhas). Os produtos recebidos e que serão enviados são descarregados nesta área. O colaborador E fica boa parte de seu tempo neste setor. Eventualmente os outros colaboradores acessam a área para troca de informações com o mesmo ou até mesmo para carregamento ou descarregamento de cargas.

Há demarcações no chão em verde, amarelo e vermelho, instruções e avisos nas paredes. Os produtos (farinhas) possuem identificação por etiquetas, divididas por tipo de granulação, diferidas por cores e escritos.

O único processo em máquina que estes produtos são submetidos é em fracionamentos para, posteriormente, serem embalados e enviados para expedição, conforme pedidos.

6.1.5 Administrativo/escritório

- **Administrativo 1:**

- Há 3 mesas cada uma com um computador, onde o proprietário e o colaborador C ficam boa parte do tempo.
- O proprietário fica neste local boa parte do tempo.
- Há bastante papel na mesa do proprietário.

- O proprietário utiliza diariamente de planilhas eletrônicas e aplicativos de mensagens. Várias ligações durante o dia de clientes e fornecedores.
- O colaborador C lida bastante com notas fiscais, boletos, dinheiro físico, pagamentos, lançamento de pedidos, entre outras atividades burocráticas.

- **Administrativo 2:**

- Localizado ao lado da área fabril, próximo ao pátio, com espaço suficiente para acomodar apenas um funcionário.
- Local onde o colaborador B realiza tarefas de atendimento ao cliente e prospecção de novos clientes, utilizando um computador, celular, calculadora, impressora e papéis para suas atividades.
- Também executa atividades de compras, controle de insumos e fretes.
- Sua mesa é organizada, com fitas demarcando o local de cada equipamento e item, com um ambiente de trabalho organizado e funcional.

6.1.6 Pátio

- Local onde transitam os caminhões de fornecedores e dos clientes e carros dos funcionários.
- Local não coberto.

6.1.7 Depósito/Manutenção

Nesta área são armazenados itens diversos, desde insumos para produção quanto equipamentos e itens para manutenção de máquinas. Não possui uma organização aparente com códigos de produtos.

A área é pouco acessada, apenas quando há necessidade de contagem dos insumos para novas compras, ou quando há necessidade de alguma manutenção.

Primeiramente foi enviado um questionário via e-mail para ser respondido no *Google Forms*, contendo perguntas relativas aos métodos *AHP*, *ISM-MICMAC* e algumas perguntas básicas sobre a empresa. Em paralelo, uma observação direta não participante foi realizada na empresa, em dias e horários pré-agendados com o proprietário.

Conforme Angrosino (2007) não existe um formato universal aceito para registrar as observações. Alguns preferem registrar no computador, outro fazer listas de verificação, tabelas etc. Desta forma, os registros serão feitos em caderno e em computador.

Portanto, com foco de extrair o modo como a empresa opera e contrastar posteriormente com as dificuldades que a mesma avaliou ter, a observação visou a coletar dados como: Conhecimento do local e mapeamento; Setores e ambiente de trabalho; Anotação do layout básico; Entendimento dos fluxos dos trabalhos; Como os funcionários realizam suas atividades, comportamentos; Como são produzidos os produtos, uso de recursos; Máquinas e tecnologias usadas; Tipos de processo (manuais ou digitais); Interação entre os setores; Infraestrutura; Sinalizações e procedimentos visíveis; Reações e Tomadas de decisão.

Desta forma, em um primeiro momento, o mapeamento dos setores e o layout da empresa será feito. Na sequência, um tempo será necessário para cada setor para anotar os dados observados, podendo ocorrer mudanças durante a observação.

6.2 Percepção dos benefícios das tecnologias

A percepção inicial é que a implementação de tecnologias de monitoramento e automação, mesmo em pequena escala, pode gerar benefícios significativos.

Em termos operacionais, os ganhos seriam diretos e mensuráveis. A implementação de sensores para monitorar a temperatura e a contagem da produção permitiria um controle de processo mais rigoroso, visando a padronização e a consequente redução de falhas de selagem e retrabalho, pontos de ineficiência identificados durante a observação direta. A introdução da inspeção de qualidade automatizada, por sua vez, aumentaria a confiabilidade do produto final, mitigando o risco de reclamações de clientes.

A escolha por tecnologias acessíveis como ESP32 e Raspberry Pi aborda a barreira de limitação de recursos, uma das mais citadas na literatura sobre MPEs. Mais importante, o projeto-piloto funciona como uma iniciativa de capacitação e desmistificação tecnológica. Ao

executar um projeto de escopo limitado e baixo risco, a empresa tem a oportunidade de desenvolver competências digitais internas, diminuindo a percepção de "alta complexidade" e a resistência cultural à mudança. Portanto, a proposta não é apenas uma solução técnica para um problema pontual, mas um primeiro passo estratégico e acessível, desenhado para gerar valor imediato e, ao mesmo tempo, preparar a organização cultural e tecnicamente para desafios futuros.

6.3 Priorização das barreiras (*AHP*)

Os dados foram coletados do questionário respondido e transferidos para os cálculos no Microsoft Excel®. Os dados de entrada coletados dos questionários estão disponíveis no Apêndice B e o Apêndice C detalha, passo a passo, o procedimento de cálculo utilizado para obter o vetor de prioridades (pesos) e a Razão de Consistência (CR) do método *AHP*, conforme proposto por Saaty (1987). A matriz da categoria B6 - Conscientização e Informação foi utilizada como exemplo.

Após a realização dos procedimentos matemáticos do *AHP* foi gerada a Tabela 1, que ilustra o resultado das barreiras para a Empresa Beta.

Tabela 1 - Resultados do *AHP*

Categoria	Peso	#
Financeiras →	24,4%	1
Infraestrutura e Tecnologia →	16,0%	2
Culturais e Gestão →	16,0%	2
Habilidades e Conhecimento →	15,7%	4
Mercado e Necessidades de Clientes →	8,5%	5
Cadeia de Suprimentos →	6,9%	6
Conhecimento e Informação →	4,7%	7
Governamental e Regulamentação →	3,5%	8
Sustentabilidade →	2,7%	9
Sociais →	1,5%	10

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A Tabela 2 ilustra os resultados de todas as barreiras, informando os pesos para cada categoria e os pesos gerais.

Tabela 2: Pesos das barreiras por categoria e geral (Cont.)

Categoria	Barreira	#	Peso na Categoria	Peso Geral
Financeiras	Custo e Investimento Inicial Elevado	1	33,9%	8,3%
Infraestrutura e Tecnologia	Inadequações na Infraestrutura	2	37,7%	6,0%
Habilidades e conhecimento	Falta de habilidades na Gestão e Implementação	3	36,5%	5,7%
Financeiras	Dificuldades de Acesso a Recursos Financeiros	4	21,5%	5,3%
Financeiras	Altos Riscos e Incertezas sobre ROI	5	20,3%	5,0%
Habilidades e conhecimento	Alto nível de complexidade	6	28,6%	4,5%
Infraestrutura e Tecnologia	Desafios de Implementação e Desempenho	7	25,1%	4,0%
Culturais e de gestão	Falta de Compromisso e Suporte da Alta Gestão	8	21,4%	3,4%
Culturais e de gestão	Falta de Planejamento e Visão Estratégica	8	21,4%	3,4%
Financeiras	Custos de Treinamento e Suporte	10	12,1%	3,0%
Habilidades e conhecimento	Falta de Qualificação e Habilidades	11	18,4%	2,9%
Cadeia de Suprimentos	Falta de alinhamento com Parceiros Comerciais	12	37,6%	2,6%
Infraestrutura e Tecnologia	Dificuldades de Integração e Interoperabilidade	13	15,6%	2,5%
Mercado e Necessidades do Cliente	Pressão Competitiva e Concorrência	14	28,9%	2,5%
Cadeia de Suprimentos	Dificuldade em identificar tecnologias e parceiros	15	34,4%	2,4%
Culturais e de gestão	Resistência à Mudança	16	13,8%	2,2%
Conscientização e Informação	Consciência e Interesse Limitados	17	44,3%	2,1%
Culturais e de gestão	Desafios Operacionais e de Produtividade	18	12,4%	2,0%
Sustentabilidade	Falta de Iniciativas e Práticas "verdes"	19	66,7%	1,8%
Conscientização e Informação	Falta de Informação sobre Políticas e Sustentabilidade	20	38,7%	1,8%
Habilidades e conhecimento	Falta de Treinamento e Desenvolvimento	21	11,3%	1,8%
Financeiras	Falta de Investimento em P&D	22	7,3%	1,8%
Infraestrutura e Tecnologia	Capacidades e Recursos Tecnológicos	23	10,6%	1,7%
Mercado e Necessidades do Cliente	Necessidade de Inovação e Flexibilidade	24	19,9%	1,7%
Governamentais e Regulatórias	Falta de Incentivos para adoção	25	47,2%	1,7%
Culturais e de gestão	Dificuldades em adaptação e Flexibilidade	26	9,2%	1,5%
Financeiras	Necessidade de Investimentos Sustentáveis	27	4,9%	1,2%
Infraestrutura e Tecnologia	Segurança e Gestão de Dados	28	7,3%	1,2%
Mercado e Necessidades do Cliente	Incertezas na demanda	29	13,5%	1,2%
Mercado e Necessidades do Cliente	Falta de Acesso e Oportunidades de Mercado	30	13,1%	1,1%
Cadeia de Suprimentos	Falta de comprometimento	31	15,6%	1,1%

Culturais e de gestão	Desafios na Cultura Organizacional	32	6,6%	1,0%
Sociais	Medo de desemprego	33	66,7%	1,0%
Culturais e de gestão	Falta de Prioridades e Alinhamento Estratégico	34	5,8%	0,9%
Sustentabilidade	Dúvidas sobre a sustentabilidade da I4.0	35	33,3%	0,9%
Culturais e de gestão	Dificuldade na Gestão de Mudanças e Desempenho	36	5,5%	0,9%
Cadeia de Suprimentos	Aspectos Legais e Contratuais	37	12,3%	0,9%
Conscientização e Informação	Falta de clareza sobre a implementação	38	17,0%	0,8%
Habilidades e conhecimento	Dificuldade em gerar empregos de alta qualificação	39	5,0%	0,8%
Governamentais e Regulatórias	Falta de Políticas e Suporte Governamental	40	21,7%	0,8%
Governamentais e Regulatórias	Inseguranças legais	41	21,2%	0,7%
Mercado e Necessidades do Cliente	Falta de soluções alternativas para problemas tecnológicos	42	8,4%	0,7%
Mercado e Necessidades do Cliente	Poucos exemplos no mercado	43	7,0%	0,6%
Infraestrutura e Tecnologia	Desafios de Digitalização e Análise de Dados	44	3,6%	0,6%
Sociais	Impactos na Saúde Mental	45	33,3%	0,5%
Culturais e de gestão	Falta de Cooperação e Colaboração	46	2,4%	0,4%
Governamentais e Regulatórias	Falta de Regulamentações e Legislação	47	9,8%	0,3%
Mercado e Necessidades do Cliente	Engajamento e Suporte dos Stakeholders	48	3,9%	0,3%
Mercado e Necessidades do Cliente	Infraestrutura de telecomunicação do país insuficiente	49	3,3%	0,3%
Culturais e de gestão	Impacto das Inovações	50	1,6%	0,3%
Mercado e Necessidades do Cliente	Alterações de design em estágios tardios	51	1,9%	0,2%

(Conclusão)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com estes dados (divididos por categoria e um ranking geral), é possível analisar e priorizar dificuldades maiores para agregar na proposta final à empresa.

6.4 Relação estrutural das barreiras (ISM-MICMAC)

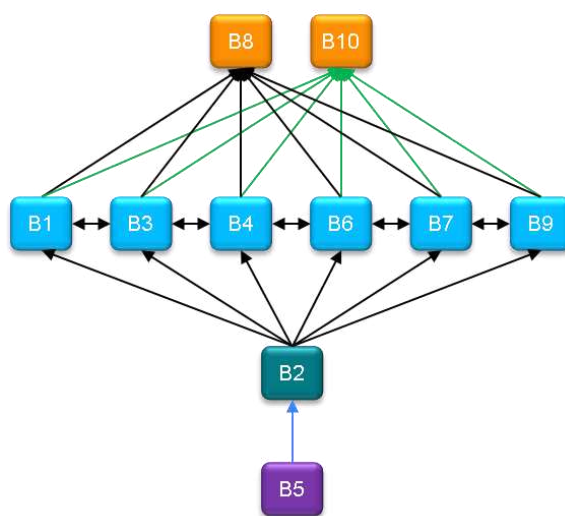
Assim como no *AHP*, as respostas do *ISM-MICMAC* foram passadas para o Microsoft Excel® como dados de entrada. Estas respostas inicialmente são em termos linguísticos (V, A, X, O) que, na sequência, são transformadas em dados binários. Com estes dados, é possível

realizar a matriz de transitividade, a qual relaciona indiretamente as barreiras, conforme avaliado pelo respondente (Apêndice D).

Este processo permite duas saídas: a relação hierárquica entre as barreiras e a classificação delas com relação a seu nível de influência sobre outras.

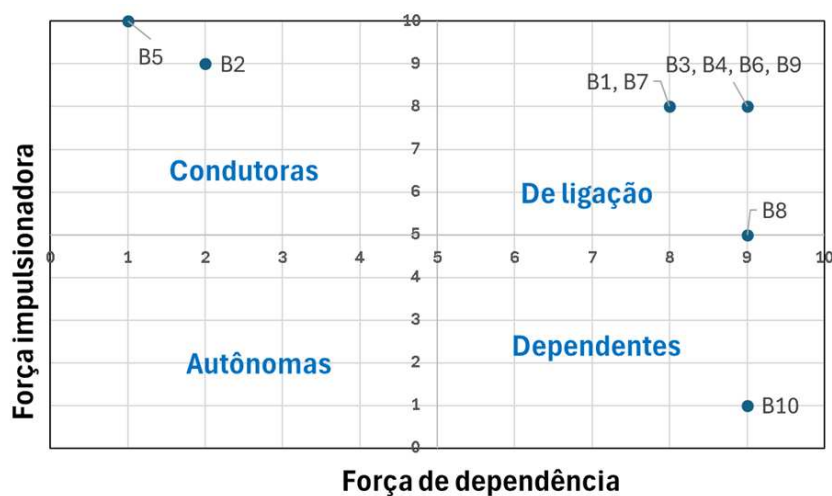
A relação hierárquica (*ISM*) e a matriz de classificação (*MICMAC*) são apresentadas nas Figura 30 e Figura 31, respectivamente.

Figura 30 - Relações hierárquicas (*ISM*) das barreiras avaliadas pela Empresa Beta



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Figura 31 -Matriz de classificação (*MICMAC*) das barreiras avaliadas pela Empresa Beta



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com estes resultados do *ISM-MICMAC* é possível realizar avaliar as influências que cada dificuldade tem sobre outras de forma estrutural e integrar a análise com os resultados do *AHP*.

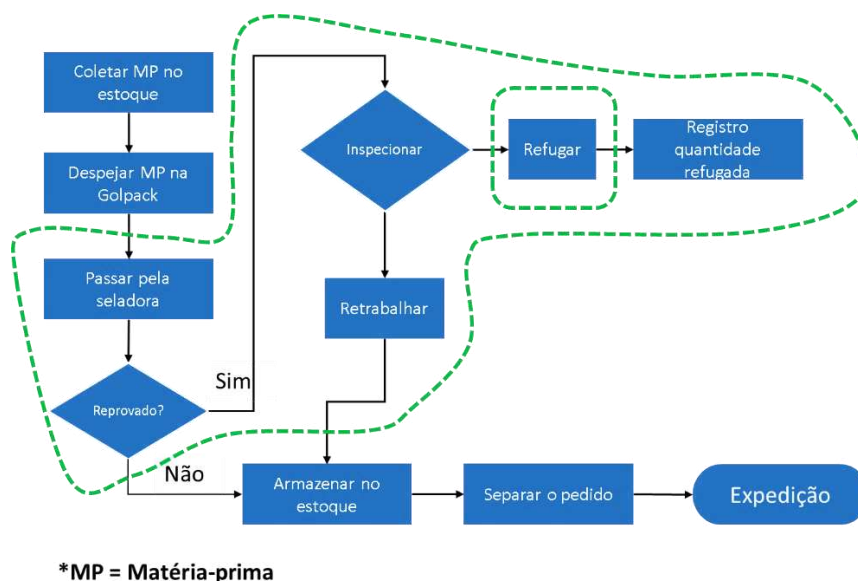
6.5 Identificação de projetos prioritários

A empresa tem a maior parte dos processos feita de forma manual. Os computadores existem, mas não foi evidenciado integrações entre sistemas ERP com a área fabril ou outros departamentos. Dois locais onde há grandes oportunidades para digitalização de processos são na produção e no gerenciamento do estoque. Daí muitas possibilidades podem surgir. Como não há automação nos processos, primeiro deve-se iniciar com a informatização e conectividade, que são etapas ainda da I3.0, estabelecendo a base para tornar possível a *IoT*. Baseado nisto, foi observada e escolhida a operação de selamento dos pacotes.

Nesta operação, a máquina realiza o processo a partir de duas fitas metálicas, sobrepostas, que são movimentadas através de polias. Estas fitas são aquecidas por condução, onde elas entram em contato com placas de latão durante sua movimentação. Dentro das placas de latão existem resistências elétricas, as quais aquecem o latão (alto condutor térmico) e assim, aquecem as fitas.

O fluxo do processo observado é apresentado na Figura 32. Os tracejados em verde são os pontos de atenção onde a proposta pode atuar de forma positiva.

Figura 32 - Fluxo do processo atual



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

No cenário atual, o operador realiza o *set-up* da máquina na temperatura de 160°C através de um botão de regulagem (por termostato). A selagem é feita guiando a embalagem até as polias e, na sequência, o pacote sai pelo final da esteira.

6.5.1 Definir investimento e tempo para o projeto

No núcleo do sistema encontra-se o microcontrolador ESP32, cuja responsabilidade primária é a coleta contínua de dados diretamente da máquina seladora. A instrumentação inclui a leitura da temperatura da resistência, realizada por um termopar tipo K com o módulo amplificador MAX6675, e a contagem de produção, efetuada por um sensor óptico reflexivo. Opcionalmente, o tempo de ciclo e o consumo energético da máquina podem ser monitorados através de um sensor de corrente não-invasivo, como o ACS712.

Uma vez coletados, os dados podem ser visualizados e processados através de duas abordagens principais. Para uma implementação de baixo custo e autônoma, o próprio ESP32 é programado para atuar como um micro servidor web (web server), hospedando um dashboard customizado acessível via navegador. Nesta configuração, o ESP32 se conecta a uma rede Wi-

Fi local — que pode ser a infraestrutura existente da planta ou, para maior flexibilidade, um *hotspot* gerado por um smartphone (5G/4G). O acesso ao dashboard é então realizado por qualquer dispositivo (computador, tablet) conectado à mesma rede, simplesmente navegando até o endereço IP atribuído ao ESP32. A segurança do acesso é garantida pelas credenciais da própria rede Wi-Fi (SSID e senha).

Para cenários que exigem maior poder de processamento, armazenamento de dados históricos e funcionalidades avançadas, o sistema é expandido com um microcomputador Raspberry Pi. Nesta arquitetura, o ESP32 envia os dados coletados para um broker *MQTT* (um protocolo de comunicação leve, padrão da Indústria 4.0) na rede local. O Raspberry Pi, por sua vez, recebe essas informações e utiliza plataformas como o Node-RED para processar, analisar e apresentar os dados em um dashboard mais elaborado e com maiores recursos.

Adicionalmente, a arquitetura com Raspberry Pi habilita a inspeção de qualidade por visão computacional, utilizando uma câmera de alta resolução para analisar a integridade da selagem dos produtos. A escolha pela câmera oficial do Raspberry Pi justifica-se por sua qualidade de imagem superior em relação a alternativas de baixo custo, sendo um fator crítico para a eficácia dos algoritmos de processamento de imagem.

As estratégias de armazenamento de dados e imagens são gerenciadas pelo Raspberry Pi. As opções incluem o armazenamento local em cartão microSD (em formatos como .csv ou em um banco de dados leve como SQLite), a integração com planilhas em nuvem como o *Google Sheets*®, ou o envio para um *HD* externo ou servidor de nuvem. A definição da capacidade de armazenamento, como um cartão inicial de 64GB, é uma decisão de projeto baseada no volume de produção e na resolução das imagens capturadas.

A inspeção pode ser feita por meio de ferramentas de inteligência artificial como Teachable Machine e TensorFlow, que analisam os produtos e classificam se estão conformes ou não. Se um produto for considerado não conforme, o Raspberry Pi envia um comando para acionar um pistão pneumático através de um relé de estado sólido, desviando automaticamente o item para uma caixa separada. Com isso, é possível não só monitorar temperatura e produção, mas também automatizar uma parte do processo, gerar indicadores como o tempo de operação e o *OEE* da máquina.

Apesar de não haver integração com um sistema *ERP* ou *MES* para receber informação automática de tempo programado para produzir, o tempo programado da máquina pode ser

definido empiricamente com base na média de ciclos em condição estável de operação, permitindo o cálculo do *OEE*.

Desta forma, essa configuração toda foi escolhida pela acessibilidade, maior facilidade no uso dos aplicativos e componentes e melhor capacidade de processamento.

O tempo para o projeto depende de quem executará o mesmo (a própria empresa ou entidades externas), portanto aqui não será detalhado o cronograma dele.

A lista de componentes básicos para o projeto é ilustrada no Quadro 10. Todos estes componentes são fáceis de encontrar em lojas físicas e *online* de eletrônicos e automação.

Quadro 10 - Lista de componentes básicos para o projeto

Etapa	Item	Custo aproximado	Descrição
Inicial (Tempo de peração + dashboard)	ESP32	R\$ 50	Microcontrolador
	Cabo USB para programar o ESP32	R\$ 10	Cabo para conectar ao PC
	Termopar tipo K + módulo MAX6675	R\$ 30	Sensor de temperatura + módulo para tratar os sinais recebidos
	Sensor reflexivo	R\$ 30	Detecta a passagem do produto
	Senso de corrente ACS712	R\$ 15	saber se a máquina/resistência está ligada, falhas, consumo
	Fonte 5V para o ESP32	R\$ 25	Alimenta os componentes eletrônicos
	Computador com Arduino IDE	R\$ 0	Empresa já possui PC
	NodeRed	Grátis	Recebe os dados via MQTT, para visualizar em dashboard
Inspeção qualidade	Raspberry Pi (Câmera)	R\$ 150	Visão computacional com Python, OpenCV ou IA
	Cartao microSD	R\$ 50	Onde vai o sistema operacional do Raspberry pi
	Fonte 5V para o Raspberry	R\$ 25	Alimenta os componentes eletrônicos
	Open CV	Grátis	Biblioteca gratuita para visão computacional
	Teachable Machine (google)	Grátis	Treinamento de IA sem programar
	TensorFlow Lite	Grátis	Biblioteca que roda o modelo treinado (instalado no raspberry via python)
	Raspberry Pi 4 (Microcomputador)	R\$ 600	Processa dados e toma decisões.
	Relé de estado sólido	R\$ 50	Controla equipamentos de tensão que o Raspberry/ESP não consegue acionar diretamente.
	Válvula solenóide pneumática	R\$ 50	Acionada pelo sinal do raspberry para acionar o cilindro pneumático
	Pistão Pneumático	R\$ 300	Separa produto não conforme
	Total	R\$ 1.385	

Fonte: Elaborador pelo Autor (2025)

Estes custos podem variar dependendo da instalação que foi feita, fabricante e localização da compra, mas serve como uma diretriz para fins de planejamento de custos.

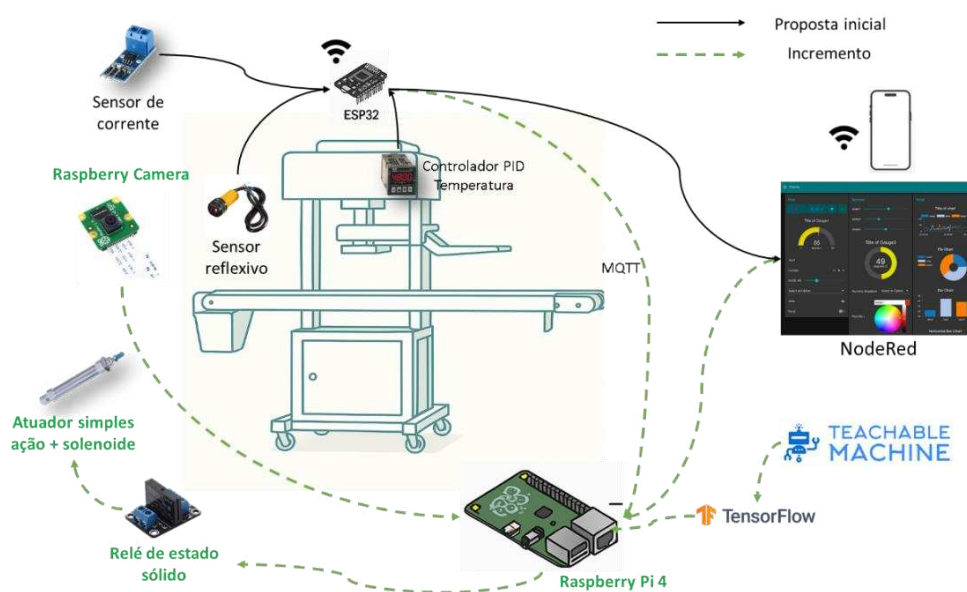
6.5.2 Definir o escopo do projeto

Nesta etapa identifica-se os entregáveis e quais são os desafios tecnológicos que são superados por meio do projeto (Cordeiro, 2022).

Primeiramente, dificuldades relativas à infraestrutura e TI (em implementação, análise de dados, capacidades e recursos tecnológicos etc.) podem ser suavizadas com projetos deste tipo, pois permitem demonstrar na prática que é possível implementar soluções tecnológicas de forma mais acessível, complexidade reduzida e alinhadas à realidade das MPEs. Projetos como este favorecem o aprendizado gradual, o desenvolvimento da cultura digital e a familiarização com conceitos da I4.0, como sensoriamento, conectividade, automação e análise de dados em monitoramento contínuo. Apesar de inicialmente a empresa necessitar de suporte para iniciar o projeto proposto, essas soluções, ao utilizarem plataformas de código aberto, componentes acessíveis e ferramentas visuais como o Node-RED, promovem autonomia técnica dentro da empresa. Também geram dados concretos que podem ser utilizados para melhorar decisões operacionais e dar os primeiros passos em direção à integração entre os sistemas, já utilizando de ferramentas da I4.0.

Por isso, a proposta foi feita (Figura 33) com componentes acessíveis e com suporte técnico abundante. É um sistema modular, simples, e que pode ser mantido com apoio externo pontual e de menor custo, comparado à sistemas mais robustos. Além disso, não há dependência crítica de um único componente, o que aumenta a resiliência. E, em uma possível fase futura de maturidade digital, a empresa pode formalizar contratos de manutenção ou buscar parcerias com profissionais locais de tecnologia.

Figura 33 - *Framework* da proposta



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

À medida que a empresa aumente seu nível de maturidade digital, é possível migrar para projetos mais robustos e mais integrados. No futuro, caso opte por evoluir com autoajuste da máquina, os dados usados das imagens de produtos não conforme, de temperatura e velocidade do selamento, por exemplo, podem ser usados em conjunto com um banco de dados e utilizar de *Big Data Analytics*, melhorando a capacidade de análise de dados e tomada de decisão.

Outro ponto positivo é que em diversos cursos técnicos e de graduação em automação, desenvolvimentos de sistemas e eletrônica, estes componentes e linguagens são amplamente utilizados para aprendizado, o que torna familiar ao profissional que vá trabalhar com o sistema proposto.

Desta forma, a proposta inicial permite:

- Coletar e visualizar dados de temperatura via *IoT*;
- Coletar e visualizar dados de tempo e status de operação da máquina via *IoT*;
- Coletar e visualizar dados de contagem de produtos via *IoT*.

A proposta incremental permite:

- Coletar dados de imagens, processá-las em modelo de IA pré-treinada e segregar produtos não conformes, através de atuador;
- Gerar indicadores (*OEE*);
- Armazenar dados para *Machine Learning* e *Analytics* que possam ser usados no futuro.

7 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A análise dos resultados seguirá da seguinte maneira: primeiro serão avaliados de forma isolada e depois de forma conjunta com *AHP*, *ISM-MICMAC* e observação.

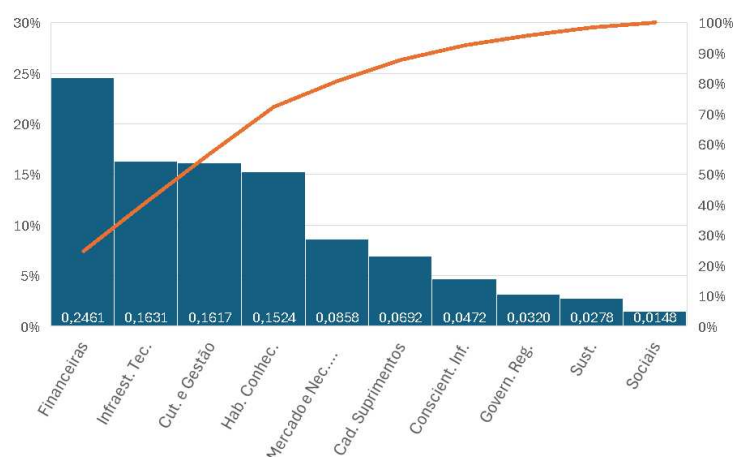
A corroboração com a literatura se dará na análise geral, de modo a unir as três ferramentas usadas para melhor descrever a realidade da empresa e comparar com o que a literatura traz, bem como estratégias de mitigação das mesmas.

7.1 *AHP*

Aqui serão apresentados e discutidos desde a comparação entre os critérios até a análise de sensibilidade da ferramenta *AHP*. Os valores informados logo abaixo, podem ser consultados no APÊNDICE B.

O ranking final das barreiras à transição para a I4.0 revela que os maiores entraves estão concentrados em quatro categorias principais: Barreiras Financeiras, de Infraestrutura e Tecnologia, Culturais e de Gestão e Habilidades e Conhecimento. Juntas, essas barreiras representam um peso de 72%, o que remete a aplicação do princípio de Pareto (Figura 34) e evidencia que o foco nessas categorias de dificuldades pode gerar um impacto significativo.

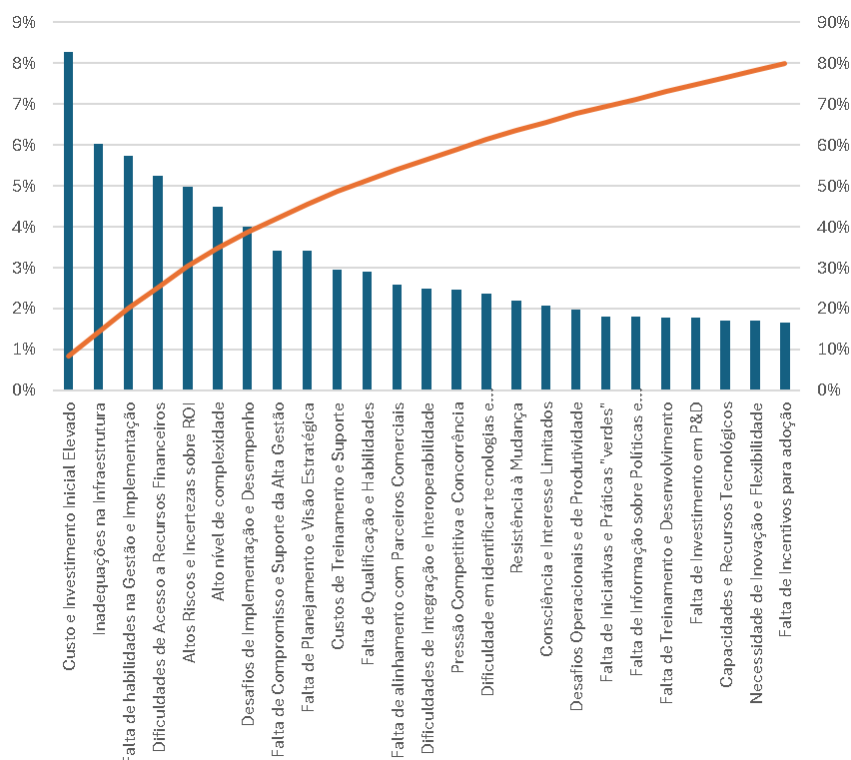
Figura 34 - Diagrama de Pareto para as categorias - *AHP*



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Realizando o mesmo procedimento, agora nas barreiras, o digrama de Pareto é apresentado na Figura 35.

Figura 35: Diagrama de Pareto para as barreiras – AHP



Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

Para este caso, das 51 barreiras, 25 geram um peso de aproximadamente 80%, sendo as 10 primeiras com quase 50% de peso. Ou seja, de acordo com este princípio, 10 dificuldades mitigadas resolveriam metade dos problemas.

As principais dificuldades são o Custo e Investimento Inicial Elevado; Inadequações na Infraestrutura; Falta de habilidades na Gestão e Implementação; Dificuldades de Acesso a Recursos Financeiros; Altos Riscos e Incertezas sobre *ROI*. É evidente que a questão financeira é uma preocupação proeminente, com quase 20% de peso com apenas 3 barreiras, alinhando-se, assim, ao resultado do *ranking* da categoria financeira.

7.2 ISM-MICMAC

Esta etapa será dividida semelhante ao *AHP*. Primeiro será analisado os resultados do *ISM*, depois do *MICMAC*.

7.2.1 ISM

No *ISM*, obteve-se uma relação hierárquica de 4 níveis (ver Figura 29). No nível mais fundamental, na base da hierarquia, estão as barreiras governamentais e regulatórias (B5). Isso sugere que as questões relacionadas a políticas públicas, regulamentações e incentivos têm um efeito cascata sobre todas as outras barreiras. Se essas barreiras não forem tratadas, as demais enfrentarão dificuldades adicionais, pois muitos desafios financeiros e tecnológicos dependem do ambiente regulatório para serem superados.

No segundo nível, a barreira financeira (B2) aparece isolada, indicando que a limitação de recursos é um fator crítico que influencia diretamente o avanço da empresa em direção à I4.0. Isso faz sentido, pois mesmo que existam avanços em infraestrutura, cultura organizacional e conhecimento, sem um suporte financeiro adequado, a implementação de novas tecnologias fica inviável. Essa posição intermediária sugere que as barreiras financeiras estão diretamente influenciadas pelas barreiras regulatórias, mas ao mesmo tempo exercem forte impacto sobre as barreiras dos níveis superiores.

O terceiro nível contém um conjunto mais amplo de barreiras, que se interrelacionam, incluindo infraestrutura e tecnologia (B1), habilidades e conhecimento (B3), culturais e de gestão (B4), conscientização e informação (B6), mercado e necessidades do cliente (B7) e sustentabilidade (B9). A presença dessas barreiras nesse nível indica que, para que a empresa avance na adoção da I4.0, é necessário resolver uma combinação de desafios técnicos, humanos e estratégicos. Ou seja, a empresa pode até dispor de financiamento (B2), mas se não houver conhecimento adequado (B3), mudanças culturais e gerenciais (B4) e uma visão clara do mercado (B7), os investimentos em tecnologia podem frustrar a transição.

Por fim, no nível mais alto, encontram-se as barreiras da cadeia de suprimentos (B8) e sociais (B10). Esse posicionamento sugere que essas barreiras são mais consequências dos

desafios dos níveis inferiores do que causas diretas de entraves à adoção da I4.0. A barreira da cadeia de suprimentos (B8) indica que a integração com fornecedores e parceiros pode ser dificultada por deficiências nas camadas anteriores, como infraestrutura inadequada, falta de capacitação ou dificuldades financeiras. Da mesma forma, as barreiras sociais (B10), que podem envolver aspectos como impacto nas condições de trabalho e aceitação das mudanças pela sociedade, surgem como resultado de dificuldades em regulamentação, cultura organizacional e acesso à tecnologia.

Por fim, a aparente sobreposição conceitual entre as barreiras de "Sustentabilidade" (B9) e "Sociais" (B10) e suas diferentes posições na hierarquia ISM merece um esclarecimento. Para esta pesquisa, a categorização não se baseou no tripé da sustentabilidade (ambiental, social e econômico) de forma unificada, mas sim no agrupamento indutivo das barreiras específicas levantadas na Revisão Sistemática da Literatura (conforme detalhado no Quadro 6).

Neste contexto, a categoria "Sustentabilidade" (B9) foi definida para abarcar especificamente os desafios ligados à dimensão ambiental (como a "Falta de Iniciativas e Práticas verdes") e à viabilidade do modelo de negócio a longo prazo (representada pelas "Dúvidas sobre a sustentabilidade da I4.0"). Por sua vez, a categoria "Sociais" (B10) foi delimitada para tratar exclusivamente do impacto direto sobre as pessoas e a força de trabalho, incluindo o "Medo de desemprego" e os "Impactos na Saúde Mental".

Com essa distinção, a posição das barreiras na análise ISM torna-se coerente: a empresa percebe os desafios à continuidade do seu negócio e às práticas ambientais (B9) como questões mais estruturais e influentes (terceiro nível), enquanto os impactos diretos nos colaboradores (B10) são vistos como uma consequência mais dependente (último nível) das decisões tecnológicas e gerenciais tomadas nos níveis anteriores.

7.2.2 MICMAC

A análise *MICMAC* revelou a estrutura de influência das barreiras enfrentadas pelas MPEs na adoção da I4.0, destacando a interdependência entre elas e identificando quais possuem maior capacidade de impulsionar mudanças e quais são mais afetadas pelas demais (Ver Figura 30). A barreira governamental e regulatória (B5) apresentou o maior poder de condução e o menor poder de dependência, o que indica que ela atua como um fator estruturante

dentro do sistema. As dificuldades impostas por regulamentações complexas, falta de incentivos fiscais e incertezas jurídicas tornam essa barreira um obstáculo fundamental, que, se resolvido, pode destravar avanços em diversas outras frentes.

A barreira financeira (B2) também se mostrou altamente influente, com um poder de condução elevado e baixa dependência, reforçando sua posição como um dos principais entraves à modernização. A dificuldade de acesso a crédito, o alto custo de implementação de novas tecnologias e a incerteza sobre o retorno dos investimentos fazem com que essa barreira limite a capacidade de superação de diversos outros desafios. Sem recursos financeiros adequados, torna-se inviável investir em infraestrutura, capacitação e mudanças organizacionais, tornando essa barreira um elemento crítico no sistema.

Por outro lado, barreiras como infraestrutura e tecnologia (B1) e mercado e necessidades do cliente (B7) possuem um equilíbrio entre poder de condução e dependência, o que as torna tanto influenciadoras quanto influenciadas por outras barreiras. Isso indica que, embora não sejam os fatores primários que impulsionam mudanças, elas estão no centro da dinâmica de adoção da I4.0 e precisam ser trabalhadas de forma conjunta para garantir avanços estruturais. A falta de infraestrutura tecnológica adequada pode limitar a adoção de novas práticas, enquanto a ausência de demanda clara do mercado pode tornar investimentos em inovação menos atrativos para as empresas.

Já as barreiras relacionadas a habilidades e conhecimento (B3), cultura organizacional e gestão (B4), conscientização e informação (B6) e sustentabilidade (B9) apresentaram um alto poder de dependência e uma influência considerável sobre o sistema. Isso significa que elas são fortemente afetadas por outras barreiras, mas, ao mesmo tempo, desempenham um papel crucial no sucesso da transformação digital. A falta de profissionais qualificados, a resistência a mudanças e a ausência de uma cultura de inovação são desafios que dependem de melhorias estruturais, mas que, uma vez superados, podem acelerar significativamente a adoção da I4.0.

Por fim, as barreiras da cadeia de suprimentos (B8) e sociais (B10) se destacam por seu alto grau de dependência e baixo poder de condução, indicando que são as mais reativas dentro do sistema. Problemas na cadeia de suprimentos, como dificuldade em obter insumos tecnológicos e falta de integração entre fornecedores, são amplificados por desafios financeiros e regulatórios. Da mesma forma, as barreiras sociais, como impactos no emprego e aceitação das novas tecnologias, só poderão ser mitigadas à medida que os demais desafios forem

resolvidos. Isso demonstra que, embora sejam barreiras relevantes, sua solução depende diretamente do avanço em outras áreas.

Dessa forma, o *MICMAC* evidencia que a superação das barreiras da I4.0 nas MPes deve seguir uma abordagem estratégica, atacando primeiramente os fatores mais influentes para que seus impactos positivos se propaguem pelo sistema. Resolver questões regulatórias e financeiras se mostra essencial para desbloquear o avanço das demais barreiras, permitindo que melhorias estruturais, culturais e organizacionais possam ocorrer de forma sustentável e eficaz.

7.3 Observação Direta

A observação direta permitiu compreender com mais clareza as limitações operacionais da Empresa Beta e como elas se relacionam com as barreiras. Foi possível perceber uma forte dependência de processos manuais em atividades como fracionamento de produtos, definição de rotas de entrega, etiquetagem e controle de estoque. Esses processos consomem tempo e exigem esforço constante da equipe, como no caso do proprietário, que realiza o controle de estoque por meio de verificação visual e atualizações manuais, um procedimento que consome cerca de uma hora diária. As máquinas presentes na fábrica são bastante simples, com comandos básicos de setup e acionamento, e não oferecem recursos automatizados ou de monitoramento em monitoramento contínuo. Além disso, embora a empresa possua um sistema ERP, seu uso é limitado a funções básicas, como emissão de pedidos, o que sugere uma subutilização da ferramenta, possivelmente por falta de capacitação, resistência cultural ou inadequação do sistema.

No aspecto financeiro, não foi possível acessar diretamente os dados da empresa, mas foram identificados indícios de limitação de recursos, como a sobreposição de funções entre os colaboradores e o proprietário, a ausência de investimentos em máquinas mais modernas e a reutilização de materiais, como caixas de papelão de tamanhos variados. Embora essa prática contribua com a sustentabilidade, ela também reflete uma tentativa de conter custos e, ao mesmo tempo, gera ineficiências logísticas e de armazenamento, devido à falta de padronização nas embalagens. A ausência de integração automatizada entre os setores de produção e estoque compromete o fluxo de informações e aumenta os riscos operacionais, como falhas no abastecimento.

A análise também evidenciou uma carência de familiaridade da equipe com tecnologias digitais e de automação, o que limita a adoção de soluções mais modernas e impacta negativamente as habilidades organizacionais. A ausência de um sistema centralizado de dados e a falta de estratégias claras de digitalização reforçam a ideia de que a empresa ainda está em um estágio inicial em termos de maturidade digital. Isso pode estar associado a uma resistência cultural à mudança, já que os colaboradores parecem habituados a métodos tradicionais de trabalho, o que representa uma barreira de gestão e cultura organizacional. Por outro lado, não foram identificadas barreiras sociais evidentes, como medo do desemprego ou impactos à saúde mental, provavelmente porque o nível de automação ainda é muito baixo e não gera ameaças percebidas pelos trabalhadores.

Esse cenário revela um conjunto de barreiras interrelacionadas – financeiras, tecnológicas, culturais e de infraestrutura – que dificultam a transição da empresa para práticas alinhadas à I4.0, comprometendo sua eficiência, competitividade e capacidade digitalização.

7.4 Análise geral

A análise combinada dos resultados do *AHP*, do *ISM-MICMAC* e das observações permite a triangulação dos dados e a construção de um diagnóstico holístico das barreiras à I4.0 na Empresa Beta. Enquanto cada método oferece uma perspectiva única, é na intersecção de seus resultados que a real complexidade do desafio das pequenas empresas se revela.

O *AHP*, consolidado na análise de Pareto (Figura 3), aponta para o epicentro do problema. Este resultado quantitativo do *AHP* ecoa diretamente as observações qualitativas realizadas na empresa, onde as limitações de recursos são evidentes na ausência de maquinário moderno e na contenção de custos.

Contudo, a análise de Pareto revela o pilar humano-gerencial. Embora as barreiras financeiras e de infraestrutura ocupem o topo, um conjunto de dificuldades ligadas à gestão e ao conhecimento emergem. Barreiras como "Falta de habilidades na Gestão e Implementação" (#3), "Alto nível de complexidade" (#6), "Falta de Compromisso e Suporte da Alta Gestão" (#8) e "Falta de Planejamento e Visão Estratégica" (#9) estão todas entre as mais críticas. Este achado se conecta diretamente com a observação de uma gestão centralizada no proprietário e com um forte foco nas operações do dia a dia em detrimento do planejamento estratégico. Fica

claro que o desafio da Empresa Beta não é apenas a falta de dinheiro ou de máquinas, mas também um déficit de capacitação estratégica na liderança.

É neste ponto que a análise *ISM-MICMAC* adiciona uma camada de profundidade. O *AHP* sugere que o impacto das barreiras é mais "sentido" pela empresa no dia a dia. Já o *ISM-MICMAC* revela a percepção sobre a influência e a dependência (as causas raízes). A análise estrutural apontou as barreiras Governamentais e Regulatórias (B5) como as principais "condutoras" do sistema. Isso mostra que a empresa sente os efeitos (as barreiras financeiras e de infraestrutura, que estão no topo do Pareto), enquanto a causa raiz percebida (a falta de políticas de incentivo e suporte governamental) permanece como um pano de fundo que perpetua o ciclo de dificuldades.

Em síntese, a triangulação dos dados retrata uma empresa enfrentando: (1) barreiras financeiras e de infraestrutura de grande impacto, que tornam qualquer investimento um desafio considerável (conforme *AHP* e observação); (2) um déficit de capacitação estratégica e gerencial que dificulta o planejamento e a execução de qualquer mudança, mesmo que os recursos existissem (conforme *AHP* e observação); e (3) tudo isso inserido em um ecossistema onde a falta de suporte governamental é percebida como a causa fundamental que trava o avanço (conforme *ISM-MICMAC*).

Esta análise integrada direciona para que as soluções para as MPEs devem ser, necessariamente, multifacetadas, atacando tanto os sintomas de alto impacto quanto as causas de alta influência. Portanto, os projetos prioritários devem suportar na superação delas, visto que a barreira governamental, apesar de ser julgada como a causa raiz de todas as outras dificuldades, está fora do alcance direto da mesma. Sendo assim, projetos de menor custo, que suportem a empresa na forma de operar, seja ganhando tempo operacional, digitalizando e/ou automatizando quaisquer fluxos de trabalho pode dar um fôlego para sua operação e gerar bons frutos nos curto e médio prazos.

Sendo assim, a identificação e a compreensão dos obstáculos mais críticos não constituem um fim, mas sim a base para a elaboração de soluções realistas e direcionadas.

Dessa forma, a seção a seguir se debruça sobre estes desafios principais, apresentando um conjunto de estratégias para a mitigação das barreiras priorizadas, com o objetivo de traduzir o diagnóstico. Essas estratégias podem ser usadas pela própria empresa para tomada de decisão e também por outras entidades, sejam governamentais ou não, que estão inseridas neste contexto e tenham participação neste ecossistema.

8 CONCLUSÃO

Diante da lacuna da escassez de estudo no Brasil para entender as dificuldades que pequenos negócios enfrentam para a transição à I4.0, este trabalho propõe e aplica uma sistematização metodológica para identificar e analisar as barreiras a essa transformação, servindo como uma ferramenta de apoio à tomada de decisão.

O percurso metodológico para a construção desta sistematização partiu de uma Revisão Sistemática da Literatura, que permitiu gerar um panorama consolidado de 51 barreiras distintas, sintetizadas e categorizadas no Quadro 6. A complexidade e a diversidade destes fatores evidenciaram a necessidade de uma abordagem que fosse além da simples listagem, exigindo a seleção de métodos complementares: o *AHP*, o *ISM-MICMAC* e a observação direta, materializando a sistematização proposta.

O *AHP* permitiu priorizar as dificuldades que a empresa enfrenta e o *ISM-MICMAC*, ferramenta bastante visual, permitiu avaliar de forma estrutural as dificuldades, sendo ambos através de seus próprios julgamentos. Por fim, a observação direta da empresa complementou os achados, fornecendo informações sobre a realidade operacional da empresa. A convergência entre os resultados quantitativos e qualitativos reforçou a necessidade de estratégias adaptadas à realidade das pequenas empresas, considerando suas limitações financeiras, culturais e estruturais. Além disso, por haver barreiras externas à empresa, o interesse em tomar ciência das dificuldades que pequenos negócios possuem também deve ser endereçado à outras partes interessadas ao negócio, como clientes, fornecedores, governo e academia.

A etapa do *AHP* demonstrou que apenas quatro categorias — Financeiras (24,6%), Infraestrutura e Tecnologia (16,3%), Culturais e de Gestão (16,2%) e Habilidades e Conhecimento (15,2%) — somam 72,3% do peso total das barreiras. No nível específico, o epicentro do problema reside em três pontos críticos: o "Custo e Investimento Inicial Elevado", as "Inadequações na Infraestrutura" e a "Falta de habilidades na Gestão e Implementação". A dominância da dimensão financeira é inequívoca, com três das cinco principais barreiras pertencendo a esta categoria. Estes achados quantitativos foram diretamente corroborados pelas evidências da observação direta, que apontaram para um ambiente com limitações de recursos, processos manuais e um déficit estratégico.

Na análise estrutural com o *ISM-MICMAC*, evidenciou-se que estes desafios sentidos no dia a dia da operação, são um efeito de causas ligadas a barreiras Governamentais e Regulatórias, que, embora com menor peso no *ranking* de impacto do *AHP*, atuam como os principais fatores condutores do sistema. Desta forma, conclui-se que o cerne do desafio para a MPE estudada não reside em um único ponto, mas em uma interconexão de fatores de impacto imediato (financeiros e operacionais) e de influência estrutural (governamentais e regulatórios).

Com esses resultados foi possível direcionar um projeto mais alinhado às dificuldades julgadas pela empresa somadas a observação realizada. Além da proposta de um projeto visando o aspecto financeiro, as estratégias para mitigação das mesmas foram extraídas da literatura para suportar na tomada de decisão. Um exemplo disto é a barreira governamental percebida pela empresa que pode ser atenuada pelas opções que o Brasil tem de projetos e subsídios que suportam a digitalização com menor custo e suporte de profissionais.

Visto a falta de conhecimento e tempo, os pequenos negócios podem não conhecer os métodos em profundidade e aplicá-los, principalmente pelo processamento matemático. Portanto, o suporte de partes externas se faz necessário, podendo ser de pesquisadores, estudantes ou entidades de consultoria.

Dessa forma, este trabalho contribui para a literatura ao apresentar uma proposta de sistematização para identificar e tratar barreiras, que pode ser replicada em outras empresas para auxiliar no processo decisório. Além disso, não foram evidenciados trabalhos com esta abordagem no Brasil, o que reforça a originalidade e relevância do estudo ao investigar as dificuldades percebidas por uma pequena empresa brasileira com relação à I4.0.

8.1 Limitações

É fundamental reconhecer as fronteiras e as limitações inerentes a este estudo para contextualizar adequadamente seus resultados e contribuições. As principais limitações podem ser categorizadas em aspectos de escopo e generalização, e em aspectos metodológicos.

Primeiramente, no que tange à generalização dos resultados, a principal limitação reside na escolha de uma única empresa para a aplicação do método. Esta abordagem, característica de um estudo de caso, permitiu uma análise profunda e detalhada do fenômeno em um contexto real, mas impede que os resultados sejam generalizados estatisticamente para outras empresas,

mesmo que inseridas no mesmo setor ou região. A percepção de prioridade das barreiras é, portanto, específica da realidade da "Empresa Beta". Essa limitação é amplificada pelo fato de que o contexto da I4.0 no Brasil ainda se encontra em fase inicial de desenvolvimento. Conforme apontam Pirola, Cimini e Pinto (2020), essa condição dificulta a construção de um panorama exaustivo sobre o tema, tornando os estudos atuais, incluindo este, inerentemente exploratórios.

Adicionalmente, o trabalho teve uma delimitação de escopo deliberada. O tema da sustentabilidade, embora relevante e amplamente discutido na literatura, não foi o foco da análise, que se concentrou nas barreiras de natureza operacional, gerencial e financeira.

Do ponto de vista metodológico, a Revisão Sistemática da Literatura, embora criteriosa, foi realizada com base em duas das principais bases de dados científicas (*Scopus®* e *Web of Science™*), o que pode ter limitado o alcance de publicações relevantes disponíveis em outras plataformas. Da mesma forma, na etapa empírica, a coleta de dados se concentrou na aplicação de questionários (*AHP* e *ISM-MICMAC*) e na observação direta. Não foram utilizados levantamentos documentais internos da empresa ou entrevistas formais com os colaboradores, fontes que poderiam ter enriquecido ainda mais a análise e permitido uma triangulação de dados mais ampla.

Por fim, como a metodologia adotada depende da coleta de percepções, há o risco inerente de viés subjetivo por parte do respondente. Conforme apontado por Masood e Sonntag (2020), é possível que indivíduos que já implementaram tecnologias apresentem uma percepção inflacionada dos benefícios, ou, ao contrário, subestimem-nos devido a experiências negativas ou falta de conhecimento. Esse tipo de viés é inerente a estudos baseados em opinião e pode gerar distorções entre a realidade operacional e a percepção dos participantes, o que deve ser considerado na interpretação dos resultados.

8.2 Sugestões de Próximos Estudos

A superação das limitações inerentes a este estudo, notadamente a restrição da aplicação em um caso único, delineia uma agenda de pesquisa futura com duas vertentes principais e complementares.

A primeira vertente consiste na validação quantitativa e na busca pela generalização do modelo de barreiras consolidado no Quadro 6. Tal objetivo demandaria um estudo de natureza quantitativa, como um levantamento de campo junto a uma amostra estatisticamente robusta de MPEs brasileiras. A aplicação da Modelagem de Equações Estruturais (SEM) permitiria aprofundar a análise das relações causais entre elas e gerar um modelo generalizável para o cenário nacional.

A segunda vertente de pesquisa seria valorizar e aprofundar o quadro teórico proposto. Visto as particularidades das MPEs, isso pode ser realizado por meio de estudos de caso comparativos entre diferentes setores industriais, que investigariam as nuances e a relevância contextual das barreiras, considerando aspectos regionais e culturais específicos. Adicionalmente, uma abordagem de pesquisa longitudinal poderia ser adotada para acompanhar a implementação das propostas em uma ou mais empresas ao longo do tempo. Isso permitiria verificar como a organização se comporta utilizando as novas tecnologias e se as barreiras de fato diminuem ou se transformam, superando o caráter transversal do presente estudo.

ADAMIK, A.. SMEs on the Way to the Smart World of Industry 4.0. **Eurasian Studies In Business And Economics**, [S.L.], p. 139-156, 2020. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-35051-2_10.

ADMAS, W. S.; MUNAYE, Y. Y.; DIRO, A. A.. Cyber security: state of the art, challenges and future directions. **Cyber Security And Applications**, [S.L.], v. 2, p. 100031, 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.csa.2023.100031>.

AGARWAL, A.; OJHA, R.. Prioritising the determinants of Industry-4.0 for implementation in MSME in the post-pandemic period – a quality function deployment analysis. **The Tqm Journal**, [S.L.], v. 35, n. 8, p. 2181-2202, 30 nov. 2022. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/tqm-06-2022-0204>.

AHMAD, M.; TANG, X.-W.; QIU, J.-N.; AHMAD, F.. Interpretive Structural Modeling and MICMAC Analysis for Identifying and Benchmarking Significant Factors of Seismic Soil Liquefaction. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 9, n. 2, p. 233, 10 jan. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app9020233>.

ALI, Z.; BHASKAR, S.. Basic statistical tools in research and data analysis. **Indian Journal Of Anaesthesia**, [S.L.], v. 60, n. 9, p. 662-669, 2016. Medknow. <http://dx.doi.org/10.4103/0019-5049.190623>. [

ALIMOHAMMADLOU, M.; ALINEJAD, S.. Challenges of blockchain implementation in SMEs' supply chains: an integrated it2f-bwm and it2f-DEMATEL method. **Electronic Commerce Research**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 907-949, 18 abr. 2023. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10660-023-09696-3>.

ALIMOHAMMADLOU, M.; SHARIFIAN, S.. Industry 4.0 implementation challenges in small- and medium-sized enterprises: an approach integrating interval type-2 fuzzy BMW and DEMATEL. **Soft Computing**, [S.L.], v. 27, n. 1, p. 169-186, 7 nov. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00500-022-07569-9>.

ALLIAN, A. P.; SCHNICKE, F.; ANTONINO, P. O.; ROMBACH, D.; NAKAGAWA, E. Y.. Architecture Drivers for Trustworthy Interoperability in Industry 4.0. **Ieee Systems Journal**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 5454-5463, dez. 2021. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/jsyst.2020.3041259>.

ALQAM, H.; SAQIB, M.. An Exploratory Study and Impact of Fourth Industrial Revolution (4IR) on SMEs in the Middle East. **International Journal Of Integrated Engineering**, [S.L.], v. 12, n. 7, p. 121-127, out. 2020. Unpublished. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.25880.01282>.

AMARAL, A.; JORGE, D.; PEÇAS, P.. Small Medium Enterprises and Industry 4.0: current models' ineptitude and the proposal of a methodology to successfully implement industry 4.0 in small medium enterprises. In: 8th Manufacturing Engineering Society International Conference, 8., 2019, Madrid. **Proceeding**. [S.I.]: [S.I.], 2019. p. 1103-1110.

AMARAL, A.; PEÇAS, P.. SMEs and Industry 4.0: two case studies of digitalization for a smoother integration. **Computers In Industry**, [S.L.], v. 125, p. 103333, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2020.103333>.

AMIN, D.; MAHOMED, A. Sb; AZIZ, Y. B A.; HASHIM, H. B. Examining the impact of visual presentations and online reviews on hotel booking intentions. **Tourism And Hospitality Research**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 402-417, 6 jun. 2021. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/14673584211021900>.

ANATAN, L.; NUR. Micro, Small, and Medium Enterprises' Readiness for Digital Transformation in Indonesia. **Economies**, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 156, 26 maio 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/economies11060156>.

ANCILLO, A. L.; GAVRILA, S. G.; DÍEZ, J. R. F. C.; BESELER, J. C.. LATAM and Spanish SME barriers to Industry 4.0. **Academia Revista Latinoamericana de Administración**, [S.L.], v. 35, n. 2, p. 204-222, 7 dez. 2021. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/arla-07-2021-0137>.

ANGROSINO, M. **Doing ethnographic and observational research**. [s.l.] SAGE, 2007. v. 3.

ANICESKI, T. A.; MIRANDA, L. T. P.; CANCEGLIERI JUNIOR, O.; BENITEZ, G. B.. The Four Smarts of Industry 4.0 and barriers for technology deployment: a toe perspective. **Computers & Industrial Engineering**, [S.L.], v. 193, p. 110345, jul. 2024. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2024.110345>.

ASCÚA, R. A.. Industry 4.0 in manufacturing SMEs of Argentina and Brazil. **Journal Of The International Council For Small Business**, [S.L.], p. 1-20, 29 abr. 2021. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/26437015.2021.1899773>.

ASTM. **Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies**, 2013. Disponível em: <<https://www.astm.org/f2792-12.html>>. Acesso em: 5 ago. 2023

ATIEH, A. M.; COOKE, K. O.; OSIYEVSKYY, O.. The role of intelligent manufacturing systems in the implementation of Industry 4.0 by small and medium enterprises in developing countries. **Engineering Reports**, [S.L.], v. 5, n. 3, p. 1-21, 13 out. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/eng2.12578>.

ATTRI, R.; DEV, N.; SHARMA, V. **Interpretive Structural Modelling (ISM) approach: An Overview Research Journal of Management Sciences**. [s.l]: v. 2. n. 2, p. 3-8, Fev. 2013. Disponível em: <https://www.isca.in/IJMS/Archive/v2/i2/2.ISCA-RJMS-2012-054.php>

AZEMI, E.; MOIN, A.; PRAGADA, A.; CHUN LU, J. H.; POWELL, V. M.; MINXHA, J.; HOTELLING, S. P. **Biosignal sensing device using dynamic selection of electrodes** US Apple Inc., , 20 jul. 2023. Disponível em: <<https://ppubs.uspto.gov/pubwebapp/static/pages/ppubsbasic.html>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

AZMAN, N. A.; AHMAD, N. Technological capability in industry 4.0: A literature review for small and medium manufacturers challenges. **Journal of CRITICAL Reviews**, v. 7, n. 8, p. 1429–1438, 2020.

BARREIRA. In: Michaelis. Dicionário Michaelis de Português. São Paulo: Michaelis, 2025. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/barreira/>. Acesso em: 30 mar. 2025.

BARROS, G. **Herbert A. Simon e o conceito de racionalidade: Limites e procedimentos**. 2007. Pré-print, hal-03018353. Disponível em: <https://hal.science/hal-03018353v1>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BELLA, D.; KATSINIS, L.; LAGÜERA-GONZÁLEZ, A. **SME Performance Review 2022/2023**. Brussels. 2023.

BENCSIK, A. Challenges of Management in the Digital Economy. **International Journal Of Technology**, [S.L.], v. 11, n. 6, p. 1275, 5 dez. 2020. International Journal of Technology. <http://dx.doi.org/10.14716/ijtech.v11i6.4461>.

BIAGIO, L. A.; BATOCCHIO, A.. **Plano de negócios: estratégia para micro e pequenas empresas**. Barueri: Manole, 2005. 365 p.

BIKSE, V.; GRINEVICA, L.; RIVZA, B.; RIVZA, P.. Consequences and Challenges of the Fourth Industrial Revolution and the Impact on the Development of Employability Skills. **Sustainability**, [S.L.], v. 14, n. 12, p. 6970, 7 jun. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su14126970>.

BRANS, J. P.; VINCKE, Ph.. Note—A Preference Ranking Organisation Method. **Management Science**, [S.L.], v. 31, n. 6, p. 647-656, jun. 1985. Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS). <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.31.6.647>.

BRASIL. BNDES.

2025a. <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-credito-pequenas-e-medias-empresas>. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-credito-pequenas-e-medias-empresas>. Acesso em: 08 maio 2025a.

BRASIL. FAPESP. . **Sobre o PIPE**. 2025b. Disponível em: <https://fapesp.br/pipe/>. Acesso em: 8 maio 2025.

BRASIL. FINEP. . **Finep Inovacred 4.0**. 2025c. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/inovacred4-0>. Acesso em: 8 maio 2025.

BRASIL. Ministério da Economia. **Mais de 1,3 milhão de empresas são criadas no país em quatro meses**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2022/julho/mais-de-1-3-milhao-de-empresas-sao-criadas-no-pais-em-quatro-meses#:~:text=As%20micro%20e%20pequenas%20empresas,de%20acordo%20com%20o%20documento>. Acesso em: 09 jan. 2023.

BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. **Prioridade: neoindustrialização, trabalho, emprego e renda: PPA 2024–2027**. Brasília: SEPLAN/MPO, 2024. 253 p. Disponível em: <https://www.gov.br/planejamento>. Acesso em: 17 abr. 2025.

CAZERI, G. T.; SANTA-EULÁLIA, L. A.; SERAFIM, M. P. ; ANHOLON, R.. literature review and directions for future research. **Brazilian Journal Of Operations & Production Management**, [S.L.], v. 19, n. 3, p. 1-19, 8 abr. 2022. Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO. <http://dx.doi.org/10.14488/bjopm.2022.007>.

CENTRAL STATISTICAL OFFICE. **Business in Ireland 2020**. Disponível em: <https://www.cso.ie/en/releasesandpublications/ep/p-bii/businessinireland2020/smallandmediumenterprises/>. Acesso em: 18 jul. 2023.

CHEN, B.; WAN, J.; SHU, L.; LI, P.; MUKHERJEE, M.; YIN, B.. Smart Factory of Industry 4.0: key technologies, application case, and challenges. **Ieee Access**, [S.L.], v. 6, p. 6505-6519, 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2017.2783682>.

CHEN, Z.-S.; LU, J.-Y.; WANG, X.-J.; PEDRYCZ, W.. Identifying Digital Transformation Barriers in Small and Medium-Sized Construction Enterprises: a multi-criteria perspective. **Journal Of The Knowledge Economy**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 15959-15995, 17 jan. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13132-023-01680-4>.

CHOI, Y.-H.; CHOI, S.-H. Comparative Study of Crossing the Chasm in Applying Smart Factory System for SMES. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)**, v. 8, n. 2, p. 1017–1024, jun. 2019.

CHONSAWAT, N.; SOPADANG, A.. Defining SMEs' 4.0 Readiness Indicators. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 10, n. 24, p. 8998, 16 dez. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app10248998>.

CHONSAWAT, N.; SOPADANG, A.; OUZROUT, Y. Decision-Making Methods for Selecting the best Strategy for Industry 4.0. **International Journal of Manufacturing Technology and Management**, v. 37, n. 5/6, p. 538-562, 2023. Disponível em: <https://hal.science/hal-03934623v1>. Acesso em: 14 jan. 2025.

CHURSCIAK, C. B. **Framework Conceitual para Aplicação do Lean Healthcare Considerando Fatores Humanos**. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 1 mar. 2021.

CIRERA, X.; COMIN, D.; CRUZ, M.. **Bridging the Technological Divide**: technology adoption by firms in developing countries. Washington: World Bank, 2022. 50 p.

CLARIVATE ANALYTICS. Web of Science Core Collection [recurso eletrônico]. Disponível em: <https://www.webofscience.com>. Acesso em: 18 abr. 2024.

CNI (Brasil). **Indústria 4.0:** segmentos ou nichos com maior potencial para o desenvolvimento tecnológico nacional. Segmentos ou nichos com maior potencial para o desenvolvimento tecnológico nacional. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/transformacaodigital/arquivo-camara-industria/iniciativas/ci_nt_nicho_tec_nac.pdf. Acesso em: 11 abr. 2025.

COBO, M.J.; LÓPEZ-HERRERA, A.G.; HERRERA-VIEDMA, E.; HERRERA, F.. SciMAT: a new science mapping analysis software tool. **Journal Of The American Society For Information Science And Technology**, [S.L.], v. 63, n. 8, p. 1609-1630, 2 jul. 2012. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/asi.22688>.

CONTADOR, J. C.; SATYRO, W. C.; CONTADOR, J. L.; SPINOLA, M. M.. Flexibility in the Brazilian Industry 4.0: challenges and opportunities. **Global Journal Of Flexible Systems Management**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 15-31, 18 maio 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40171-020-00240-y>.

CORDEIRO, G. A.. **Proposta de método para implantação de projetos de transformação digital.** 2022. 241 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022.

COTUCA. **Técnico em Manufatura Avançada e I4.0.** Disponível em: <<https://cotuca.unicamp.br/cotuca/tecnico-em-manufatura-avancada-e-industria-4-0/>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

CRESWELL, J. W.; CRESWELL BÁEZ, J.. Chapter 14: Conducting a Good Observation. In: CRESWELL, John W.; CRESWELL BÁEZ, Johanna. 30 essential skills for the qualitative researcher. 2. ed. Los Angeles: SAGE Publications, 2020.

CULOT, G.; ORZES, G.; SARTOR, M.; NASSIMBENI, G.. The future of manufacturing: a Delphi-based scenario analysis on industry 4.0. **Technological Forecasting And Social Change**, [S.L.], v. 157, p. 120092, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120092>.

DE VRIES, M. S.; KROUKAMP, H. Decision-making skills in the fourth industrial revolution. **Teaching Public Administration**, v. 41, n. 3, p. 389-407, 2023.

GIUDICE, M.; SCUOTTO, V.; PAPA, A.; TARBA, S. Y.; BRESCIANI, S.; WARKENTIN, M.. A Self-Tuning Model for Smart Manufacturing SMEs: effects on digital innovation. **Journal Of Product Innovation Management**, [S.L.], v. 38, n. 1, p. 68-89, jan. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/jpim.12560>.

DIFICULDADE. In: MICHAELIS. Dicionário Michaelis de Português. São Paulo: Michaelis, 2025. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/dificuldade/>. Acesso em: 30 mar. 2025.

DUDA, T.; RAGHAVAN, L. Venkat. 3D Metal Printing Technology. **Ifac-Papersonline**, [S.L.], v. 49, n. 29, p. 103-110, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.111>.

ELHUSSEINY, H. M.; CRISPIM, J.. SMEs, Barriers and Opportunities on adopting Industry 4.0: a review.. **Procedia Computer Science**, [S.L.], v. 196, p. 864-871, 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.086>.

ELO, S.; KYNGÄS, H.. The qualitative content analysis process. **Journal Of Advanced Nursing**, [S.L.], v. 62, n. 1, p. 107-115, 18 mar. 2008. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2648.2007.04569.x>.

ELSEVIER B.V. *Scopus* [recurso eletrônico]. Disponível em: <https://www.Scopus.com>. Acesso em: 17 jul. 2024.

ELSEVIER B.V. *Scopus* [recurso eletrônico]. Disponível em: <https://www.Scopus.com>. Acesso em: 22 mar. 2025.

EMBRAPII (Brasil). **Embrapii e Sebrae abrem chamada para projetos de inovação**. 2024. Disponível em: <https://embrapii.org.br/embrapii-e-sebrae-abrem-chamada-para-projetos-de-inovacao/>. Acesso em: 8 maio 2025.

EUA. NASA. **What is Artificial Intelligence?**. 2024. Disponível em: <https://www.nasa.gov/what-is-artificial-intelligence/>. Acesso em: 11 abr. 2025.

EUROPEAN UNION. **SMALL AND MEDIUM-SIZED ENTERPRISES (SMES)**. Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/web/structural-business-statistics/information-on-data/small-and-medium-sized-enterprises#:~:text=Small%20and%20medium%2D-sized%20enterprises%20\(SMEs\)%20are%20often%20referred,employing%20less%20than%20250%20persons.>](https://ec.europa.eu/eurostat/web/structural-business-statistics/information-on-data/small-and-medium-sized-enterprises#:~:text=Small%20and%20medium%2D-sized%20enterprises%20(SMEs)%20are%20often%20referred,employing%20less%20than%20250%20persons.>). Acesso em: 17 jul. 2023.

EUROSTAT. **Population change - Demographic balance and crude rates at national level**. Disponível em: https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/demo_gind/default/bar?lang=en. Acesso em: 14 ago. 2023.

EUROSTAT. **Total general government expenditure on “education”, 2021 (% of GDP)**. Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Total_general_government_expenditure_on_%27education%27_2021_\(%25_of_GDP\).png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Total_general_government_expenditure_on_%27education%27_2021_(%25_of_GDP).png). Acesso em: 14 ago. 2023.

FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA. **Gestão estratégica da qualidade ênfase em I4.0**. Disponível em: <https://extensao.feq.unicamp.br/cursos-longa-duracao/gestao-estrategica-da-qualidade-enfase-em-qualidade/#1637771726908-4c1a8933-8d81>. Acesso em: 18 jul. 2023.

FERNADO, Y.; WAHYUNI-T.D., I. S.; GUI, A.; IKHSAN, R. B.; MERGERESA, F.; GANESAN, Y.. A mixed-method study on the barriers of industry 4.0 adoption in the Indonesian SMEs manufacturing supply chains. **Journal Of Science And Technology Policy Management**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 678-695, 29 mar. 2022. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/jstpm-10-2021-0155>.

FOSTER, R. N. **Innovation: The attacker's advantage**. New York: Summit Books, 1986.

FRANK, A. G.; DALENOGARE, L. S.; AYALA, N. F.. Industry 4.0 technologies: implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal Of Production Economics**, [S.L.], v. 210, p. 15-26, abr. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004>.

GIL., Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. Barueri: Atlas, 2022.

GOEL, P.; KUMAR, R.; BANGA, .H. K.; KAUR, S.; KUMAR, R.; PIMENOV, F. Y.; GIASIN, K.. Deployment of Interpretive Structural Modeling in Barriers to Industry 4.0: a case of small and medium enterprises. **Journal Of Risk And Financial Management**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 171, 7 abr. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/jrfm15040171>.

GONG, Q.; CHEN, G.; ZHANG, W.; WANG, H.. The role of humans in flexible smart factories. **International Journal Of Production Economics**, [S.L.], v. 254, p. 108639, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108639>.

GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Fórum discute práticas de ensino para I4.0**. Disponível em: <<https://www.cps.sp.gov.br/forum-discute-praticas-de-ensino-para-industria-4-0/>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

GRUFMAN, N.; LYONS, S.; SNEIDERS, E.. Exploring Readiness of SMEs for Industry 4.0. **Complex Systems Informatics And Modeling Quarterly**, [S.L.], n. 25, p. 54-86, 30 dez. 2020. Riga Technical University. <http://dx.doi.org/10.7250/csimq.2020-25.04>.

GUNASEKARAN, K. *et al.* Smart Decision-Making and Communication Strategy in Industrial Internet of Things. **IEEE Access**, v. 11, p. 28222-28235, 2023.

GUPTA, S.; JAGTAP, S.. Unlocking digital growth: overcoming barriers to digital transformation for Indian food smes. **Discover Food**, [S.L.], v. 4, n. 1, p. 1-14, 11 jul. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s44187-024-00131-6>.

HAIR JUNIOR, J. F.; SARSTEDT, M.; HOPKINS, L.; KUPPELWIESER, V. G.. Partial least squares structural equation modeling (*PLS-SEM*). **European Business Review**, [S.L.], v. 26, n. 2, p. 106-121, 4 mar. 2014. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/eb-10-2013-0128>.

HARPUTLUGIL, T.; PRINS, M.; GÜLTEKIN, A. T.; TOPCU, I. Conceptual framework for potential implementations of multi criteria decision making (*MDCM*) methods for design quality assessment. **Management and Innovation for a Sustainable Built Environment**, jun. 2011.

HASEEB, M.; HUSSAIN, H. I.; ŚLUSARCZYK, B.; JERMSITTIPARSERT, K.. Industry 4.0: a solution towards technology challenges of sustainable business performance. **Social Sciences**, [S.L.], v. 8, n. 5, p. 154, 16 maio 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/socsci8050154>.

HIRSCH, J. E.. An index to quantify an individual's scientific research output. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 102, n. 46, p. 16569-16572, 7 nov. 2005. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0507655102>.

HIRSCHI, Andreas. The Fourth Industrial Revolution: issues and implications for career research and practice. **The Career Development Quarterly**, [S.L.], v. 66, n. 3, p. 192-204, set. 2018. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/cdq.12142>.

HWANG, C.-L.; YOON, K.. Methods for Multiple Attribute Decision Making. **Lecture Notes In Economics And Mathematical Systems**, [S.L.], p. 58-191, 1981. Springer Berlin Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3.

IBGE. **Censo 2022**. Disponível em: <<https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

INGALDI, M.; ULEWICZ, R.. Problems with the Implementation of Industry 4.0 in Enterprises from the SME Sector. **Sustainability**, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 217, 26 dez. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12010217>.

JAYASHREE, S.; REZA, M. N. H.; MALARVIZHI, C. A. N.; MOHIUDDIN, M.. Industry 4.0 implementation and Triple Bottom Line sustainability: an empirical study on small and medium manufacturing firms. **Heliyon**, [S.L.], v. 7, n. 8, p. 1-14, ago. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07753>.

JERMAN, A.; BACH, M. P.; BERTONCELJ, A.. A Bibliometric and Topic Analysis on Future Competences at Smart Factories. **Machines**, [S.L.], v. 6, n. 3, p. 41, 16 set. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/machines6030041>.

JUHÁSZ, L.. Overview of industry 4.0 tools for cost-benefit analysis. **Journal Of Region, Economy And Society**, Budapeste, v. 6, p. 51-70, abr. 2018. Disponível em: https://tge.sze.hu/images/dokumentumok/Kötetek%20összes%20cikkek/2018.%20évfolyam%204.%20szám_Cikkek/11_Juhász_2018_04.pdf.pdf. Acesso em: 8 maio 2025.

HENNING KAGERMANN (Alemanha). **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**: final report of the industrie 4.0 working group. Frankfurt: Acatech, 2013.

KAZANTSEV, N.; PISHCHULOV, G.; MEHANDJIEV, N.; SAMPAIO, P.; ZOLKIEWSKI, J.. Investigating barriers to demand-driven SME collaboration in low-volume high-variability manufacturing. **Supply Chain Management: An International Journal**, [S.L.], v. 27, n. 2, p. 265-282, 8 fev. 2022. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/scm-10-2021-0486>.

KEE, D. M. H; CORDOVA, M.; KHIN, S.. The key enablers of SMEs readiness in Industry 4.0: a case of Malaysia. **International Journal Of Emerging Markets**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 1042-1062, 12 jun. 2023. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/ijoem-08-2021-1291>.

KHANZODE, A. G.; SARMA, P.R.s.; MANGLA, S. K.; YUAN, H.. Modeling the Industry 4.0 adoption for sustainable production in Micro, Small & Medium Enterprises. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 279, p. 123489, jan. 2021a. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123489>.

KHAYYAM, H.; JAMALI, A.; BAB-HADIASHAR, A.; ESCH, T.; RAMAKRISHNA, S.; JALILI, M.; NAEBE, M.. A Novel Hybrid Machine Learning Algorithm for Limited and Big Data Modeling With Application in Industry 4.0. **Ieee Access**, [S.L.], v. 8, p. 111381-111393, 2020. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2020.2999898>.

KIPPER, L. M.; IEPSSEN, S.; FORNO, A. J.; FROZZA, R.; FURSTENAU, L.; AGNES, KJ.; COSSUL, D.. Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. **Technology In Society**, [S.L.], v. 64, p. 101454, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101454>.

KLÜNDER, T; DÖRSELN, J. N.; STEVEN, M.. Procurement 4.0: how the digital disruption supports cost-reduction in procurement. **Production**, [S.L.], v. 29, p. 1-11, 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.20180104>

KO, M.; KIM, C.; LEE, S.; CHO, Y.. An Assessment of Smart Factories in Korea: an exploratory empirical investigation. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 10, n. 21, p. 7486, 25 out. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app10217486>.

KOH, L.; ORZES, G.; JIA, F. (J.). The fourth industrial revolution (Industry 4.0): technologies disruption on operations and supply chain management. **International Journal Of Operations & Production Management**, [S.L.], v. 39, n. 6/7/8, p. 817-828, 2 dez. 2019. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/ijopm-08-2019-788>.

KPMG. **I4.0 no Brasil: cenário e perspectivas**. Cenário e Perspectivas. 2022. Disponível em: <https://home.kpmg/br/pt/home/insights/2021/07/industria-4-0.html>. Acesso em: 13 nov. 2022.

KRAJČÍK, V. The readiness of Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) for the digitalization of industry: evidence from the Czech Republic. **Acta Montanistica Slovaca**, [S.L.], n. 26, p. 761-772, 23 fev. 2022. Technical University of Kosice - Faculty of Mining, Ecology, Process Control and Geotechnology. <http://dx.doi.org/10.46544/ams.v26i4.13>.

KUMAR, G.; BAKSHI, A.; KHANDELWAL, A.; PANCHAL, A.; SONI, U.. Analyzing Industry 4.0 Implementation Barriers in Indian SMEs. **Journal Of Industrial Integration And Management**, [S.L.], v. 07, n. 01, p. 153-169, 26 fev. 2021. World Scientific Pub Co Pte Ltd. <http://dx.doi.org/10.1142/s2424862221500020>.

KUMAR, R.; DUTTA, G.; PHANDEN, R. K.. Digitalization Adoption Barriers in the Context of Sustainability and Operational Excellence: implications for smes. **Engineering Management Journal**, [S.L.], p. 1-17, 11 jul. 2024. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10429247.2024.2372519>.

KUMAR, R.; SINDHWANI, R.; SINGH, P. L. *IIoT* implementation challenges: analysis and mitigation by blockchain. **Journal Of Global Operations And Strategic Sourcing**, [S.L.], v. 15, n. 3, p. 363-379, 1 nov. 2021. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/jgoss-08-2021-0056>.

KUMAR, R.; SINGH, R. Kr.; DWIVEDI, Y. K... Application of industry 4.0 technologies in SMEs for ethical and sustainable operations: analysis of challenges. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 275, p. 124063, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124063>.

KUMAR, S.; RAUT, R. D.; AKTAS, E.; NARKHEDE, B. E.; GEDAM, V. V.. Barriers to adoption of industry 4.0 and sustainability: a case study with smes. **International Journal Of Computer Integrated Manufacturing**, [S.L.], v. 36, n. 5, p. 657-677, 11 out. 2022. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/0951192x.2022.2128217>.

LEEDS UNIVERSITY BUSINESS SCHOOL. **Socio-technical systems theory**. Disponível em: <<https://business.leeds.ac.uk/research-stc/doc/socio-technical-systems-theory>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

LI, B.; ZHAO, Z.; GUAN, Y.; AI, N.; DONG, X.; WU, B.. Task Placement Across Multiple Public Clouds With Deadline Constraints for Smart Factory. **Ieee Access**, [S.L.], v. 6, p. 1560-1564, 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2017.2779462>.

LI, Ling. China's manufacturing locus in 2025: with a comparison of .:made-in-China 2025 and industry 4.0:: **Technological Forecasting And Social Change**, [S.L.], v. 135, p. 66-74, out. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2017.05.028>.

LI, S.; PENG, G. C.; XING, F.. Barriers of embedding big data solutions in smart factories: insights from sap consultants. **Industrial Management & Data Systems**, [S.L.], v. 119, n. 5, p. 1147-1164, 10 jun. 2019. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/imds-11-2018-0532>.

LIMA JUNIOR, F. R.; CARPINETTI, L. C. R.. Uma comparação entre os métodos TOPSIS e Fuzzy-TOPSIS no apoio à tomada de decisão multicritério para seleção de fornecedores. **Gestão & Produção**, [S.L.], v. 22, n. 1, p. 17-34, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0104-530x1190>.

LOTFI, F. H.; ALLAHVIRANLOO, T.; PEDRYCZ, W.; SHAHRIARI, M.; SHARAFI, H.; GHALEHJOUGH, S. R. The Criteria Importance Through Inter-Criteria Correlation (*CRITIC*) in Uncertainty Environment. **Studies In Computational Intelligence**, [S.L.], p. 309-324, 2023. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-44742-6_13.

LUTHRA, S.; MANGLA, S. K.. Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies. **Process Safety And Environmental Protection**, [S.L.], v. 117, p. 168-179, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.018>.

MACHADO, E.; SCAVARDA, L. F.; CAIADO, R. G. G.; THOMÉ, A. M. T.. Barriers and Enablers for the Integration of Industry 4.0 and Sustainability in Supply Chains of MSMEs. **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 21, p. 11664, 21 out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su132111664>.

MADANCHIAN, M.; TAHERDOOST, H.. A comprehensive guide to the TOPSIS method for multi-criteria decision making. **Sustainable Social Development**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-6, 2 ago. 2023. Asia Pacific Academy of Science Pte. Ltd.. <http://dx.doi.org/10.54517/ssd.v1i1.2220>.

MAHMOODZADEH, S.; SHAHRABI, J.; PARIAZAR, M.; ZAERIM M S. Project Selection by Using Fuzzy *AHP* and TOPSIS. **International Journal of Social, Behavioral, Educational, Economic, Business and Industrial Engineering**, v. 30, p. 333–338, 2007.

MAJSTOROVIĆ, V.; MITROVIĆ, R.; MIŁKOVIĆ, Ž.. Industry 4.0 in Serbia: state of development. **Serbian Journal Of Management**, [S.L.], v. 17, n. 1, p. 5-14, 2022. Centre for Evaluation in Education and Science (CEON/CEES). <http://dx.doi.org/10.5937/sjm17-36626>.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017. 360 p.

MASOOD, T.; SONNTAG, P.. Industry 4.0: adoption challenges and benefits for smes. **Computers In Industry**, [S.L.], v. 121, p. 1-26, out. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2020.103261>.

MASOUMI, M.; HOSSANI, S.; DEHGHANI, F.; MASOUMI, A. The challenges and advantages of fuzzy systems applications. [Pré-print]. 16 mai. 2020. DOI: 10.13140/RG.2.2.22310.96328.

MELO, T. M.; FUCIDJI, J. R. Racionalidade limitada e a tomada de decisão em sistemas complexos. **Revista de Economia Política**, v. 36, n. 3, p. 622-645, jul./set. 2016.

MCDERMOTT, O.; NELSON, S.; ANTONY, J.; SONY, M.. Industry 4.0 readiness in west of Ireland small and medium and micro enterprises – an exploratory study. **Quality Management Journal**, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 105-120, 21 mar. 2023. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10686967.2023.2171325>.

MDIC. **Brasil Mais Produtivo terá R\$ 1,5 bi para transformar MPEs industriais em fábricas inteligentes.** Disponível em: <<https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2023/julho/brasil-mais-produtivo-tera-r-1-5-bi-para-transformar-mpes-industriais-em-fabricas-inteligentes#:~:text=Criado%20no%20final%20do%20governo,pelo%20Sebrae%20e%20pelo%20Senai.>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

MEHRJERDI, Y. Z.. Quality function deployment and its profitability engagement: a systems thinking perspective. **International Journal Of Quality & Reliability Management**, [S.L.], v. 28, n. 9, p. 910-928, 11 out. 2011. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/02656711111172513>.

MÉTODO. In: MICHAELIS. Dicionário Michaelis de Português. São Paulo: Michaelis, 2025. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/metodo/>. Acesso em: 19 abr. 2025.

MINISTÉRIO DA ECONOMIA. **Mais de 1,3 milhão de empresas são criadas no país em quatro meses.** Disponível em: <<https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/noticias/2022/julho/mais-de-1-3-milhao-de-empresas-sao-criadas-no-pais-em-quatro-meses#:~:text=As%20micro%20e%20pequenas%20empresas,de%20acordo%20com%20o%20documento>>. Acesso em: 14 ago. 2023.

MOORE, G. A. **Crossing-The-Chasm**. Revised Edition ed. [s.l.] HarperCollins, 2001. v. 1.

MOR, N.; SOOD, H.; GOYAL, T.. An approach driven *CRITICAL* review on the use of accident prediction models for sustainable transport system. **Journal Of Discrete Mathematical Sciences And Cryptography**, [S.L.], v. 23, n. 1, p. 313-320, 2 jan. 2020. Taru Publications. <http://dx.doi.org/10.1080/09720529.2020.1721864>.

MORANDI, M. I. W. M.; CAMARGO, L. F. R.. Revisão sistemática da literatura. In: DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel P.; ANTUNES JR, José A. Valle. **Design Science research: método e pesquisa para avanço da ciência e da tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MOURA, L. R.; KOHL, H.. Maturity Assessment in Industry 4.0 – A Comparative Analysis of Brazilian and German Companies. **Emerging Science Journal**, [S.L.], v. 4, n. 5, p. 365-375, 1 out. 2020. Ital Publication. <http://dx.doi.org/10.28991/esj-2020-01237>.

MUHAMAD, M. Q. B.; MOHAMAD, S. J. A. N. S.; NOR, N. M.. Navigating the future of industry 4.0 in Malaysia: a proposed conceptual framework on smes' readiness. **International Journal Of Advanced And Applied Sciences**, [S.L.], v. 8, n. 7, p. 41-49, jul. 2021. International Journal of Advanced and Applied Sciences. <http://dx.doi.org/10.21833/ijaas.2021.07.006>.

MÜLLER, J. M.; BULIGA, O.; VOIGT, K.-I.. Fortune favors the prepared: how smes approach business model innovations in industry 4.0. **Technological Forecasting And Social Change**, [S.L.], v. 132, p. 2-17, jul. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2017.12.019>.

MÜLLER, J. M.; VOIGT, K.-I.. Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: a comparison between industry 4.0 and made in China 2025. **International Journal Of Precision Engineering And Manufacturing-Green Technology**, [S.L.], v. 5, n. 5, p. 659-670, out. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40684-018-0056-z>.

NAGY, M.; LăZĂROIU, G.; VALASKOVA, K.. Machine Intelligence and Autonomous Robotic Technologies in the Corporate Context of SMEs: deep learning and virtual simulation algorithms, cyber-physical production networks, and industry 4.0-based manufacturing systems. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 2-35, 28 jan. 2023. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app13031681>.

NAKAGAWA, E. Y.; ANTONINO, P. O.; SCHNICKE, F.; CAPILLA, R.; KUHN, T.; LIGGESMEYER, .P. Industry 4.0 reference architectures: state of the art and future trends. **Computers & Industrial Engineering**, [S.L.], v. 156, p. 1-13, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2021.107241>.

NARWANE, V. S.; RAUT, R. D.; GARDAS, B. B.; NARKHEDE, B. E.; AWASTHI, A.. Examining smart manufacturing challenges in the context of micro, small and medium enterprises. **International Journal Of Computer Integrated Manufacturing**, [S.L.], v. 35, n. 12, p. 1395-1412, 29 maio 2022. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/0951192x.2022.2078508>.

NAWROCKA, M.; MASZCZYK, A.; GOLAS, A.; DYGACZ, A.; BUDZISZ, A. 2015. The advantages and limitations of the statistical approach in scientific research. *E-methodology*, pp. 58–68. <https://doi.org/10.15503/emet2015.58.6>

NAZLABADI, E.; MAKNOON, R.; MOGHADDAM, M. R. A.; DAIGGER, G. T.. A novel *MICMAC* approach for cross impact analysis with application to urban water/wastewater management. **Expert Systems With Applications**, [S.L.], v. 230, p. 120667, nov. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120667>.

NDHLOVU, E.; DUBE, K. Challenges of Radical Technological Transition in the Restaurant Industry Within Developing Countries. **African Journal of Hospitality, Tourism and Leisure**, v. 12, n. 1, p. 156–170, 2023. <https://doi.org/10.46222/ajhtl.19770720.360>

NEWMAN, C.; EDWARDS, D.; MARTEK, I.; LAI, J.; THWALA, W. D.; RILLIE, I.. Industry 4.0 deployment in the construction industry: a bibliometric literature review and UK-based case study. **Smart And Sustainable Built Environment**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 557-580, 5 jun. 2020. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/sasbe-02-2020-0016>.

NGO, T. D.; KASHANI, A.; IMBALZANO, G.; NGUYEN, K. T.Q.; HUI, D.. Additive manufacturing (3D printing): a review of materials, methods, applications and challenges. **Composites Part B: Engineering**, [S.L.], v. 143, p. 172-196, jun. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>.

NIMAWAT, D.; GIDWANI, B. Challenges facing by manufacturing industries towards implementation of industry 4.0: an empirical research. **International Journal On Interactive Design And Manufacturing (Ijidem)**, [S.L.], v. 16, n. 4, p. 1371-1383, 21 jul. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12008-022-00961-7>.

NOGUEIRA, M. O.; ZUCOLOTO, G. F. Um pirilampo no porão: um pouco de luz nos dilemas da produtividade das pequenas empresas e da informalidade no Brasil. Brasília: *Ipea*, 2017. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8274/1/Radar_n55_micro_pequenas.pdf . Acesso em: 11 abr. 2025.

OECD; EUROSTAT. **Oslo Manual 2018: Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation**. 4th. ed. Paris: OECD, 2018.

OPRICOVIC, S.; TZENG, G.-H.. Compromise solution by *MDCM* methods: a comparative analysis of *VIKOR* and *TOPSIS*. **European Journal Of Operational Research**, [S.L.], v. 156, n. 2, p. 445-455, jul. 2004. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0377-2217\(03\)00020-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0377-2217(03)00020-1).

OSTERRIEDER, P.; BUDDE, L.; FRIEDLI, T.. The smart factory as a key construct of industry 4.0: a systematic literature review. **International Journal Of Production Economics**, [S.L.], v. 221, p. 2-16, mar. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.08.011>.

OZTEMEL, E.; GURSEV, S.. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. **Journal Of Intelligent Manufacturing**, [S.L.], v. 31, n. 1, p. 127-182, 24 jul. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10845-018-1433-8>.

PASI, B. N.; MAHAJAN, S. K.; RANE, S. B.. Development of innovation ecosystem framework for successful adoption of industry 4.0 enabling technologies in Indian manufacturing industries. **Journal Of Science And Technology Policy Management**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 154-185, 5 jul. 2021. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/jstpm-10-2020-0148>.

PAULINO, T. A.; MARIA, V.; DUTRA, R. C. **Sistema de Baixo Custo para Monitoramento de Temperatura como Complemento à Manutenção Preditiva 4.0**. Boa Vista: Ânima Educação, 2022.

PIROLA, F.; CIMINI, C.; PINTO, R.. Digital readiness assessment of Italian SMEs: a case-study research. **Journal Of Manufacturing Technology Management**, [S.L.], v. 31, n. 5, p. 1045-1083, 25 nov. 2019. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/jmtm-09-2018-0305>.

PISAR, P.; BILKOVA, D.. Controlling as a tool for SME management with an emphasis on innovations in the context of Industry 4.0. **Equilibrium. Quarterly Journal Of Economics And Economic Policy**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 763-785, 31 dez. 2019. Instytut Badan Gospodarczych / Institute of Economic Research. <http://dx.doi.org/10.24136/eq.2019.035>.

PORTAL DA INDÚSTRIA (Brasil). **Soluções para maior competitividade, saúde e segurança na indústria**. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/canais/plataforma-inovacao-para-industria/>. Acesso em: 8 maio 2025.

PRAUSE, M.. Challenges of Industry 4.0 Technology Adoption for SMEs: the case of Japan. **Sustainability**, [S.L.], v. 11, n. 20, p. 5807, 19 out. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su11205807>.

RAD, F. F. *et al.* Industry 4.0 and supply chain performance:: systematic literature review of the benefits, challenges, and *Critical* success factors of 11 core technologies. **Industrial Marketing Management**, [S.L.], v. 105, n. 1, p. 268-293, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indmarman.2022.06.009>.

RALPH, B. J.; SORGER, M.; SCHÖDINGER, B.; SCHMÖLZER, H.-J.; HARTL, K.; STOCKINGER, M. Implementation of a Six-Layer Smart Factory Architecture with Special Focus on Transdisciplinary Engineering Education. **Sensors**, [S.L.], v. 21, n. 9, p. 2944, 22 abr. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s21092944>.

RAMDHANI, A.; RAMDHANI, M. A.; AMIN, A. S.. Writing a Literature Review Research Paper: a step-by-step approach. **International Journal Of Basics And Applied Sciences**, [S.I.], v. 3, n. 1, p. 47-56, jul. 2014.

RAUCH, E.; DALLASEGA, P.; UNTERHOFER, M.. Requirements and Barriers for Introducing Smart Manufacturing in Small and Medium-Sized Enterprises. **Ieee Engineering Management Review**, [S.L.], v. 47, n. 3, p. 87-94, 1 set. 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/emr.2019.2931564>.

RAUCH, E.; VICKERY, A. R. Systematic analysis of needs and requirements for the design of smart manufacturing systems in SMEs☆. **Journal Of Computational Design And Engineering**, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 129-144, 1 abr. 2020. Oxford University Press (OUP). <http://dx.doi.org/10.1093/jcde/qwaa012>.

RAWAT, P.; YASHPAL; PUROHIT, J. K.. Evaluating and Prioritizing the Barriers of Industry 4.0 Implementation in Indian SMEs: an *ISM* approach. **Journal Of The Institution Of Engineers (India): Series C**, [S.L.], v. 105, n. 3, p. 543-560, 30 abr. 2024. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s40032-024-01042-2>.

VIJAYAN, S. S.; R, R. V. Web of Science (WoS) Indexed Library and Information Science (LIS) Journals in *Scopus*: an analysis. **Ssrn Electronic Journal**, [S.L.], p. 1-14, set. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3954318>.

RIPANI, L.; KUGLER, A.; SOLER, N.; KUGLER, M.; RODIMIRO, R. **The future of work in Latin America and the Caribbean: What is the impact of automation on employment and wages ?** 2020.

SAATY, R.W.. The analytic hierarchy process—what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, [S.L.], v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](http://dx.doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8).

SABATINI, A.; BARTOLONI, S.; GREGORI, G. L.. The supporting role of business models in the promotion of sustainable innovations in the energy sector: an explorative study in the Italian smes. **Sinergie Italian Journal Of Management**, [S.L.], v. 38, n. 3, p. 109-129, 15 jan. 2021. Fondazione CUEIM. <http://dx.doi.org/10.7433/s113.2020.07>.

SANTOS, C. H.; GABRIEL, G. T.; AMARAL, J. V. S.; MONTEVECHI, J. A. B.; QUEIROZ, J. A. Decision-making in a fast fashion company in the Industry 4.0 era: a digital twin proposal to support operational planning. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [S.L.], v. 116, n. 5-6, p. 1653-1666, 2 jul. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-021-07543-z>.

SATYRO, W. C.; ALMEIDA, C. M. V. B.; PINTO JUNIOR, M. J. A.; CONTADOR, J. C.; GIANNETTI, B. F.; LIMA, A. F.; FRAGOMENI, M. A.. Industry 4.0 implementation: the relevance of sustainability and the potential social impact in a developing country. **Journal Of Cleaner Production**, [S.L.], v. 337, p. 1-9, fev. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130456>.

SCHLEGEL, A.; LANGER, T.; PUTZ, M.. Developing and Harnessing the Potential of SMEs for Eco-efficient Flexible Production. **Procedia Manufacturing**, [S.L.], v. 9, p. 41-48, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.028>.

SCHUH, G., ANDERL, R., GAUSEMEIER J., HOMPEL, M., WAHLSTER, W. (Eds.): **Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies** (acatech STUDY), Munich: Herbert Utz Verlag 2017.

SCHUMACHER, A.; EROL, S.; SIHN, W.. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. **Procedia Cirp**, [S.L.], v. 52, p. 161-166, 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.040>.

SCHWAB, K. **The Fourth Industrial Revolution**. Switzerland: World Economic Forum, 2016.

SEBRAE (Brasil). **Empresas e universidades: uma parceria de valor**. 2022a. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/empresas-e-universidades-uma-parceria-de-valor,4abe7522eeb88510VgnVCM1000004c00210aRCRD>. Acesso em: 8 maio 2025.

SEBRAE (Brasil). Lei Geral da Micro e Pequena Empresa. 2022b. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/lei-geral-da-micro-e-pequena-empresa,46b1494aed4bd710VgnVCM100000d701210aRCRD#:~:text=Microempresa%3A%20receita%20bruta%20anual%20igual,R%24%204%2C8%20milh%C3%B5es..> Acesso em: 11 abr. 2025.

SEBRAE (Brasil). **Saiba o que o Programa Brasil Mais pode fazer pelo seu negócio**. 2023. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/saiba-o-que-o-programa-brasil-mais-pode-fazer-pelo-seu-negocio,a255ed7a8fb56810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em: 07 maio 2025.

SENAI (Brasil). **Edital de Inovação**. 2025a. Disponível em: <https://www.sp.senai.br/para-a-sua-empresa/edital-de-inovacao>. Acesso em: 8 maio 2025.

SENAI (Brasil). **Jornada de Transformação Digital**. 2025b. Disponível em: <https://jornadadigital.sp.senai.br>. Acesso em: 18 jul. 2025.

SERUMAGA-ZAKE, J. M.; POLL, J. A.. Addressing the Impact of Fourth Industrial Revolution on South African Manufacturing Small and Medium Enterprises (SMEs). **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 21, p. 1-31, 22 out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su132111703>.

SEVINÇ, A.; GÜR, S.; EREN, T.. Analysis of the Difficulties of SMEs in Industry 4.0 Applications by Analytical Hierarchy Process and Analytical Network Process. **Processes**, [S.L.], v. 6, n. 12, p. 1-16, 12 dez. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pr6120264>.

SHAHIN, M.; CHEN, F. F.; BOUZARY, H.; KRISHNAIYER, K.. Integration of Lean practices and Industry 4.0 technologies: smart manufacturing for next-generation enterprises. **The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology**, [S.L.], v. 107, n. 5-6, p. 2927-2936, mar. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s00170-020-05124-0>.

SHARMA, M.; RAUT, R. D.; SEHRAWAT, R.; ISHIZAKA, A. Digitalisation of manufacturing operations: the influential role of organisational, social, environmental, and technological impediments. **Expert Systems With Applications**, [S.L.], v. 211, p. 1-14, jan. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118501>.

SHQAIR, M. I.; ALTARAZI, S. A.. Evaluating the Status of SMEs in Jordan with Respect to Industry 4.0: a pilot study. **Logistics**, [S.L.], v. 6, n. 4, p. 1-20, 28 set. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/logistics6040069>.

SIDDAWAY, A. P.; WOOD, A. M.; HEDGES, L. V.. How to Do a Systematic Review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. **Annual Review Of Psychology**, [S.L.], v. 70, n. 1, p. 747-770, 4 jan. 2019. Annual Reviews. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803>.

SILVA, N. A.; ABREU, J. L.; KLINGENBERG, C. O.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V.; LACERDA, D. P.. Industry 4.0 and micro and small enterprises: systematic literature review and analysis. **Production & Manufacturing Research**, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 696-726, 24 set. 2022. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/21693277.2022.2124466>.

SIMON, H. A. A Behavioral Model of Rational Choice. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 69, n. 1, p. 99-118, fev. 1955.

SITTA, E. I; ARAKAWA, A. M.; CALDANA, M. L.; PERES, S. H. C. S.. A contribuição de estudos transversais na área da linguagem com enfoque em afasia. **Revista Cefac**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 1059-1066, 13 ago. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-18462010005000086>.

SITTHIDETCHTAMROUNG, N.; KHAMKANYA, A.; JEARSIRIPONGKUL, T.; PATTANAPAIROJ, S.. Gap analysis of current industrial technology towards the Industry 4.0 scheme: a case study of smes in the central region of Thailand. **Engineering And Applied Science Research**, [S.L.], v. 50, p. 26-32, 2023. Faculty of Engineering, Khon Kaen University. <http://dx.doi.org/10.14456/EASR.2023.4>.

ŚLUSARCZYK, B.; PYŁACZ, P. INDUSTRY 4.0 IN POLISH SMEs IN THE ASPECT OF INNOVATION POSSIBILITIES. **International Journal of Economics and Finance Studies**, v. 12, n. 2, p. 255–270, 2020. <http://dx.doi.org/10.34109/ijefs.202012201>

STENTOFT, J.; JENSEN, K. W.; PHILIPSEN, K.; HAUG, A. **Drivers and Barriers for Industry 4.0 Readiness and Practice: A SME Perspective with Empirical Evidence**. Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences. **Anais...**2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10125/59952>

SUNDER M., V.; PRASHAR, A.; TORTORELLA, G. L.; SREEDHARAN, V. R.. Role of Organizational Learning on Industry 4.0 Awareness and Adoption for Business Performance Improvement. **Ieee Transactions On Engineering Management**, [S.L.], v. 71, p. 4904-4917, 2024. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tem.2023.3235660>.

SURAWY-STEPNEY, N.; PROVOST, F.; BHANGU, S.; CADUFF, C.. Introduction to qualitative research methods: part 2. **Perspectives In Clinical Research**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 95-99, abr. 2023. Medknow. http://dx.doi.org/10.4103/picr.picr_37_23.

SUSHIL. Interpretive Ranking Process. **Global Journal Of Flexible Systems Management**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 1-10, out. 2009. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/bf03396567>.

SZALAVETZ, A.. Digitalisation-induced performance improvement: don't take it for granted!. **Acta Oeconomica**, [S.L.], v. 72, n. 4, p. 457-475, 12 dez. 2022. Akademiai Kiado Zrt.. <http://dx.doi.org/10.1556/032.2022.00031>.

SZELĄGOWSKI, M.; WOŹNY, J. B.. The impact of hyperautomation on business processes in SMEs. **International Journal Of Process Management And Benchmarking**, [S.L.], v. 13, n. 3, p. 384-400, 2023. Inderscience Publishers. <http://dx.doi.org/10.1504/ijpmb.2023.129646>.

TAHERDOOST, H; MADANCHIAN, M. Analytic Network Process (ANP) Method: a comprehensive review of applications, advantages, and limitations. **Journal Of Data Science And Intelligent Systems**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 12-18, 16 maio 2023. BON VIEW PUBLISHING PTE. <http://dx.doi.org/10.47852/bonviewjdsis3202885>.

TAHERDOOST, H.. Using *PROMETHEE* Method for Multi-Criteria Decision Making: applications and procedures. **Iris Journal Of Economics & Business Management**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-7, 24 maio 2023. Iris Publishers LLC. <http://dx.doi.org/10.33552/ijebm.2023.01.000502>.

TAMVADA, J. P.; NARULA, S.; AUDRETSCH, D.; PUPPALA, H.; KUMAR, A.. Adopting new technology is a distant dream? The risks of implementing Industry 4.0 in emerging economy SMEs. **Technological Forecasting And Social Change**, [S.L.], v. 185, p. 1-17, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122088>.

THAKKAR, J. J.. Decision-Making Trial and Evaluation Laboratory (DEMATEL). **Studies In Systems, Decision And Control**, [S.L.], p. 139-159, 2021. Springer Singapore. http://dx.doi.org/10.1007/978-981-33-4745-8_9.

THE WORLD BANK. **Small and Medium Enterprises (SMEs) Finance**. Disponível em: <<https://www.worldbank.org/en/topic/smefinance>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

TRAN, T.-A.; RUPPERT, T.; EIGNER, G.; ABONYI, J.. Retrofitting-Based Development of Brownfield Industry 4.0 and Industry 5.0 Solutions. **Ieee Access**, [S.L.], v. 10, p. 64348-64374, 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2022.3182491>.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal Of Management**, [S.L.], v. 14, n. 3, p. 207-222, set. 2003. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1467-8551.00375>.

TÜRKEŞ, M. C.; ONCIOIU, I.; ASLAM, H. D.; MARIN-PANTELESCU, A.; TOPOR, D. I; CăPUȘNEANU, S.. Drivers and Barriers in Using Industry 4.0: a perspective of smes in Romania. **Processes**, [S.L.], v. 7, n. 3, p. 153, 12 mar. 2019. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pr7030153>.

TURRONI, J.B. MELO, C.H.P. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção**. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção. Curso de Especialização em Engenharia de Qualidade e Produtividade. 2012. 191 p.

ULRICH, K. *et al.* Drivers of decision-making towards for digital transformation. **Review of Managerial Science**, v. 19, p. 2105-2125, 2025.

VIEIRA, S. **Como Elaborar Questionários**. Atlas S.A. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

WANG, S.; WAN, J.; IMRAN, M.; LI, Di; ZHANG, C.. Cloud-based smart manufacturing for personalized candy packing application. **The Journal Of Supercomputing**, [S.L.], v. 74, n. 9, p. 4339-4357, 16 set. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11227-016-1879-4>.

WANKHEDE, V. A.; VINODH, S.. Analysis of barriers of cyber-physical system adoption in small and medium enterprises using interpretive ranking process. **International Journal Of Quality & Reliability Management**, [S.L.], v. 39, n. 10, p. 2323-2353, 11 out. 2021. Emerald. <http://dx.doi.org/10.1108/ijqrm-06-2021-0174>.

WARFIELD, J. N.. Developing Interconnection Matrices in Structural Modeling. **Ieee Transactions On Systems, Man, And Cybernetics**, [S.L.], v. -4, n. 1, p. 81-87, 1974. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/tsmc.1974.5408524>.

WON, J. Y.; PARK, M. J.. Smart factory adoption in small and medium-sized enterprises: empirical evidence of manufacturing industry in Korea. **Technological Forecasting And Social Change**, [S.L.], v. 157, p. 1-13, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120117>.

WU, P.; CHEN, Q.; CHEN, Y.; CHEN, S.; ZOU, J.. *ISM-MICMAC* based safety risk sources analysis and control measures for underground engineering of urban rail transit projects. **Journal Of Engineering Research**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 40-50, set. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jer.2023.100076>.

XING, F.; PENG, G.; WANG, J.; LI, D.. Critical Obstacles Affecting Adoption of Industrial Big Data Solutions in Smart Factories. **Journal Of Global Information Management**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 1-21, 1 dez. 2022. IGI Global. <http://dx.doi.org/10.4018/jgim.314789>.

YEOH, W.; WANG, S.; POPOVIĆ, A.; CHOWDHURY, N. H.. A systematic synthesis of *CRITICAL* success factors for cybersecurity. **Computers & Security**, [S.L.], v. 118, p. 1-38, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cose.2022.102724>.

YIN, R. K. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. Tradução Daniel Grassi. 2. ed. Porto Alegre: ARTMED, 2001.

YIN, Y.; STECKE, K. E.; LI, D.. The evolution of production systems from Industry 2.0 through Industry 4.0. **International Journal Of Production Research**, [S.L.], v. 56, n. 1-2, p. 848-861, 24 nov. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2017.1403664>.

YOUNG, T. J.. Questionnaires and Surveys. **Research Methods In Intercultural Communication**, [S.L.], p. 163-180, 14 dez. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/9781119166283.ch11>.

ZADEH, L.A.. Fuzzy sets. **Information And Control**, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 338-353, jun. 1965. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0019-9958\(65\)90241-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0019-9958(65)90241-x).

ZHANG, W.; TIAN, X.; YU, A.. Is high-speed rail a catalyst for the fourth industrial revolution in China? Story of enhanced technology spillovers from venture capital. **Technological Forecasting And Social Change**, [S.L.], v. 161, p. 1-10, dez. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120286>.

ZHANG, Z.; LI, Z.; GAO, Y.. Consensus reaching for group decision making with multi-granular unbalanced linguistic information: a bounded confidence and minimum adjustment-based approach. **Information Fusion**, [S.L.], v. 74, p. 96-110, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.inffus.2021.04.006>.

ZIMONJIĆ, S.; DEKIĆ, M.; KASTRATOVIĆ, E. Application of *VIKOR* method in ranking the investment projects. p. 125-134, 2018.

APÊNDICE A – LISTA DE BARREIRAS ANÁLISE DE CONTEÚDO

Autores	Ano	Barreiras abordadas
Narwane <i>et al.</i> (2022)	2022	Taxa de funcionamento da máquina inconsistente com as metas de produção Ambiente dentro da linha de produção não é propício para longas horas de trabalho, resultando em fadiga dos funcionários e movimentações desnecessárias Capacidade da máquina diminui com a vida útil devido à deterioração da maquinaria Falta de plano de gestão e manutenção para a maquinaria Máquinas utilizadas na produção precisam parar em intervalos Muitos resíduos de unidades defeituosas Problemas de Eficiência de Desempenho (PP) Mão de obra inadequada nas linhas de produção causa gargalos no processo de produção Produtividade abaixo da meta Falta de tempo operacional padrão Perdas no processo de produção, como trabalho redundante dos funcionários, resultando em atrasos no trabalho Falta de monitoramento e estimativa da taxa de uso das máquinas para planejar a produção adequadamente Os funcionários cometem erros, como registrar informações incorretas na inspeção de qualidade e contagem de produtos Manutenção de registros de produção incompletos, o que impede a utilização dos dados para análises úteis.
		A necessidade de habilidades avançadas Integração de diversas tecnologias Problemas na coleta e compartilhamento de dados Falta de cultura digital Infraestruturas tecnológicas Necessidade de alto investimento Complexidade na construção de modelos de produção Insegurança de dados Estimular oportunidades de emprego Falta de equipes de gerenciamento habilitadas Resistência aos princípios Falta de transformação organizacional Falta de competição Evitar a participação Falha em adotar estratégias centradas no cliente Escassez de recursos Falta de competência na aplicação de novos modelos de negócios Falta de estratégias compatíveis com a I4.0 Falta de atividades de pesquisa e desenvolvimento compatíveis com a I4.0

		Leis e apoio governamental
		Sustentabilidade futura
		Falta de estratégias digitais e padrões uniformes
		Insuficiente conhecimento e interesse na I4.0 e seus resultados
Khanzode <i>et al.</i> (2021)	2021	Dificuldade de acesso ao crédito
		Falta de acesso ao mercado (oportunidades de marketing)
		Atualização tecnológica (dificuldade)
		Falta de Políticas Governamentais
		Segurança social dos funcionários (medo de perder emprego)
		Falta de compreensão da importância de I4.0 nos níveis gerenciais
		Segurança cibernética
Kumar <i>et al.</i> (2021)	2021	Não prontidão da mão de obra (falta de habilidades necessárias)
		Falta de estrutura organizacional flexível (C1)
		Insuficiência de fundos para a implementação do Industry 4.0 (C2)
		Falta de apoio governamental adequado (C3)
		Infraestrutura de TI inadequada (C4)
		Falta de conexões abrangentes de banda larga (C5)
		Risco de perda de informações confidenciais (C6)
		Tecnologia inacessível (C7)
		Falta de conhecimento sobre a tecnologia (C8)
		Treinamento em TI para funcionários e proprietários (C9)
		Medo de desemprego (C10)
		Aumento de doenças mentais (C11)
Goel <i>et al.</i> (2022)	2022	Risco na estimativa de lucro/perda financeira (C12)
		Pouca conscientização
		Pouco apoio gerencial
		Pouco conhecimento técnico
		Fundos insuficientes
		Falta de políticas governamentais claras
		Recursos limitados para pesquisa e desenvolvimento
		Falta de visão sólida e de longo prazo
		Pouco entusiasmo dos stakeholders
		Falta de infraestrutura baseada em TI (software e hardware)
		Pessoal não treinado e sem habilidades
		Pouca coordenação e associação entre membros da cadeia de suprimentos
		Resultando em desemprego na sociedade
		Dúvida sobre a sustentabilidade da I 4.0
Kumar, Sindhwan e Singh (2021)	2021	Falta de soluções alternativas para problemas tecnológicos
		Incerteza na demanda prevista para um produto
		Segurança de dados
		Gerenciamento eficiente de dados
		Disponibilidade de mão de obra treinada internamente
		Tecnologias analíticas de big data confiáveis e acessíveis

		Emergências de sistemas operacionais específicos para IIOT
		Confiança nos sistemas IIOT
		Colaborações entre sistemas IIOT heterogêneos
Chen <i>et al.</i> (2024)	2024	Falta de infraestrutura de TI
		Incompatibilidade entre tecnologia atual e operações de gerenciamento da empresa
		Recursos limitados para aquisição de tecnologia
		Falta de habilidades digitais e pessoal qualificado
		Resistência dos empregados
		Falta de consciência da importância estratégica da transformação digital
		Riscos altos para implementação das tecnologias emergentes e preocupações com ROI
		Incompatibilidade com pequenos projetos
		Falta de cooperação
		Falta de propriedade e proteção de dados
		Falta de padrões para as tecnologias
		Falta de sistema de garantia e intensidade de promoção na política
Agarwal e Ojha (2022)	2022	Abordagem radicalmente inovadora
		Falta de Suporte da alta gestão
		Resultados visíveis limitados
		Recursos incompatíveis
		Alto custo de transição
		Capacidade de TI
		Desafios de alinhamento com parceiros comerciais
		Fraco incentivo governamental
		Complexidades procedimentais
Fernando <i>et al.</i> (2022)	2022	Falta de clareza
		Investimentos de alto risco
		Compartilhamento inseguro de dados (cybersecurity)
		Falta de expertise
		Falta de incentivos claros
Wankhede e Vinodh (2021)	2021	Problemas de segurança ciberfísica em sistemas de manufatura
		Falta de mão de obra qualificada
		Falta de conscientização sobre SCF
		Falta de padronização de tecnologias em SCF
		Dificuldades de interligação e interoperabilidade entre várias plataformas
		Dificuldade em desenvolver a ligação em monitoramento contínuo entre a fábrica inteligente e a produção física
		Falta de robustez em relação às condições ambientais no ambiente automotivo
		Problemas de taxa de dados para suportar aplicações de alta velocidade
		Questão de confiabilidade com infraestrutura de monitoramento e atuadores
		Precisão
		Falta de aplicações de SCF com consumo mínimo de energia

		Alto custo de sensores e atuadores para desenvolver aplicações de SCF
		Dificuldades na implementação de SCF usando rede com fio
		Falta de sistemas de produção cooperativos
		Simbioses humano-máquina
		Falta de modularização e servificação de SCF
		Conversão de análises de informações e dados de SCF em informações acionáveis
		Dificuldades no design da infraestrutura de SCF
Kumar, Singh e Dwivedi (2020)	2020	Falta de conscientização sobre as contribuições da I4.0 para produção ética e sustentável
		Falta de apoio da gestão para tecnologias I4.0
		Alto custo inicial das tecnologias I4.0 para operações éticas e sustentáveis
		Falta de recursos para investimento em tecnologias I4.0
		Falta de conscientização sobre políticas governamentais para I4.0 e sustentabilidade
		Falta de recursos dedicados para pesquisa e desenvolvimento em tecnologias I4.0
		Falta de planejamento de longo prazo na adoção de tecnologias I4.0 para operações éticas e sustentáveis
		Falta de motivação por parte dos clientes/OEMs para adotar tecnologias I4.0 para operações éticas e sustentáveis
		Falta de infraestrutura baseada em TI (Software e Hardware)
		Falta de mão de obra treinada para operações sustentáveis e tecnologias I4.0
		Falta de coordenação e colaboração entre parceiros da cadeia de suprimentos
		Medo de desemprego/redução da força de trabalho
Machado <i>et al.</i> (2021)	2021	Medo de falha das tecnologias I4.0
		Falta de soluções alternativas para falhas tecnológicas
		Medo da incerteza da demanda devido a interrupções no mercado
		Falta de conhecimento técnico
		Custo de melhoria e condição econômica de OSCM
		Problemas com cibersegurança
		Resistência a mudança/práticas de gestão de mudanças e adoção de inovação para a sociedade
Kumar <i>et al.</i> (2022)	2022	Falta de investimento em P&D
		Falta de suporte de autoridades regulamentadoras/legislação insuficiente
		Falta de compromisso da alta gestão
		Recursos alternativos e necessidades energéticas
		Falta de ferramentas adequadas
		Interoperabilidade semântica
		Leis e regulamentos desatualizados e menos flexíveis
		Digitalização de processos
		Estratégia de curto prazo
		Padrões e especificações de tecnologia
		Consciência e interesse limitados

		Falta de clareza sobre a implementação
		Viabilidade cultural insuficiente
		Falta de transparência de dados
		Falta de apoio governamental
		Falta de infraestrutura de qualidade
		Escassez de especialistas qualificados
		Percepção de insegurança no emprego
		Falta de treinamento
		Falta de protocolos e padrões
		Alto custo de investimento
		Falta de privacidade, integridade, confidencialidade e confiança
		Falta de conhecimento
		Suporte da alta administração
		Falta de recursos
		Resistência dos funcionários à mudança
		Falta de integração e adoção no sistema
		Falta de sistema de equilíbrio energético
		Falta de suporte especializado
		Insuficiente sustentabilidade ambiental adequada
		Falta de infraestrutura tecnológica
		Competência e habilidades dos funcionários no mercado
		Falta de compreensão dos objetivos organizacionais
		Falta de implementação de engenharia digital
		Necessidade de atualização de hardware e software
		Custo e complexidade
		Menos serviços de fornecedores
		Falta de capacidade de integração perfeita
Sharma <i>et al.</i> (2023)	2023	Problemas de compatibilidade
		Falta de recursos
		Segurança e proteção de dados
		Falta de padrões e arquiteturas de referência
		Falta de liderança e compromisso da alta gestão
		Medo do insucesso
		Falta de visão futura
		Resistência à adoção
		Necessidade de melhoria nas habilidades
		Mudanças organizacionais e de processos
		Falta da conscientização entre as partes interessadas da cadeia de suprimentos
		Competitividade
		Incerteza do mercado
		Inflexibilidade dos fornecedores para mudarem em direção à sustentabilidade
		Falta de conscientização dos consumidores

		Falta de regras e leis governamentais
		Corte de empregos
		Falta de iniciativas "verde"
		Aspectos legais e contratuais
		Segurança de dados com necessidade de regulamentações
		Alto custo de implementação
Sevinc, Gur e Eren (2018)	2018	Inovação
		Organizacional
		Ambiental
		Custos

Fonte: Elaborado pelo Autor (2025)

APÊNDICE B – JULGAMENTOS DA EMPRESA BETA PARA O AHP

Categorias:

		IT	F	HC	CG	GR	CI	MNC	CS	S	SO
Infraestrutura e Tecnologia →	IT	1	1/2	1	1	7	5	2	3	6	8
Financeiras →	F	2	1	2	2	8	6	3	4	7	9
Habilidades e Conhecimento →	HC	1	1/2	1	1	6	4	3	3	5	7
Culturais e Gestão →	CG	1	1/2	1	1	7	5	2	3	6	8
Governamental e Regulamentação →	GR	1/7	1/8	1/6	1/7	1	1/2	1/3	1/4	3	5
Conhecimento e Informação →	CI	1/5	1/6	1/4	1/5	2	1	1/2	1/2	3	5
Mercado e Necessidades de Clientes →	MNC	1/2	1/3	1/3	1/2	3	2	1	2	4	6
Cadeia de Suprimentos →	CS	1/3	1/4	1/3	1/3	4	2	1/2	1	4	5
Sustentabilidade →	S	1/6	1/7	1/5	1/6	1/3	1/3	1/4	1/4	1	4
Sociais →	SO	1/8	1/9	1/7	1/8	1/5	1/5	1/6	1/5	1/4	1

Barreiras de Infraestrutura e Tecnologia:

	DII	II	SGD	CRT	DID	DDAD
DII	1	1/3	3	2	1/3	5
IIN	3	1	5	4	2	7
SGD	1/3	1/5	1	1/2	1/3	3
CRT	1/2	1/4	2	1	1/3	4
DID	3	1/2	3	3	1	5
DDAD	1/5	1/7	1/3	1/4	1/5	1

Barreiras Financeiras:

	CIIE	DARF	CTS	ARIROI	FIPD	NIS
CIIE	1	2	3	2	4	5
DARF	1/2	1	2	1	4	4
CTS	1/3	1/2	1	1/2	2	3
ARIROI	1/2	1	2	1	3	4
FIPD	1/4	1/4	1/2	1/3	1	2
NIS	1/5	1/4	1/3	1/4	1/2	1

Barreiras de Habilidades e Conhecimento:

	FQH	FTD	FHGI	DGEAQ	ANC
FQH	1	2	1/2	4	1/2
FTD	1/2	1	1/3	3	1/3
FHGI	2	3	1	5	2
DGEAQ	1/4	1/3	1/5	1	1/6
ANC	2	3	1/2	6	1

Barreiras Culturais e de Gestão:

	FCSAG	DCO	FPVE	DAF	FPAE	DGMD	DOP	FCC	II	RM
FCSAG	1	4	1	3	4	4	2	7	8	2
DCO	1/4	1	1/4	1	1	1	1/2	4	6	1/3
FPVE	1	4	1	3	4	4	2	7	8	2
DAF	1/3	1	1/3	1	2	2	1	5	7	1/2
FPAE	1/4	1	1/4	1/2	1	1	1/3	4	5	1/3
DGMD	1/4	1	1/4	1/2	1	1	1/3	3	5	1/3
DOP	1/2	2	1/2	1	3	3	1	6	7	1
FCC	1/7	1/4	1/7	1/5	1/4	1/3	1/6	1	3	1/6
II	1/8	1/6	1/8	1/7	1/5	1/5	1/7	1/3	1	1/7
RM	1/2	3	1/2	2	3	3	1	6	7	1

Barreiras Governamentais e Regulatórias:

	FPSG	FRL	IL	FIA
FPSG	1	3	1	1/3
FRL	1/3	1	1/2	1/4
IL	1	2	1	1/2
FIA	3	4	2	1

Barreiras de Conscientização e Informação:

	CIL	FCI	FIPS
CIL	1	3	1
FCI	1/3	1	1/2
FIPS	1	2	1

Barreiras de Mercado e Necessidades do Cliente:

	FAOM	PCC	ID	PEM	NIF	FSAPT	ESS	ITPI	ADET
FAOM	1	1/3	1	3	1/2	2	4	5	6
PCC	3	1	3	5	2	4	6	7	8
ID	1	1/3	1	3	1/2	2	5	5	6
PEM	1/3	1/5	1/3	1	1/4	1	3	3	5
NIF	2	1/2	2	4	1	3	5	6	7
FSAPT	1/2	1/4	1/2	1	1/3	1	3	4	6
ESS	1/4	1/6	1/5	1/3	1/5	1/3	1	2	3
ITPI	1/5	1/7	1/5	1/3	1/6	1/4	1/2	1	4
ADET	1/6	1/8	1/6	1/5	1/7	1/6	1/3	1/4	1

Barreiras de Cadeia de Suprimentos:

	FPSG	FRL	IL	FIA
FPSG	1	3	3	1
FRL	1/3	1	1/2	1/2
IL	1/3	2	1	1/3
FIA	1	2	3	1

Barreiras de Sustentabilidade:

	FIPV	DS
FIPV	1	2
DS	1/2	1

Barreiras Sociais:

	MD	ISM
MD	1	2
ISM	1/2	1

APÊNDICE C – PROCESSAMENTO DOS CÁLCULOS PARA O AHP

- Passo 1: Matriz de Comparação Par a Par (Matriz A)

A matriz de julgamentos (A) é obtida a partir do questionário, onde cada elemento a_{ij} representa a importância do critério i em relação ao critério j.

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

- Passo 2: Normalização da Matriz e Cálculo do Vetor de Prioridades (w)

Primeiro, soma-se cada coluna da Matriz A. Em seguida, cada elemento da Matriz A é dividido pela soma de sua respectiva coluna para gerar a Matriz Normalizada.

$$\text{Matriz A normalizada} = \begin{bmatrix} 1/2,333 & 3/6 & 1/2,5 \\ 0,333/2,333 & 1/6 & 0,5/2,5 \\ 1/2,333 & 2/6 & 1/2,5 \end{bmatrix}$$

$$\text{Matriz A normalizada} = \begin{bmatrix} 0,429 & 0,5 & 0,4 \\ 0,143 & 0,167 & 0,2 \\ 0,429 & 0,333 & 0,4 \end{bmatrix}$$

O vetor de prioridades (pesos) w é obtido calculando-se a média de cada linha da Matriz Normalizada.

$$\omega_1 = \frac{0,429 + 0,500 + 0,400}{3} = 0,443$$

$$\omega_2 = \frac{0,143 + 0,167 + 0,200}{3} = 0,170$$

$$\omega_3 = \frac{0,429 + 0,333 + 0,400}{3} = 0,387$$

$$\text{Vetor de Prioridades (w)} = [0,443; 0,170; 0,387]$$

- Passo 3: Cálculo do Lambda Máximo ($\lambda_{\max}$)

Para verificar a consistência dos julgamentos, calcula-se o autovalor principal da matriz, $\lambda_{\max}$.

Primeiro, multiplica-se a matriz original A pelo vetor de prioridades w:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,443 \\ 0,170 \\ 0,387 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,340 \\ 0,511 \\ 1,170 \end{bmatrix}$$

- Passo 4: Cálculo do Índice de Consistência (CI)

O CI mede o desvio dos julgamentos em relação à consistência perfeita.

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} = \frac{3,018 - 3}{3 - 1} = 0,009$$

- Passo 5: Cálculo da Razão de Consistência (CR)

Por fim, o CI é comparado com o Índice de Consistência Aleatório (RI), que para uma matriz de ordem n=3 é 0,58, conforme Saaty (1987).

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,009}{0,58} = 0,0155 = 1,55\%$$

Desta forma $1,55\% < 10\%$ (Saaty, 1987), a razão de consistência é aceitável.

APÊNDICE D – JULGAMENTOS DA EMPRESA BETA E PROCESSAMENTO PARA O ISM-MICMAC

Matriz SSIM:

	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1
B1	O	V	V	A	V	A	X	A	A	
B2	V	V	V	V	V	A	V	V		
B3	V	X	O	V	X	A	X			
B4	V	A	V	A	V	O				
B5	V	V	V	V	V					
B6	V	X	V	X						
B7	O	O	V							
B8	O	V								
B9	O									
B10										

Matriz de Alcance:

	MATRIZ DE ALCANCE									
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10
B1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0
B2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
B3	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
B4	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1
B5	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1
B6	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
B7	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0
B8	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
B9	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0
B10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Matriz de transitividade:

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	Força de condução
B1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	8
B2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	9
B3	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	8
B4	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	8
B5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
B6	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	8
B7	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	8
B8	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	5
B9	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	8
B10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
Força de dependência	8	2	9	9	1	9	8	9	9	9	73

Conjuntos de Alcançabilidade, Antecedente e de Intersecção:

	Reachability Set	Antecedent Set	Intersection Set	Level
B1	B1,B3,B4,B6,B7,B8,B9,B10,	B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B9,	1,3,4,6,7,9,	
B2	B1,B2,B3,B4,B6,B7,B8,B9,B10,	B2,B5,	2	
B3	B1,B3,B4,B6,B7,B8,B9,B10,	B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B9,	1,3,4,6,7,8,9,	
B4	B1,B3,B4,B6,B7,B8,B9,B10,	B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B9,	1,3,4,6,7,8,9,	
B5	B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B9,B10,	B5,	5	
B6	B1,B3,B4,B6,B7,B8,B9,B10,	B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B9,	1,3,4,6,7,8,9,	
B7	B1,B3,B4,B6,B7,B8,B9,B10,	B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B9,	1,3,4,6,7,9,	
B8	B3,B4,B6,B8,B9,	B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B9,	3,4,6,8,9,	I
B9	B1,B3,B4,B6,B7,B8,B9,B10,	B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B8,B9,	1,3,4,6,7,8,9,	
B10	B10,	B1,B2,B3,B4,B5,B6,B7,B9,B10,	10,	I



	Reachability Set	Antecedent Set	Intersection Set	Level
B1	1,3,4,6,7,9,	1,2,3,4,5,6,7,9,	1,3,4,6,7,9,	II
B2	1,2,3,4,6,7,9,	2,5,	2	
B3	1,3,4,6,7,9,	1,2,3,4,5,6,7,9,	1,3,4,6,7,9,	II
B4	1,3,4,6,7,9,	1,2,3,4,5,6,7,9,	1,3,4,6,7,9,	II
B5	1,2,3,4,5,6,7,9,	5,	5	
B6	1,3,4,6,7,9,	1,2,3,4,5,6,7,9,	1,3,4,6,7,9,	II
B7	1,3,4,6,7,9,	1,2,3,4,5,6,7,9,	1,3,4,6,7,9,	II
B9	1,3,4,6,7,9,	1,2,3,4,5,6,7,9,	1,3,4,6,7,9,	II



	Reachability Set	Antecedent Set	Intersection Set	Level
B2	2	2,5,	2	III
B5	2,5,	5,	5	



	Reachability Set	Antecedent Set	Intersection Set	Level
B5	5	5,	5	IV

APÊNDICE E – DADOS DA OBSERVAÇÃO

DIA 1			
Horário	Local	Notas Descritivas	Notas Reflexivas
08:00 - 10h	Entrada	A empresa está situada na área central da cidade, em uma região de grande fluxo de pessoas e veículos, com acesso direto e sinalizado. Na vizinhança há residências e comércio, como por exemplo, venda de água potável.	
	Escritório 1	Anexado ao escritório 1 há uma cozinha.	
	Escritório 1	Espaço com mesas, 3 computadores, impressora e arquivos em pastas organizadas numa prateleira.	
	Escritório 2	Espaço pequeno, contém duas mesas, uma impressora, um computador e itens de escritório. Local limpo e organizado. Existe alguns materiais diversos na sala, com notas fiscais, como papeis higiênicos e embalagens de produtos.	
		Local de produção limpo, organizado, arejado, pintura branca em todas as paredes e com informações de operação nas máquinas. Chão demarcado com fita amarela.	O dia estava bastante quente e o local permaneceu arejado.
	Produção e Estoque	Local do estoque organizado em caixas de hortifruti, empilhadas e enfileiradas. Produtos são identificados por etiquetas e com escritos de caneta de quadro branco. Chão demarcado com fita amarela.	
		Há uma máquina seladora, robusta, mecanizada e não possui automações. Possui um controle digital de temperatura simples e botões de liga e desliga. Há cadeiras próximas à máquina e 1 bancada com balança, calculadora e caixas embaixo.	
		Há uma bancada com tesouras, papelões, etiquetas com códigos de barra e QR code, canetas, calculadora, produtos já embalados.	
	Estoque farináceos	Há vários pallets no chão, áreas demarcadas, todos os produtos com etiquetas. Existem produtos empilhados, separados por quantidades padronizadas.	
		Há folhas com registros de entrada e saídas de produtos, marcadas manualmente à caneta.	

		Há folhas na parede com informações de cores para produtos, indicando padrões visuais.	A empresa parece ser bastante organizada quanto a padrões e informações de produtos.
	Depósito	Área com vários tipos de itens, partes de peças, prateleiras com embalagens, insumos diversos	
	Pátio	Há dois veículos, um furgão maior e outro menor.	
		Proprietário trabalha em uma planilha de rota e pedidos numa planilha eletrônica. proprietário cuida do controle de estoque?	
		Proprietário conversa com colaborador D: "quais produtos estão em estoque baixo hoje".	
		Colaborador C recebe dinheiro físico e usa um software em seu computador.	
		Proprietário usa um computador.	
		Colaborador D usa esporadicamente o PC ao lado do proprietário.	Não deve ter demanda de trabalho digital para justificar a compra de um PC dedicado para este colaborador
		Proprietário gera pedidos em um software, conforme surgem em aplicativo de conversas. Imprime etiquetas usando uma impressora Zebra T420.	Software de planejamento empresarial (ERP)
10-12h	Escritório 1	Proprietário imprime uma folha e entrega ao colaborador E. Conversam sobre rota de entrega.	
		Colaborador B realiza chamadas via celular.	
		Ligação do colaborador B: "Me chama no 'aplicativo de conversas' que te mando a lista dos nossos produtos.	Aparente prospecção de novos clientes.
		Ligação do colaborador B: "Onde vocês ficam?". "Nós entregamos sim".	
		Colaborador B utiliza aplicativo de conversas, planilhas eletrônicas.	
		Colaborador B se ausenta por 2 vezes, por 10 minutos cada	
		Colaborador D para o colaborador B: "está precisando de embalagem de 250g e de 1kg e acabou papel higiênico também".	Colaborador B realiza
		Colaborador B para o colaborador A: "vou fazer o pedido, mas provavelmente chegue apenas final da semana que vem"	compras de insumos.

12:00 - 13:00	Geral	Alguns colaboradores ficam na empresa, outros saem.	Provavelmente horário para almoço., aparente flexibilidade de horários.
		Colaborador C emite notas fiscais e boletos.	O controle financeiro parece ser centralizado em uma pessoa.
		Colaborador C acessa site de venda de produtos e atende pedidos deste site.	Os pedidos também são recebidos via aplicativo de conversa e depois lançado num software de planejamento empresarial (ERP).
13:00 - 15:00	Escritório 1	Colaborador C imprime etiquetas com QR code e as entrega para o colaborador D	
		Proprietário trabalha em uma planilha eletrônica. Pergunta ao Colaborador B, que estava próximo: "chegou quanto de páprica defumada esta semana mesmo?"	Aparentemente planilha de estoque de matérias primas.
		Proprietário para colaborador C: "aquele pedido do cliente X que enviou no aplicativo de conversa ontem foi lançado no programa?"	
		Colaborador C para proprietário: "Ainda não, vou lançar daqui a pouco"	
15:00 - 17:00	Produção e Estoque	Colaborador D realiza dosagem de um produto (chimichurri). Realizou este processo por 40 minutos. Após finalizado, vai até o estoque, guarda os produtos e atualiza manualmente a quantidade com uma caneta, numa etiqueta.	Além do proprietário, o colaborador D também realiza alterações de informações de estoque. Isto pode gerar problemas de centralização de informação.
		Colaborador D realiza retrabalho de pacotes em que o selamento não ocorreu conforme e registra em folha de papel com informações de quantidade, horário, item, data. Do total de 70 pacotes, 2 foram retrabalhados.	Quão recorrente?
		Colaborador D realiza fracionamento de farináceos, utilizando uma máquina dosadora.	O processo exige bastante tempo e trabalho manual.

DIA 2			
Horário	Local	Notas Descritivas	Notas Reflexivas

08:00 - 08:20	Cozinha	Colaboradores vão à cozinha	
		Proprietário trabalha em uma planilha de rota e pedidos de cliente numa planilha eletrônica. Proprietário conversa com colaborador D sobre produtos faltantes do estoque.	Dia anterior realizou mesmo procedimento em horário similar, aparenta uma rotina de controle.
		Proprietário para colaborador D: "Atualizei os pedidos porque os clientes x e y adicionaram mais páprica pra hoje"	Aparente acompanhamento diário, no início do dia com os clientes antes de verificar a rota de entrega.
08:30 - 09:30	Escritório 1	Proprietário imprime folhas e entrega ao colaborador E. Conversam sobre rota de entrega.	Dia anterior realizou mesmo procedimento em horário similar, aparenta uma rotina. Fluxo de trabalho aparenta ser: aplicativo de mensagens (pedidos de clientes), definição da rota pelo proprietário e depois entrega a rota ao motorista.
		Proprietário fala ao telefone "meu estoque de farinha tenho até final desta semana, consegue me enviar mais 500kg até sexta que vem?"	
		Colaborador C não está na empresa até o momento.	
		Proprietário ao colaborador B: "manda uma mensagem ao colaborador C, pede pra lançar agora o malote do cliente x no sistema"	Aparentemente o colaborador C faz home office.
		Colaborador E chega ao recinto e recebe uma lista do proprietário	
09:30- 10h	Expedição	Colaborador E separa e embala pedidos, divididos em 6 pacotes de 5kg de farinha.	
		Colaborador E coloca etiquetas coloridas, que ele mesmo buscou no depósito. Ele faz marcação do tipo de farinha na etiqueta (gramatura) com caneta de quadro branco.	
		Colaborador E faz conferência do malote de dinheiro.	

10-12h	Produção	Colaborador D fraciona farináceos manualmente. Realiza selamento de 500g na máquina seladora.	O processo exige bastante tempo e trabalho manual
		Colaborador D realiza datagem de embalagens em uma datadora, a qual é operada por um pedal.	
		Proprietário para Colaborador D: "Adiciona mais 5 de 250g para o cliente x"	
11:00 - 12:00h	Estoque	Colaborador E enfarda pacotes de 5kg e separa os pedidos conforme os mesmos.	Processo 100% manual
12:00 - 13:00h	Geral	Colaboradores avisam entre si que estão saindo almoçar	
13:00 - 15:00h	Depósito/Manutenção	Colaborador B e colaborador D discutem sobre quantidade e tipos de embalagens.	
	Expedição	Colaborador B realiza inspeções na área de manutenção e faz anotações.	
		Colaborador E finaliza malote de dinheiro e organiza carregamento do furgão.	

DIA 3

Horário	Local	Notas Descritivas	Notas Reflexivas
08-08:40	Expedição	Colaborador E sai com o veículo carregado do dia anterior.	
		Colaborador E recebe do proprietário um papel e conversam entre si sobre rota de entrega e conteúdo dos pedidos.	
		Colaborador B ajuda a descarregar farinhas e condimentos do caminhão junto ao colaborador E	
08:40-10:00	Escritório 1	Colaboradores entram e vão direto à cozinha.	
		Proprietário trabalha em uma planilha de rota e pedidos de cliente numa planilha eletrônica.	
		Proprietário conversa com colaborador D sobre produtos faltantes do estoque.	
10:00-12:00	Escritório 2		Indica que este colaborador realiza
		Colaborador C realiza pagamentos de contas de água, luz etc. Acessa sites do governo, INMETRA, e-social.	atividades relativas a parte financeira da empresa, contas a pagar, receber etc. e de RH.
		Proprietário utiliza o celular por 20 minutos, sem interações.	
10:00-12:00	Escritório 2	Colaborador B emite notas fiscais, realiza entrada de notas fiscais em um software (ERP).	

		Colaborador B recebe uma empresa de controle de pragas nas dependências.
		Colaborador B trata por telefone sobre manutenção do veículo da empresa.
		Colaborador B no telefone celular: "preciso do valor de um frete pro endereço x, valor de NF y e peso z, voce pode me passar pelo aplicativo de mensagens"
	Escritório 2 e pátio	Colaborador B se ausenta e vai em direção ao recebimento.
	Pátio	Colaborador B retira embalagens do veículo e leva para a fábrica.
12:00-13:10	Geral	Colaboradores e proprietário avisam se que estão saindo almoçar
		Colaborador D realiza operação na máquina seladora de vários tipos de produto. Houve retrabalhos no final da produção. Itens foram levados para o estoque e seus devidos locais de armazenamento e foram atualizados os valores da etiqueta com caneta de quadro branco. Foram produzidos 50 pacotes de páprica com 1 retrabalho da selagem. Processo levou 2h.
13:10-16:00	Produção	Proprietário conversa com colaborador D a respeito de uma reclamação de cliente sobre pacotes que estavam rasgados/mal selados.
		Colaborador B realiza manutenção de uma resistência elétrica na seladora.
		Proprietário e colaborador B realizam em conjunto o fracionamento de farinhas na máquina dosadora 1. Já existe um programa na máquina em que dosa automaticamente a quantidade. Na sequência, é colocada na seladora. Foram enfiadas 10 unidades levando 1h para completar.

ANEXO A – APROVAÇÃO DO COMITÊ DE ÉTICA PARA O PROJETO DE PESQUISA

DETALHAR PROJETO DE PESQUISA

DADOS DA VERSÃO DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Barreiras de micro e pequenas empresas para migração à I4.0: um estudo de caso

Pesquisador Responsável: FABIO ROGERIO MUZARANHO JUNIOR

Área Temática:

Versão: 2

CAAE: 84603324.8.0000.5404

Submetido em: 02/01/2025

Instituição Proponente: Faculdade de Engenharia Mecânica

Situação da Versão do Projeto: Aprovado

Localização atual da Versão do Projeto: Pesquisador Responsável

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio



Comprovante de Recepção:  PB_COMPROVANTE_RECEPCAO_2450809

DOCUMENTOS DO PROJETO DE PESQUISA

Versão Atual Aprovada (PO) - Versão 2

Projeto Completo

LISTA DE APRECIÇÕES DO PROJETO

Apreciação *	Pesquisador Responsável *	Versão *	Submissão *	Modificação *	Situação *	Exclusiva do Centro Coord. *	Ações
PO	FABIO ROGERIO MUZARANHO JUNIOR	2	02/01/2025	26/02/2025	Aprovado	Não	   

HISTÓRICO DE TRÂMITES

Apreciação	Data/Hora	Tipo Trâmite	Versão	Perfil	Origem	Destino	Informações
PO	26/02/2025 15:17:31	Parecer liberado	2	Coordenador	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	PESQUISADOR	
PO	26/02/2025 14:04:49	Parecer do colegiado emitido	2	Coordenador	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	
PO	24/02/2025 17:25:34	Parecer do relator emitido	2	Membro do CEP	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	
PO	24/02/2025 17:10:40	Aceitação de Elaboração de Relatoria	2	Membro do CEP	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	
PO	03/02/2025 10:22:56	Confirmação de Indicação de Relatoria	2	Coordenador	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	
PO	03/02/2025 09:09:23	Indicação de Relatoria	2	Secretária	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	
PO	03/02/2025 09:09:03	Aceitação do PP	2	Secretária	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	

PO	02/01/2025 13:20:41	Submetido para avaliação do CEP	2	Pesquisador Principal	PESQUISADOR	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	
PO	11/12/2024 14:25:41	Parecer liberado	1	Coordenador	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	PESQUISADOR	
PO	11/12/2024 14:15:11	Parecer do Colegiado Editado	1	Coordenador	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP/Campus Campinas	

<<< << Ocorrência 1 a 10 de 18 registro(s) >> >>>

LEGENDA:

(*) Apreciação

PO = Projeto Original de Centro Coordenador	POp = Projeto Original de Centro Participante	POc = Projeto Original de Centro Coparticipante
E = Emenda de Centro Coordenador	Ep = Emenda de Centro Participante	Ec = Emenda de Centro Coparticipante
N = Notificação de Centro Coordenador	Np = Notificação de Centro Participante	Nc = Notificação de Centro Coparticipante

(*) Formação do CAAE

Ano de submissão do Projeto
Tipo do centro
Código do Comitê que está analisando o projeto

n n n n n n a a . d v . t x x x . l l l l l

Sequencial para todos os Projetos submetidos para apreciação

Dígito verificador

Sequencial quando estudo possui Centro(s) Participante(s) e/ou Coparticipante(s)

Voltar