

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE PROJETOS - PPGP
DOUTORADO PROFISSIONAL EM ADMINISTRAÇÃO

**PLANEJAMENTO DE PRÉ-PROJETOS DE CENTROS TECNOLÓGICOS:
PROPOSIÇÃO DO MÉTODO FRONTI4.0 – *FRONT-END PLANNING FOR
INDUSTRY 4.0 PROJECTS.***

EDICLEY VANDER MACHADO

São Paulo
2025

Edicley Vander Machado

**PLANEJAMENTO DE PRÉ-PROJETOS DE CENTROS TECNOLÓGICOS:
PROPOSIÇÃO DO MÉTODO FRONTI4.0 – *FRONT-END PLANNING FOR
INDUSTRY 4.0 PROJECTS.***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, Doutorado Profissional em Administração, como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Administração.**

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Cristiane Drebes Pedron

São Paulo
2025

Machado, Edicley Vander.

Planejamento de pré-projetos de centros tecnológicos: proposição do método FRONTI4.0 – front-end planning for industry 4.0 projects.

/ Edicley Vander Machado. 2025.

250 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Nove de Julho - UNINOVE, São Paulo, 2025.

Orientador (a): Prof^a. Dr^a. Cristiane Drebes Pedron.

1. Gestão de projetos. 2. Front-end planning. 3. Tecnologias industriais avançadas. 4. Indústria 4.0 e 5.0. 5. Difusão da inovação.

I. Pedron, Cristiane Drebes. II. Título

CDU 658.012.2



DEFESA DE TESE DE DOUTORADO

EDICLEY VANDER MACHADO

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, Doutorado Profissional em Administração, como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Administração**.

São Paulo, 09 de dezembro de 2025.

Profa. Dra. Cristiane Drebes Pedron (Orientadora)

Prof. Dr. Roque Rabechini Jr (UNINOVE)

Prof. Dr. Renato Penha (UNINOVE)

Prof. Dr. Eusébio Scornavacca (ASU - Arizona State University's)

Prof. Dr. Vagner Rogério Dos Santos (UNIFESP)

DEDICATÓRIA

Dedico esta tese à minha filha, Luísa, com o profundo desejo de que eu possa ser, um dia, um exemplo para ela. Que encontre sempre forças para superar seus próprios limites e trilhar seu caminho com coragem e propósito. Sua presença foi minha maior fonte de inspiração e motivação para conduzir e concluir este trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder energia, saúde e coragem para alcançar esta conquista, mesmo diante das exigências da rotina profissional.

À minha esposa Regiane, pelo apoio e paciência ao longo desta jornada, sem os quais não seria possível realizar o sonho de cursar o doutorado.

À nossa filha Luísa, minha fonte inesgotável de inspiração e motivação para seguir evoluindo e me aprimorando.

Aos meus pais, Nelson e Diomar, pessoas simples que, com sua sabedoria, me ensinaram a importância de fazer o bem, agir com integridade e buscar sempre o crescimento.

À Professora Doutora Cristiane Pedron, minha orientadora, cujo apoio constante e incentivo foram decisivos para a construção desta tese. Agradeço pela orientação segura e pela mentoria nos momentos mais desafiadores, com ensinamentos que ultrapassam os limites da academia.

Ao Professor Doutor Eusébio, que me acolheu no programa de Doutorado Sanduíche e contribuiu de forma essencial para a fundamentação teórica desta pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte por meio da bolsa do Programa Institucional de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE).

Aos professores que ministraram as disciplinas do doutorado com excelência, colaborando para a construção do conhecimento que sustenta este trabalho.

Aos membros das bancas de qualificação e defesa, pelo tempo dedicado à leitura, pelas análises e contribuições que enriqueceram esta pesquisa.

Ao Fundo de Apoio à Pesquisa - FAP UNINOVE pela bolsa de estudos do doutorado profissional.

À coordenação do PPGP, às Professoras Doutoras Cristina Martens e Isabel Scafuto por todo apoio acadêmico e a equipe da secretaria do PPGP, pela atenção e prontidão na resolução das demandas acadêmicas.

E, finalmente, aos colegas do PPGP/PPGA, pela convivência e pelas trocas que tornaram esta experiência ainda mais significativa.

“Ninguém ignora tudo. Ninguém sabe tudo. Todos nós sabemos alguma coisa. Todos nós ignoramos alguma coisa. Por isso aprendemos sempre.”

Paulo Freire.

RESUMO

O avanço das tecnologias de automação industrial avançadas tem desempenhado um papel central na transformação dos sistemas produtivos, especialmente no setor de manufatura. Essas tecnologias compreendem um conjunto de soluções frequentemente vinculadas às Indústrias 4.0 e 5.0, incluindo robôs colaborativos, robôs móveis autônomos, plataformas de *big data*, sensores inteligentes e sistemas conectados de automação industrial. Entretanto, barreiras como a percepção de altos custos, as incertezas quanto ao retorno dos investimentos e a resistência organizacional à mudança ainda dificultam a adoção dessas Tecnologias Industriais Avançadas (TIA). Para superar esses desafios e ampliar a disseminação das TIA, empresas provedoras dessas tecnologias têm desenvolvido iniciativas estruturadas voltadas à aceleração da adoção tecnológica, entre as quais se destacam os Centros Tecnológicos (CTs), ambientes destinados à demonstração, realização de provas de conceito e validação de soluções aplicadas à automação industrial. Diante desse contexto, esta tese busca responder à seguinte questão: como preparar empresas provedoras de tecnologias industriais avançadas para planejar pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão dessas soluções? O objetivo é propor um método para preparar empresas provedoras de TIA no planejamento de pré-projetos de CTs voltados à demonstração e difusão dessas tecnologias, visando a sua adoção. A pesquisa, de natureza aplicada e conduzida pelo método *Design Science Research*, foi desenvolvida a partir de estudos múltiplos e interligados. Como resultado, elaborou-se o artefato do tipo método *Front-End Planning for Industry 4.0 Projects* (FRONTI4.0), para o planejamento estruturado de pré-projetos de pequeno porte, relacionando as TIA aos atributos de persuasão da Teoria da Difusão da Inovação. As contribuições teóricas da tese decorrem dos quatro estudos realizados. O Estudo 1 identificou e validou barreiras à adoção das TIA em demonstrações em CTs, mostrando que o planejamento dessas demonstrações pode mitigá-las. O Estudo 2 apresentou um modelo prático para projetos de pequeno porte, reforçando o planejamento da fase inicial de projetos (*front-end planning* - FEP) como ferramenta de alinhamento estratégico. O Estudo 3 articulou a Persuasão da Teoria da Difusão da Inovação aos processos de demonstração das TIA, destacando seu papel na mitigação de barreiras e a influência do perfil dos líderes de projetos. O Estudo 4 adaptou o FEP para projetos de pequeno porte e integrou a Teoria da Difusão da Inovação ao planejamento de projetos voltados às TIA, ampliando sua aplicabilidade por gestores com diferentes níveis de experiência. Esta tese está alinhada à Linha de Pesquisa de Inovação em Gestão de Projetos do Programa de Pós-Graduação em Administração – Gestão de Projetos (PPGP) da UNINOVE.

Palavras-chave: Gestão de Projetos. *Front-end Planning*. Tecnologias Industriais Avançadas. Indústria 4.0 e 5.0. Difusão da Inovação. Atributos de Persuasão. Barreiras de Adoção.

ABSTRACT

The advancement of advanced industrial automation technologies has played a central role in transforming production systems, especially in the manufacturing sector. These technologies comprise a set of solutions frequently associated with Industry 4.0 and Industry 5.0, including collaborative robots, autonomous mobile robots, big data platforms, smart sensors, and connected industrial automation systems. However, barriers such as the perception of high costs, uncertainties regarding return on investment, and organizational resistance to change still hinder the adoption of these Advanced Industrial Technologies (AIT). To overcome these challenges and expand the dissemination of AIT, companies that provide these technologies have developed structured initiatives aimed at accelerating technological adoption, among which Technology Centers (TCs) stand out—environments dedicated to demonstration, proof-of-concept execution, and validation of solutions applied to industrial automation. Given this context, this thesis seeks to answer the following question: How can companies that provide advanced industrial technologies be prepared to plan preliminary projects for Technology Centers aimed at demonstrating and disseminating these solutions? The objective is to propose a method to prepare AIT-providing companies in the planning of TC preliminary projects focused on the demonstration and dissemination of these technologies, fostering their adoption. This applied research, conducted using the Design Science Research method, was developed through multiple interconnected studies. As a result, an artifact in the form of the Front-End Planning for Industry 4.0 Projects (FRONTI4.0) method was developed to support the structured planning of small-scale preliminary projects, linking AIT to the persuasion attributes of the Diffusion of Innovation Theory. The theoretical contributions of the thesis stem from the four studies conducted. Study 1 identified and validated barriers to AIT adoption in TC demonstrations, showing that planning such demonstrations can mitigate them. Study 2 presented a practical model for small-scale projects, reinforcing the importance of front-end planning (FEP) as a tool for strategic alignment. Study 3 articulated the persuasion constructs of the Diffusion of Innovation Theory with AIT demonstration processes, highlighting their role in mitigating barriers and the influence of project leaders' profiles. Study 4 adapted FEP to small-scale projects and integrated the Diffusion of Innovation Theory into project planning focused on AIT, broadening its applicability for managers with varying levels of experience. This thesis is aligned with the Research Line on Innovation in Project Management of the Graduate Program in Administration – Project Management (PPGP) at UNINOVE.

Keywords: Project Management. Front-End Planning. Advanced Industrial Technologies. Industry 4.0 and 5.0. Innovation Diffusion. Persuasion Attributes. Adoption Barriers.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. PROBLEMA DE PESQUISA	20
1.2. OBJETIVOS	21
1.3. JUSTIFICATIVA DA TESE	21
1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	23
1.5. DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	28
2. ESTUDO 1 – GESTÃO DE BARREIRAS DE ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS INDUSTRIAIS AVANÇADAS: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO EM UM CENTRO TECNOLÓGICO	29
2.1. INTRODUÇÃO	29
2.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	30
2.2.1. Indústria 4.0	31
2.2.2. Barreiras de adoção das tecnologias industriais avançadas	32
2.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	41
2.3.1. Revisão de literatura	42
2.3.2. Grupo focal	43
2.3.3. Planejamento das oficinas	44
2.3.4. Condução das oficinas	45
2.3.5. Avaliação dos resultados	46
2.4. RESULTADOS	47
2.4.1. Grupo focal	47
2.4.2. Oficinas da Indústria 4.0	52
2.4.2.1. Oficina A – Robôs Colaborativos	53
2.4.2.2. Oficina B – IoT e Conectividade	53
2.4.2.3. Oficina C – Sala de Integração de dados	54
2.4.3. Avaliação dos participantes das oficinas	56
2.4.4. Avaliação dos engenheiros que conduziram as oficinas	58
2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
2.5.1. Contribuições	62
2.5.2. Limitações e estudos futuros	62
3. ESTUDO 2 – FRAMEWORK PARA PLANEJAMENTO DE FRONT-END PROJETO PEQUENO PORTE	63
3.1. INTRODUÇÃO	63
3.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	66
3.2.1. Planejamento de <i>front-end</i> de projetos	66
3.2.2. Processo de <i>front-end loading</i> (FEL)	71
3.2.3. Atividades e entregáveis das fases do FEL	74
3.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	81
3.4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	84
3.4.1. Resultados das entrevistas com os praticantes	87
3.4.2. Resultados das entrevistas com os especialistas	88
3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
3.5.1. Contribuições	91
3.5.2. Limitações e estudos futuros	91
4. ESTUDO 3 – UM OLHAR SOBRE A IMPORTÂNCIA DA PERSUASÃO NA DIFUSÃO DA INOVAÇÃO NA DISSEMINAÇÃO DAS TECNOLOGIAS INDUSTRIAIS AVANÇADAS: ESTUDOS DE CASOS DE CENTROS TECNOLÓGICOS	92

4.1. INTRODUÇÃO.....	92
4.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	93
4.2.1. Modelos de Aceitação de Tecnologias	94
4.2.1.1. <i>Theory of Reasoned Action</i>	94
4.2.1.2. <i>Technology Acceptance Model</i>	95
4.2.1.3. <i>Theory of Planned Behavior</i>	96
4.2.1.4. <i>Unified Theory of Acceptance and Use of Technology</i>	97
4.2.1.5. <i>Diffusion of Innovations Theory</i>	100
4.2.2. Persuasão no processo de decisão de inovação	103
4.2.2.1. Vantagem Relativa.....	104
4.2.2.2. Compatibilidade.....	105
4.2.2.3. Complexidade.....	105
4.2.2.4. Observabilidade.....	106
4.2.2.5. Experimentação.....	106
4.2.3. Teoria da Difusão da Inovação aplicada em tecnologias da Indústria 4.0	107
4.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	109
4.3.1. Forma da coleta de dados	110
4.3.1.1. Entrevistas	112
4.3.1.2. Observações.....	115
4.3.1.3. Documentos coletados.....	116
4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	116
4.4.1. Descrição dos estudos de caso	117
4.4.1.1. Caso de estudo 1 – Centro Tecnológico A.....	117
4.4.1.2. Caso de estudo 2 – Centro Tecnológico B.....	121
4.4.1.3. Caso de estudo 3 – Centro Tecnológico C.....	127
4.4.1.4. Caso de estudo 4 – Centro Tecnológico D.....	131
4.4.1.5. Caso de estudo 5 – Centro Tecnológico E.....	134
4.4.1.6. Caso de estudo 6 – Centro Tecnológico F.....	139
4.4.1.7. Caso de estudo 7 – Centro Tecnológico G.....	142
4.4.2. Planejamento de <i>front-end</i> dos Centros Tecnológicos	143
4.4.2.1. Planejamento de <i>front-end</i> CT-A.....	144
4.4.2.2. Planejamento de <i>front-end</i> CT-B.....	145
4.4.2.3. Planejamento de <i>front-end</i> CT-C.....	146
4.4.2.4. Planejamento de <i>front-end</i> CT-D.....	147
4.4.2.5. Planejamento de <i>front-end</i> CT-E.....	148
4.4.2.6. Planejamento de <i>front-end</i> CT-F	149
4.4.2.7. Planejamento de <i>front-end</i> CT-G.....	150
4.4.3. Interações das tecnologias da Indústria 4.0 nos Centros Tecnológicos ... 150	
4.4.3.1. Vantagem relativa.....	151
4.4.3.2. Complexidade.....	152
4.4.3.3. Compatibilidade.....	152
4.4.3.4. Observabilidade.....	153
4.4.3.5. Experimentação.....	153
4.4.3.6. Visão geral centros tecnológicos.....	154
4.5. DISCUSSÕES.....	157
4.5.1. Perfil dos líderes	157
4.5.2. Planejamento de pré-projeto	158
4.5.3. Planejamento dos atributos da persuasão	158
4.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	159

4.6.1. Contribuições.....	160
4.6.2. Limitações e estudos futuros.....	160
5. ESTUDO 4 – PROPOSIÇÃO DE MÉTODO PARA PLANEJAMENTO DE PROJETOS PARA DEMONSTRAÇÃO DE TECNOLOGIAS INDÚSTRIAS AVANÇADAS.....	162
5.1. INTRODUÇÃO.....	162
5.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	163
5.2.1. Barreiras de adoção da Industria 4.0.....	164
5.2.2. <i>Design Thinking</i> em Gestão de Projetos.....	165
5.2.3. Difusão da inovação e o papel da persuasão na adoção de tecnologias..	166
5.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	168
5.3.1. Coleta de dados.....	170
5.4. DESCRIÇÃO DO ARTEFATO FRONTI4.0.....	171
5.4.1. Fase 1 – Desenvolvimento do plano de negócios.....	172
5.4.2. Fase 2 – Desenvolvimento do escopo.....	176
5.4.3. Fase 3 – Projeto de Engenharia.....	180
5.5. INSTANCIAÇÃO DO ARTEFATO.....	181
5.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	185
5.6.1. Grupo Focal Exploratório.....	185
5.6.2. Entrevistas.....	188
5.6.3. Compilação dos resultados.....	190
5.7. ADOÇÃO E CONTRIBUIÇÕES DO PRODUTO TÉCNICO-TECNOLÓGICO - PROCESSO NÃO PATENTEÁVEL: <i>FRONT-END PLANNING FOR INDUSTRY 4.0 PROJECTS</i> (FRONTI4.0)	192
5.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	193
5.8.1. Contribuições.....	194
5.8.2. Limitações e estudos futuros.....	195
6. CONCLUSÕES.....	196
6.1. UMA VISÃO CRÍTICA SOBRE O CONTEXTO INTERNACIONAL DO ESTUDO.....	197
6.2. MATRIZ CONTRIBUTIVA DE AMARRAÇÃO.....	199
6.3. CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS.....	204
6.4. CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS.....	205
6.5. LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	206
6.6. PESQUISAS FUTURAS.....	206
REFERÊNCIAS.....	207
APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO ENTREVISTADOS ESTUDO 1.....	231
APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO ENTREVISTADOS ESTUDO 2.....	232
APÊNDICE C - INFORMED CONSENT FORM FOR INTERVIEW PARTICIPANTS ENTREVISTAS ESTUDO 3.....	233
APÊNDICE D - DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO GRUPO FOCAL ESTUDO 4.....	234
APÊNDICE E – RELATÓRIOS DAS FASES 1, 2 E 3 GERADOS NO FRONTI4.0..	235
APÊNDICE F – PROMPT GERADO VIA FRONTI4.0 PARA IA GERATIVA.....	240
APÊNDICE G – SIMULAÇÃO DO MAPA DA PERSUASÃO GERADO COM AUXÍLIO DE IA GENERATIVA.....	242

LISTA ABREVIATURAS E SIGLAS

AMR – *Autonomous Mobile Robot*
ATC – *Automation Technology Center*
B2B – *Business-to-Business*
CAPES – *Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior*
CII – *Construction Industry Institute*
CIT – *Centro de Inovação e Tecnologia*
COBOT – *Collaborative robot*
CT – *Centro Tecnológico*
DoI – *Diffusion of Innovations Theory*
DSR – *Design Science Research*
DT – *Design Thinking*
EPTIA – *Empresas Provedoras de Tecnologias Industriais Avançadas*
ESG – *Environmental, social, and governance*
FEL – *Front-end loading*
FEP – *Front end planning*
FRONTI4.0 – *Front-End Planning for Industry 4.0 Projects*
I4.0 – *Indústria 4.0*
IA – *Inteligência Artificial*
IIoT – *Industrial Internet of Things*
IoT – *Internet of Things*
IPA – *Independent Project Analysis*
LCC – *Life Cycle Canvas*
M2M – *Machine to machine*
PME – *Pequenas e Médias Empresas*
PDRI – *Project Definition Rating Index*
PDRI-SIP – *Project Definition Rating Index – Small Industrial Projects*
PDSE – *Programa Institucional de Doutorado Sanduíche no Exterior*
PMI – *Project Management Institute*
PoC – *Proof of Concept*
PoCC – *Proof of Concept Center*
ROI – *Return on Investment*
RSL – *Revisão Sistemática da Literatura*
SENAI – *Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial*
SWOT – *Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*
TAM – *Technology Acceptance Model*
TI – *Tecnologia da Informação*
TIA – *Tecnologias Industriais Avançadas*
TPB – *Theory of Planned Behaviour*
TRA – *Theory of Reasoned Action*
UTAUT – *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*
WBS – *Work Breakdown Structure*
WEF – *World Economic Forum*

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – <i>Políticas industriais de longo prazo para fomento da digitalização industrial.</i>	16
Tabela 2 – <i>Matriz Metodológica de Amarração</i>	27
Tabela 3 – <i>Barreiras relacionadas à adoção das tecnologias industriais avançadas</i>	34
Tabela 4 – <i>Relação das barreiras por autores</i>	43
Tabela 5 – <i>Participantes do grupo focal</i>	44
Tabela 6 – <i>Organização das oficinas das tecnologias industriais avançadas</i>	45
Tabela 7 – <i>Participação dos engenheiros das atividades</i>	47
Tabela 8 – <i>Contra-argumentos das barreiras de adoção das TIA associadas às oficinas</i> ..	50
Tabela 9 – <i>Tipos de robôs industriais</i>	55
Tabela 10 – <i>Dados demográficos dos participantes que responderam ao questionário</i>	56
Tabela 11 – <i>Participação dos engenheiros das atividades</i>	59
Tabela 12 – <i>Variações de nomenclatura nos modelos FEL</i>	70
Tabela 13 – <i>Fases FEL modelo CII – PDRI-SIP</i>	75
Tabela 14 – <i>Fases FEL modelo IPA</i>	76
Tabela 15 – <i>Objetivos e entregáveis do FEL</i>	78
Tabela 16 – <i>Primeira versão do modelo para projetos de pequeno porte</i>	79
Tabela 17 – <i>Perfil dos entrevistados</i>	82
Tabela 18 – <i>Modelo de FEL para projetos de pequeno porte revisado</i>	83
Tabela 19 – <i>Constructos da Teoria Unificada de Aceitação e Uso da Tecnologia</i>	99
Tabela 20 – <i>Adoção das tecnologias industriais avançadas em empresas de manufatura</i>	109
Tabela 21 – <i>Centros Tecnológicos estudados</i>	111
Tabela 22 – <i>Questões do roteiro de entrevista</i>	113
Tabela 23 – <i>Atividades de coleta de dados nos Estudos de Casos</i>	114
Tabela 24 – <i>Elementos de engajamento dos clientes no CT-B</i>	126
Tabela 25 – <i>Compilação dos Resumo Centros Tecnológicos</i>	156
Tabela 26 – <i>Atributos da Persuasão da teoria da Difusão da Inovação</i>	167
Tabela 27 – <i>Critérios de validação do método</i>	171
Tabela 28 – <i>Primeira versão do FRONTI4.0 em Excel</i>	181
Tabela 29 – <i>Relação dos vídeos tutoriais disponibilizados pelo FRONTI4.0</i>	183
Tabela 30 – <i>Perfil dos participantes do Grupo Focal Exploratório</i>	186
Tabela 31 – <i>Roteiro do Grupo Focal Exploratório</i>	187
Tabela 32 – <i>Perfil dos participantes da entrevista on-line</i>	189
Tabela 33 – <i>Matriz de amarração contributiva</i>	202

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – <i>Desenho de pesquisa da tese</i>	24
Figura 2 – <i>Fluxograma do processo metodológico do estudo 1</i>	42
Figura 3 – <i>Realização das oficinas</i>	52
Figura 4 – <i>Ciclo de vida de projeto</i>	67
Figura 5 – <i>Planejamento do front-end de projetos</i>	69
Figura 6 – <i>Curva de influência e despesas para o ciclo de vida do projeto</i>	70
Figura 7 – <i>Plano de execução do front-end loading</i>	72
Figura 8 – <i>Desenho de pesquisa estudo 2</i>	81
Figura 9 – <i>Modelo para planejamento de projetos de pequeno porte</i>	86
Figura 10 – <i>Teoria da Ação Racional</i>	95
Figura 11 – <i>Modelo de Aceitação de Tecnologia</i>	96
Figura 12 – <i>Teoria do Comportamento Planejado</i>	97
Figura 13 – <i>Teoria Unificada de Aceitação e Uso da Tecnologia</i>	99
Figura 14 – <i>Modelo de cinco estágios do processo de decisão de inovação</i>	101
Figura 15 – <i>Modelo de cinco estágios do processo de decisão de inovação</i>	102
Figura 16 – <i>Desenho de pesquisa do estudo 3</i>	109
Figura 17 – <i>Imagens do CT-A e equipamentos disponíveis</i>	118
Figura 18 – <i>Imagens do CT-B e equipamentos disponíveis</i>	122
Figura 19 – <i>Imagens do CT-C e equipamentos disponíveis</i>	128
Figura 20 – <i>Imagens do CT-D e equipamentos disponíveis</i>	132
Figura 21 – <i>Imagens do CT-E e equipamentos disponíveis</i>	137
Figura 22 – <i>Imagens do CT-F e equipamentos disponíveis</i>	140
Figura 23 – <i>Layout do CT-F</i>	140
Figura 24 – <i>Desenho da pesquisa do estudo 4</i>	169
Figura 25 – <i>FRONTI4.0 – Front-End Planning for Industry 4.0 Projects</i>	172
Figura 26 – <i>Esquema do Mapa da Persuasão</i>	179
Figura 27 – <i>Telas do artefato instanciado</i>	182
Figura 28 – <i>Playlist do canal do Youtube com os vídeos tutoriais do FRONTI4.0</i>	183
Figura 29 – <i>Resultados do questionário eletrônico de validação do método</i>	191

1. INTRODUÇÃO

A evolução das tecnologias industriais de automação representa um marco transformador na trajetória dos sistemas produtivos, resultante da convergência contínua de tecnologias emergentes que se materializam principalmente em soluções digitais capazes de promover mudanças profundas nesses sistemas (Khan, 2024; Thames & Schaefer, 2016). Esse processo evolutivo culminou na Quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0 (I4.0), introduzida pela primeira vez em 2011, durante a Feira de Hannover, na Alemanha (Bahrin *et al.*, 2016). A I4.0 estabelece um novo paradigma baseado na integração de sistemas ciberfísicos, Internet das Coisas (IoT – *Internet of Things*), inteligência artificial, *big data*, computação em nuvem, manufatura aditiva, robótica avançada e sensores inteligentes (Karabegović *et al.*, 2024; Kumar *et al.*, 2021), tecnologias capazes de remodelar profundamente os processos de manufatura, ampliando a produtividade, eficiência, flexibilidade e sustentabilidade das operações (Thames & Schaefer, 2016).

Nesse contexto, surge a Indústria 5.0 (I5.0), anunciada como uma transformação industrial global, com objetivo de colocar o bem-estar humano no centro dos sistemas de manufatura (Leng *et al.*, 2022). A Indústria 5.0 expande o paradigma da Indústria 4.0 ao adotar um modelo produtivo centrado no ser humano, sustentável e resiliente (Breque & Petridis, 2021). Ela amplia o foco do valor para além dos acionistas, beneficiando todas as partes interessadas, e busca usar as novas tecnologias para gerar prosperidade social e ambiental, respeitando os limites do planeta e priorizando o bem-estar do trabalhador (Breque & Petridis, 2021). A Indústria 5.0 aprofunda o paradigma da Indústria 4.0 ao usar as mesmas Tecnologias Industriais Avançadas (TIA), porém orientando-as para um modelo produtivo centrado no ser humano, sustentável e resiliente, promovendo colaboração entre pessoas e sistemas inteligentes e ampliando o valor para toda a sociedade (Hassan *et al.*, 2024).

Segundo Zhao *et al.* (2025), as TIA desempenham um papel significativo no avanço da sustentabilidade, por exemplo, na manufatura essas tecnologias melhoram a eficiência da produção, reduzem o desperdício e diminuem o consumo de energia. Zaki *et al.* (2025) reforçam essa visão a partir dos seus achados, que indicam que as TIA melhoraram significativamente os processos de produção, oferecendo soluções inovadoras para aumentar a eficiência e, ao mesmo tempo, reduzir o impacto ambiental.

Desde sua introdução como pilar estratégico da transformação digital industrial em 2011, a Indústria 4.0 consolidou-se como um vetor de modernização baseado em TIA (Bahrin *et al.*, 2016). O tema ganhou destaque entre empresas, centros de pesquisa e universidades,

gerando ampla produção acadêmica e técnica. Impulsionada por incentivos governamentais voltados a adoção das TIA, a Indústria 4.0 tem contribuído para o crescimento econômico de diversos países (Tolettini & Lehmann, 2020). Sua implementação tornou-se uma prioridade global para aumentar a competitividade e a produtividade da indústria de manufatura (Cugno *et al.*, 2021), definida como qualquer empresa que transforma insumos em bens acabados ou componentes (Ellison & Glaeser, 1997).

Apesar dos benefícios associados à adoção das TIA, as indústrias de manufatura enfrentam barreiras de adoção dessas tecnologias (Rahman *et al.*, 2025; Attiany *et al.*, 2023; Raj *et al.*, 2020; Govindan & Arampatzis, 2023). Essas barreiras são obstáculos que impedem ou dificultam o avanço da adoção das TIA por indústrias de manufatura (Stornelli *et al.*, 2021). Algumas barreiras potenciais são: alto investimento inicial e incertezas em relação ao retorno do investimento; riscos relacionados à segurança de dados; falta de mão de obra qualificada; resistência à mudança; falta de infraestrutura (Rahman *et al.*, 2025; Kumar *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020). Superar essas barreiras exige esforços conjuntos entre academia, governos e empresas privadas, de modo a viabilizar a difusão e o uso sustentável das TIA no setor manufatureiro (Zhao *et al.*, 2025; Majumdar *et al.*, 2021).

Alguns exemplos de ações que envolvem a academia, governos, organizações internacionais e empresas privadas que consomem ou fornecem TIA são aqui citadas. No âmbito dos Governos, o desenvolvimento industrial e tecnológico é estratégico e faz parte, inclusive, de discussões geopolíticas (Kuo *et al.*, 2019; Diegues & Roselino, 2023).

Diversos países têm adotado políticas industriais estratégicas para fortalecer suas economias por meio do desenvolvimento e da difusão das TIA. No Brasil, um exemplo é o Programa Indústria 4.0, lançado pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) em cooperação com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). O programa reúne iniciativas para acelerar a transformação digital e ampliar a adoção das TIA na indústria nacional, com investimentos superiores a 35 milhões de reais, visando aumentar a produtividade, a eficiência e a competitividade das empresas (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2025). A Tabela 1 apresenta outras políticas industriais de longo prazo adotadas por diferentes países, com destaque para incentivos financeiros e linhas de crédito voltadas à digitalização industrial. Outro exemplo relevante é o *Global Lighthouse Network*, iniciativa do Fórum Econômico Mundial (*World Economic Forum* – WEF), que reúne empresas líderes em manufatura que demonstram excelência na aplicação das TIA em escala, promovendo melhorias financeiras, operacionais e sustentáveis em fábricas, cadeias de valor e modelos de negócios.

Tabela 1*Políticas industriais de longo prazo para fomento da digitalização industrial*

Programa	País / Ano	Descrição
Nova Indústria Brasil	Brasil, 2024	O programa visa acelerar a transformação digital na indústria. Ampliar a digitalização das empresas industriais brasileiras de 23,5% para 90%, por meio de investimentos na Indústria 4.0 e no desenvolvimento de produtos digitais e na produção nacional de semicondutores, entre outros. Website: www.gov.br/mdic/pt-br
Industry IoT Consortium	EUA, 2014	O <i>Industry IoT Consortium</i> oferece valor comercial transformador para a indústria, organizações e sociedade, acelerando a adoção de uma Internet das Coisas confiável. Tem o objetivo de ajudar os membros a gerar valor comercial nos setores verticais de TI, Redes, Acadêmica e Pesquisa, Manufatura, Energia e Serviços Públicos e Saúde, fornecendo estruturas de melhores práticas e contatos com organizações de desenvolvimento de padrões. Website: www.iiconsortium.org/
Produktion2030	Suécia, 2022	Programa estratégico de inovação aplicado pela Agência Sueca de Energia, tendo como objetivo assegurar a competitividade da Indústria Sueca. Trabalha na abordagem em desafios da indústria em soluções relevantes e inovadoras, na construção e fortalecimento de redes de cooperação, tanto na Suécia como internacionalmente e na conexão de ideias, atores e oportunidades de financiamento para criar soluções viáveis para a indústria manufatureira do futuro. Website: www.produktion2030.se/
Indústria 4.0 & Transizione 4.0	Itália, 2021	O Plano Nacional ‘Indústria 4.0’ abrange todas as etapas do ciclo vida das empresas que pretendem melhorar sua competitividade apoiando os investimentos digitalização dos processos industriais melhoria produtividade dos trabalhadores bem como o desenvolvimento novas competências novos produtos novos processos O plano investimento visa apoiar oferecer incentivos às empresas que investem em novos bens capital ativos tangíveis ativos intangíveis (<i>softwares</i> sistemas TD) para transformação tecnológica digital dos seus processos produtivos. Website: www.mimit.gov.it
Made in China 2025	China, 2015	Uma política industrial liderada pelo Estado Chinês com objetivo tornar China dominante no mercado global alta tecnologia O programa visa utilizar subsídios governamentais, mobilizar empresas estatais e prosperar a aquisição de propriedade intelectual para acompanhar e depois superar a capacidade tecnológica ocidental nas indústrias avançadas. Website: english.www.gov.cn/

Society 5.0	Japão, 2016	A Sociedade 5.0 é a visão do Japão para o futuro. É um conceito que vai além da Indústria 4.0, pois foca em uma sociedade superinteligente onde tecnologias digitais como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA) e robôs se fundem em todos os setores da economia e da sociedade. É uma iniciativa promovida pelo Governo japonês, por meio de seus ministérios, empresas e setores organizados. Website: www.japan.go.jp/
-------------	-------------	--

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

Do ponto de vista acadêmico, diversos estudos abordam a Indústria 4.0 e 5.0 e as barreiras à adoção de suas tecnologias (Rahman *et al.*, 2025; Kumar *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020). Instituições de ensino ao redor do mundo também investem em centros de pesquisa e capacitação voltados ao desenvolvimento de conhecimento sobre as TIA. No Brasil, o Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), instituição privada de interesse público, mantém centros de pesquisa com infraestrutura tecnológica, como o Centro de Conectividade, o Laboratório de CyberSegurança e o OpenLab, voltados à promoção do empreendedorismo industrial e à competitividade baseada em tecnologias avançadas (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial, s.d.). Nas indústrias de manufatura, que são consumidoras das TIA, destaca-se o investimento na qualificação da força de trabalho. Um exemplo é a parceria público-privada entre a montadora japonesa de automóveis Nissan e o *Tennessee College of Applied Technology*, que resultou no *Smyrna Campus and Nissan Training Center*, centro técnico de última geração voltado à formação de profissionais para a manufatura avançada (Tennessee College of Applied Technology, s.d.).

Por parte das Empresas Provedoras de TIA (EPTIA), como Siemens¹, Rockwell², Omron³, e Beckhoff⁴, há forte atuação comercial e técnica em diversos setores industriais, tais como automotivo, alimentos e bebidas, farmacêutico e eletrônico, segundo um modelo *Business to Business* (B2B), em que o cliente final é uma empresa. Essas EPTIA têm interesse direto na adoção das TIA pelas indústrias de manufatura e, para acelerar esse processo, promovem ações como as Provas de Conceito (*Proof of Concept – PoC*), que consistem na validação prática de soluções tecnológicas em ambientes simulados, reduzindo incertezas e riscos na tomada de decisão (Ramos *et al.*, 2023). Considerando que a implantação de TIA envolve projetos

¹ Siemens Automation. Disponível em <<https://www.siemens.com/global/en.html>>

² Rockwell Automation. Disponível em <<https://www.rockwellautomation.com/>>

³ Omron Automation. Disponível em <<https://automation.omron.com/>>

⁴ Beckhoff Automation. Disponível em <<https://www.beckhoff.com/>>

complexos com múltiplos *stakeholders*, a validação prévia é considerada estratégica pelas indústrias.

Para sistematizar essas ações, as EPTIA investem em Centros Tecnológicos (CT), espaços físicos que oferecem acesso à *expertise* em TIA, permitindo demonstrações, testes de protótipos e validações de soluções (European Commission, 2020). Exemplos incluem: (1) o *Festo Experience Center*, da empresa alemã Festo, presente em mais de 61 países, que oferece ambientes realistas para testes e troca de conhecimento em manufatura avançada (Festo, s.d.); (2) os 37 centros tecnológicos da Omron, empresa japonesa com atuação global, que disponibilizam TIA para desenvolvimento de soluções inovadoras (Omron, s.d.); e (3) os Centros de Inovação e Tecnologia (CIT) da GS1, organização multissetorial sem fins lucrativos, que demonstram tendências tecnológicas para automação de cadeias de suprimentos (Associação Brasileira de Automação, 2019).

Esses centros oferecem ambientes seguros para o desenvolvimento de ideias, com suporte técnico especializado (Demšar, 2016), e suas atividades de validação empírica e de demonstrações assistidas têm potencial para reduzir riscos de insucesso na adoção de tecnologias (Bleda *et al.*, 2012; Sánchez-García *et al.*, 2023). Além disso, ao evidenciar os benefícios e desmistificar a complexidade das soluções, os CTs auxiliam os tomadores de decisão a justificarem investimentos e avaliarem o retorno esperado. Nesse sentido, os Centros Tecnológicos representam uma alternativa eficaz para superar as barreiras à adoção das TIA.

A necessidade de superar essas barreiras é evidenciada pela resistência à inovação observada nas indústrias de manufatura, o que justifica a adoção de abordagens teóricas que ajudem a compreender e gerenciar esse fenômeno. Segundo Ram e Sheth (1989, p. 9), a resistência à inovação é definida como “a resistência oferecida pelos consumidores a uma inovação, seja porque ela representa mudanças potenciais em relação a um *status quo* satisfatório ou porque entra em conflito com sua estrutura de crenças”. As barreiras que causam resistência do consumidor podem ser classificadas em funcionais (uso e valor) e psicológicas (risco, tradição e imagem) (Yu & Chantatub, 2016). A resistência do cliente pode ser ativa, quando resulta da associação direta com as características das inovações e é estudada por meio de barreiras funcionais; ou uma resistência passiva, que advém principalmente do conflito com as crenças existentes dos utilizadores que são causadas pela inovação, sendo essa resistência estudada por meio de barreiras psicológicas (Kaur *et al.*, 2020).

Considerando a necessidade das EPTIA de gerenciar as barreiras à adoção das TIA, este estudo aplica a teoria da Difusão da Inovação (*Diffusion of Innovations Theory* – DoI), proposta por Rogers (2003), como lente teórica. A Teoria do DoI é amplamente reconhecida como uma

das abordagens mais influentes para compreender a adoção de novas tecnologias e sua evolução ao longo do tempo (Durão & Palma dos Reis, 2025). Essa teoria parte do princípio de que a disposição para adotar uma inovação está diretamente relacionada às características percebidas da inovação (Lu, 2021), o que a torna especialmente relevante para analisar os desafios enfrentados pelas empresas EPTIA na promoção de suas soluções.

A Teoria da DoI propõe cinco estágios no processo de decisão para adoção de uma inovação. Dentre eles, destaca-se o estágio da persuasão, momento em que o indivíduo ou organização forma uma atitude favorável ou desfavorável em relação à inovação (Rogers, 2003). Esta tese foca especificamente nesse estágio para compreender os fatores que influenciam a adoção das TIA. Durante a persuasão, os tomadores de decisão avaliam os atributos percebidos da inovação antes de optar por sua adoção (Rogers, 2003), o que torna esse estágio especialmente relevante no contexto dos CTs. Esses espaços, ao promoverem demonstrações práticas, permitem que os atributos das tecnologias sejam observados e analisados, alinhando-se à ênfase da DoI nas características percebidas da inovação (Ahmetoglu *et al.*, 2023). Rogers (2003) identifica cinco atributos que moldam essa percepção:

- **Vantagem relativa:** Se a tecnologia oferece benefícios claros em relação às práticas atuais;
- **Compatibilidade:** Se é coerente com valores, experiências e necessidades existentes;
- **Complexidade:** Quanto mais simples for de entender e usar, maior a probabilidade de adoção;
- **Experimentação:** Possibilidade de testar a tecnologia antes da implementação completa; e
- **Observabilidade:** Visibilidade dos resultados e benefícios da inovação.

No contexto das TIA, esses atributos são críticos, pois adotar tecnologias como IoT e Robótica exige investimentos elevados e mudanças estruturais. Portanto, se as empresas perceberem alta vantagem relativa, baixa complexidade, compatibilidade com seus processos, puderem experimentar soluções em pequena escala e observar resultados concretos, a persuasão será mais eficaz, aumentando a taxa de adoção.

Adicionalmente, a Teoria da DoI, no que diz respeito ao planejamento desses atributos para aplicação nos CTs, deverá ocorrer preferencialmente na fase de ideação dos projetos, denominada etapa de pré-projetos (*front-end*). Segundo Rahblar e Avalon (2023), o ciclo de vida de um projeto é composto por diversas fases, pelas quais um projeto passa, desde a sua concepção até a entrega final. Sendo que a fase de desenvolvimento de novas ideias tem

potencial de dar a direção e a colocar em movimento, influenciando amplamente os resultados dos processos de desenvolvimento de novos produtos (Florén & Frishammar, 2012). A fase inicial de ideação do projeto começa quando a ideia do projeto é concebida, quando ocorrem as definições preliminares do projeto, análises de cenário, assim como os conceitos do projeto (Williams *et al.*, 2019).

O planejamento de *front-end* oferece oportunidades potencialmente significativas para eliminar ou reduzir problemas que impedem a obtenção do sucesso do projeto, pois contribui para a definição clara de metas, identificação de recursos necessários e a minimização de riscos ao longo do projeto (Faniran *et al.*, 2000). Por exemplo, em projetos de desenvolvimento de novos produtos, o planejamento do *front-end* pode incluir uma etapa de pesquisa e *design* conceitual, na qual são definidos os conceitos e requisitos do produto alinhados com a demanda dos usuários (Haddadi *et al.*, 2017), seu *design* externo, interno, materiais a serem utilizados e a experiência do usuário ao interagir com o produto (Kwong *et al.*, 2016).

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Com base no exposto, o problema desta pesquisa considera a demanda por empresas privadas, provedoras das TIA, que tem objetivo comercial de expandir e disseminar essas tecnologias e que investem em Centros Tecnológicos, visando facilitar a validação de soluções por meio de demonstrações, provas de conceito e protótipos (European Commission, 2020).

Embora a adoção das TIA traga diversos benefícios, às indústrias de manufatura ainda enfrentam obstáculos significativos para a sua implementação (Attiany *et al.*, 2023; Raj *et al.*, 2020; Govindan & Arampatzis, 2023). Tais barreiras consistem em fatores que limitam ou dificultam o avanço da incorporação dessas tecnologias (Stornelli *et al.*, 2021). Devido ao conhecimento e à experiência inadequados dos tomadores de decisão, existe um viés que leva à manutenção do *status quo* das operações e à hesitação em investir nas TIA (Hamada, 2019). Assim, para excluir fatores inibidores, é necessário que as empresas investiguem as exigências para estimar os benefícios das medidas necessárias para implementação das TIA (Hamada, 2019). Attiany *et al.* (2023) concluíram que a mitigação das barreiras é um ponto crítico para garantir uma adoção bem-sucedida das TIA. Para tratar a gestão dessas barreiras é necessário compreender o problema de maneira a garantir que o processo de inovação se concentre no valor para os clientes (Rogers, 2017).

Neste contexto, o problema de pesquisa consiste em compreender como empresas provedoras de tecnologias industriais avançadas podem planejar e estruturar pré-projetos de Centros Tecnológicos capazes de superar as barreiras que dificultam a adoção das TIA pelas indústrias de manufatura. Dessa forma, esta pesquisa visa responder a seguinte questão de pesquisa: Como preparar as empresas provedoras de tecnologias industriais avançadas para planejar pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão dessas tecnologias?

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta tese é propor um método para preparar empresas provedoras de tecnologias industriais avançadas no planejamento de pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão dessas tecnologias, visando sua adoção.

Os objetivos específicos desta tese são:

- a) Explorar as barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas que emergem durante as interações em Centros Tecnológicos;
- b) Propor um modelo para o planejamento de *front-end* de projetos de pequeno porte;
- c) Analisar como os atributos da persuasão da Teoria da Difusão de Inovações são empregados na apresentação de tecnologias industriais avançadas em Centros Tecnológicos;
- d) Desenvolver um método para o planejamento de pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão das tecnologias industriais avançadas, visando sua adoção.

Para cumprir os objetivos desta tese, foram desenvolvidos quatro estudos, sendo que cada um deles possui foco no alcance de um dos objetivos específicos, que deram embasamento para o desenvolvimento de um produto técnico-tecnológico (PTT), apresentado no quarto estudo.

1.3 JUSTIFICATIVA DA TESE

O tema abordado na tese emergiu da experiência empírica do pesquisador ao longo de cinco anos de atendimento em um CT da I4.0 e enfrentando barreiras de adoção por parte dos visitantes e tomadores de decisão. A construção do método para o planejamento de pré-projetos

de CT, com foco na demonstração de TIA, visando a adoção dessas tecnologias, justifica-se pela relevância do tema e pelas contribuições acadêmicas e gerenciais.

A relevância acadêmica se fundamenta pela originalidade do tema, pois as barreiras à adoção da Indústria 4.0 têm sido amplamente abordadas na literatura internacional, evidenciando sua presença em diferentes contextos econômicos, afetando tanto países desenvolvidos (Stentoft *et al.*, 2021) quanto economias em desenvolvimento (Eliseo *et al.*, 2022). Embora a literatura indique que a Indústria 4.0 pode aumentar significativamente a competitividade, a agilidade e a sustentabilidade da indústria de manufatura (Zaki *et al.*, 2025), a falta de compreensão sobre os benefícios potenciais da Indústria 4.0 limita sua adoção. Essa lacuna de conhecimento, somada às complexidades e aos desafios de implementação, dificulta a percepção clara da relação entre benefícios e adoção (Wagire & Kulkarni, 2025).

As barreiras de adoção das TIA levantadas na literatura, como elevados custos e incertezas quanto ao retorno do investimento; resistência organizacional à mudança (Cugno *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020); riscos relacionados à segurança da informação (Kumar *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020); e deficiências na infraestrutura tecnológica (Cugno *et al.*, 2021; Gonzalez *et al.*, 2021), foram confirmadas por praticantes, como presentes nos Centros Tecnológicos, configurando-se como obstáculos reais à adoção dessas tecnologias (Machado, 2023).

A literatura ainda indica a relevância da adoção dos atributos da Persuasão da Teoria da Difusão da Inovação na adoção das TIA, como nas tecnologias de Internet das Coisas (IoT) (Padyab *et al.* 2020; Ahmetoglu *et al.*, 2023) ou Robôs Colaborativos (Lu, 2021; Simões *et al.*, 2020). Outro aspecto acadêmico relevante é a abordagem do planejamento de pré-projetos, com objetivo de potencializar a aplicação dos atributos da Persuasão a partir do planejamento inicial dos Centros Tecnológicos, visto que a fase de desenvolvimento de novas ideias tem potencial dar a direção e as colocam em movimento, influenciam amplamente nos resultados dos processos de desenvolvimento (Florén & Frishammar, 2012). O planejamento de pré-projetos cria oportunidades relevantes para prevenir ou reduzir problemas que possam comprometer o sucesso do projeto, pois contribui para a definição precisa de objetivos, a identificação dos recursos necessários e a mitigação de riscos ao longo de sua execução (Faniran *et al.*, 2000).

No âmbito gerencial, o método proposto na tese está alinhado à demanda de inúmeras empresas e organizações que fornecem produtos e soluções da Indústria 4.0 e que adotam as soluções de Centros Tecnológicos e/ou *Showrooms* para a demonstração das suas tecnologias. Esse caráter empírico do método de planejamento de pré-projetos voltado à demonstração de TIA tem objetivo de orientar essas empresas e organizações a promoverem as suas tecnologias

de forma eficaz, contribuindo para a superação das barreiras de adoção, por meio de um planejamento de pré-projetos estruturado, relacionando as tecnologias com os atributos da Persuasão da teoria da Difusão da Inovação.

Este trabalho está alinhado com os objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ONU). Em 2015, a ONU lançou a Agenda 2030, composta por 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como um plano global para promover prosperidade, proteger o planeta, garantir paz universal e erradicar a pobreza em todas as suas formas (Organização das Nações Unidas, n.d.). O método proposto nesta tese busca abordar desafios relacionados a três Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): (1) ODS 8 – promover crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, garantindo emprego pleno, produtivo e trabalho decente para todos; (2) ODS 9 – construir infraestruturas resilientes, incentivar a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação; e (3) ODS 12 – assegurar padrões responsáveis de produção e consumo.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta tese de doutorado profissional segue as diretrizes de estrutura para o desenvolvimento do trabalho por meio de estudos múltiplos e interligados (da Costa *et al.*, 2024), organizada em quatro estudos inter-relacionados.

O método de pesquisa escolhido para a condução da tese é a *Design Science Research* (DSR). Este método segue o paradigma da *Design Science*, ou seja, é uma pesquisa que desenvolve conhecimento geral para resolver problemas de campo, seguindo as características: as questões de pesquisa são dirigidas por problemas de campo; há ênfase no conhecimento orientado para a solução, vincula intervenções ou sistemas a resultados, como a chave para resolver problemas de campo; e a justificativa dos produtos de pesquisa é amplamente baseada na validade pragmática (van Aken & Romme, 2009).

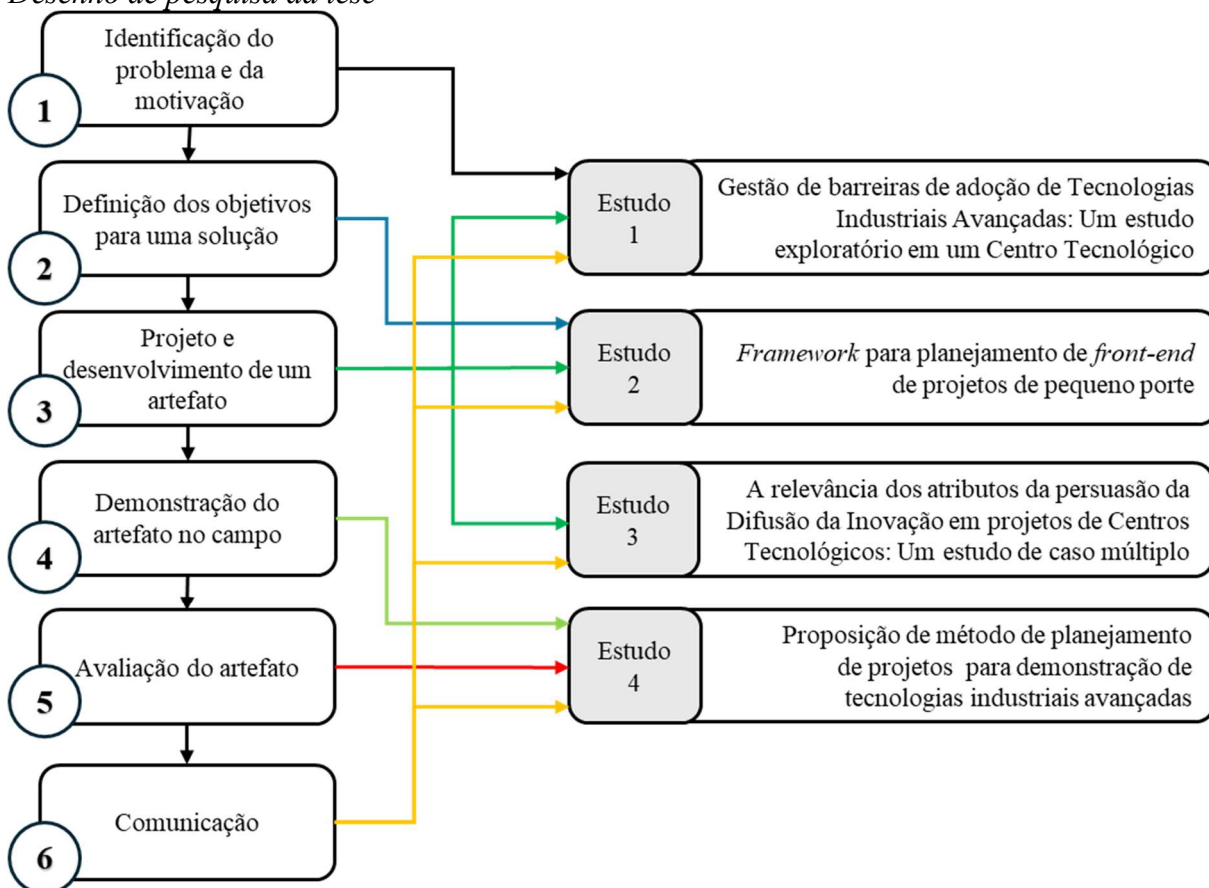
A DSR se propõe ao desenvolvimento de um artefato que atenda a uma determinada classe de problemas (Dresch *et al.*, 2020). Segundo Dresch *et al.* (2020, p.104) “definimos classe de problemas como a organização de um conjunto de problemas práticos ou teóricos que contenham artefatos úteis para a ação nas organizações.”. Assim, esta tese desenvolve um artefato do tipo método que atende à classe de problemas “difusão das tecnologias industriais avançadas”.

Segundo o modelo de Peffers *et al.* (2007), a DSR é composta por diferentes fases, aplicadas para alcançar o objetivo geral: (1) identificação e motivação do problema; (2)

definição dos objetivos para solução; (3) projeto e desenvolvimento do artefato; (4) demonstração da solução do problema; (5) avaliação da solução; e (6) comunicação. A Figura 1 apresenta as etapas da *Design Science Research* relacionadas aos estudos da tese.

Figura 1

Desenho de pesquisa da tese



Nota. Adaptado de Peffers *et al.* (2007).

A fase de identificação do problema e motivação é onde ocorre a definição do problema de pesquisa específico, que justifique o valor de uma solução (Peffers *et al.*, 2007). O Estudo 1 contribuiu com a etapa de identificação do problema e com o desenvolvimento do artefato. Este estudo teve como objetivo identificar e analisar as principais barreiras à adoção das TIA em Centros Tecnológicos. Para isso, foi conduzido um estudo exploratório dividido em quatro etapas. Inicialmente, foi realizada uma revisão teórica sobre as barreiras de adoção das TIA. Em seguida, foi promovido um grupo focal com profissionais do setor, no qual foram coletadas percepções práticas. Posteriormente, foram realizadas oficinas de apresentação das tecnologias em um CT, permitindo a observação direta dos desafios enfrentados. Por fim, os dados foram analisados para identificar os principais fatores que influenciam a adoção. Os resultados indicaram que a forma como as tecnologias foram apresentadas teve um impacto significativo

na aceitação por parte dos participantes. Foi constatado que a ausência de planejamento e de estrutura adequada nas demonstrações dificultou a compreensão e gerou resistência. Com isso, destacou-se a importância de uma apresentação bem estruturada como estratégia para mitigar as barreiras à adoção. A principal contribuição do estudo consistiu em oferecer subsídios que podem ser utilizados por empresas e instituições interessadas em promover a difusão das TIA por meio de CT, apoiando decisões mais eficazes e fortalecendo iniciativas de transformação digital no setor industrial.

O Estudo 2 contribuiu para as etapas de definição dos objetivos e com o desenvolvimento do artefato. O planejamento de *front-end* (FEP), que corresponde à fase inicial dos projetos, é essencial para garantir o alinhamento entre os objetivos do negócio e elementos como escopo, custos e cronograma. Embora tradicionalmente aplicado a projetos complexos, também se mostra relevante para iniciativas de menor porte, que podem ser prejudicadas pela falta de preparação adequada. Este estudo propõe um modelo para o FEP em projetos pequenos, buscando definir objetivos e entregáveis básicos. A pesquisa qualitativa foi conduzida em seis etapas: revisão da literatura, construção teórica, validação com praticantes, ajustes com base nos *insights*, validação com especialistas e proposição final. O modelo, validado por profissionais da Indústria 4.0, demonstrou aplicabilidade prática, inclusive para gestores com pouca experiência, e contribui para difundir o FEP como ferramenta estratégica de alinhamento e suporte à gestão de projetos.

O Estudo 3 contribui para a etapa de desenvolvimento do artefato, tendo sido utilizada a teoria da Difusão da Inovação. O estudo tem como objetivo analisar como os atributos da persuasão, previstos na Teoria da Difusão da Inovação (Rogers, 2003), se relacionam à demonstração de TIA em Centros Tecnológicos. Para isso, foi conduzida uma pesquisa qualitativa, de caráter exploratório e descritivo, baseada em estudos de caso realizados em sete Centros Tecnológicos nos Estados Unidos. Os resultados indicam que o planejamento adequado dos projetos de demonstração é fundamental para mitigar barreiras à adoção, como a falta de qualificação, percepção de altos custos e incertezas sobre o retorno do investimento. A principal contribuição do estudo consiste em evidenciar a importância estratégica dos Centros Tecnológicos como ferramenta para acelerar a disseminação das TIA, oferecendo subsídios teóricos e práticos para empresas fornecedoras e para a gestão da inovação.

O Estudo 4 contemplou as etapas de demonstração e avaliação do artefato. O estudo tem como objetivo desenvolver um método para o planejamento de *front-end* de projetos voltados à demonstração de TIA, respondendo à questão: Como planejar pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão das TIA? Por meio de grupos focais,

compostos por praticantes e especialistas, a pesquisa busca o desenvolvimento, demonstração e avaliação do método FRONTI4.0: *Front-End Planning for Industry 4.0 Projects*. A principal contribuição acadêmica consiste no desenvolvimento de um modelo simplificado para planejamento de pré-projetos, alinhado aos atributos da persuasão da Teoria da Difusão da Inovação. A contribuição prática está na oferta de uma abordagem que apoia empresas na adoção das TIA, mitigando barreiras e acelerando sua difusão. Este estudo também é responsável por discutir o artefato do tipo método enquanto um Produto Técnico-Tecnológico (PPT), classificado pela CAPES (área 27), como um Processo/Tecnologia e Produto/Material não patenteáveis. O método de planejamento de pré-projetos voltado à demonstração de TIA, denominado *Front-End Planning for Industry 4.0 Projects* (FRONTI4.0), é considerado um produto tecnológico que, por impedimentos legais, não apresenta um mecanismo formal de proteção em território brasileiro, incluindo quaisquer ativos de propriedade intelectual.

A etapa de comunicação da DSR ocorreu em todos os estudos. Versões do Estudo 1 foram apresentadas nos congressos XI SINGEP 2023 e XLVII Encontro da ANPAD. O Estudo 2 foi apresentado no XII SINGEP 2024. Versões do Estudo 3 foram apresentadas nos congressos XLIX Encontro da ANPAD – EnANPAD 2025 e XIII SINGEP 2025. O método FRONTI4.0 também foi apresentado no *XVI Foro de Innovacion Tecnológica – FIT* da *Universidad Galileo* na Cidade da Guatemala, Guatemala, em 08 de outubro de 2025.

Quanto à sua estrutura, esta tese se vale de uma estrutura alternativa à abordagem tradicional, na qual cada estudo possui um objetivo específico, considerados como objetivos específicos da tese (da Costa *et al.*, 2024). Na estrutura proposta, os estudos múltiplos respondem de forma integrada à questão central de pesquisa (da Costa, 2019). A Tabela 2 apresenta a Matriz Metodológica de Amarração, que sintetiza uma visão geral dos estudos múltiplos, bem como os preceitos conceituais e metodológicos (da Costa *et al.*, 2024).

Tabela 2*Matriz Metodológica de Amarração*

	Título	Questão de Pesquisa	Objetivos	Método pesquisa	Procedimentos de coleta de dados	Procedimentos de análise de dados
Estudo 1	Gestão de barreiras de adoção de Tecnologias Industriais Avançadas: Um estudo exploratório em um Centro Tecnológico	Quais são as barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas em demonstrações em Centros Tecnológicos?	Explorar as barreiras de adoção das tecnologias industriais avançadas que emergem durante as interações em Centros Tecnológicos.	Pesquisa qualitativa e exploratória	Extração de dados nas bases <i>Web of Science</i> e <i>Scopus</i> . Grupo focal e entrevistas semiestruturadas com engenheiros praticantes da Indústria 4,0, questionário e observação participante das oficinas.	Análise de conteúdo com triangulação teórica e prática.
Estudo 2	Framework para planejamento de front-end de projetos de pequeno porte	Quais são os objetivos e entregáveis essenciais para o planejamento de <i>front-end</i> de projetos de pequeno porte?	Propor um modelo para o planejamento de <i>front-end</i> (FEP) de projetos de pequeno porte.	Revisão de Literatura e Entrevistas	Extração de dados nas bases <i>Web of Science</i> , <i>Scopus</i> e <i>Google Scholar</i> . Entrevistas semiestruturadas com engenheiros praticantes da gestão de projetos.	Análise de conteúdo e análise descritiva dos dados.
Estudo 3	Um olhar sobre a importância da persuasão na difusão da inovação na disseminação das tecnologias industriais avançadas: Estudos de casos de Centros Tecnológicos	Como os atributos da persuasão, da teoria da Difusão da Inovação, se relacionam com a demonstração de tecnologias industriais avançadas em Centros Tecnológicos?	Analisar como os atributos da persuasão da Teoria da Difusão de Inovações são empregados na apresentação de tecnologias industriais avançadas em Centros Tecnológicos.	Estudos de casos múltiplos (<i>Doutorado sanduíche</i>)	Entrevistas semiestruturadas a usuários das tecnologias da Indústria 4.0, engenheiros e gestores de centros tecnológicos; observações não-participativas.	Análise de conteúdo com triangulação teórica e prática.
Estudo 4	Proposição de método de planejamento de projetos para demonstração de tecnologias industriais avançadas	Como planejar pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão das tecnologias industriais avançadas?	Desenvolver um método para o planejamento de pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão das tecnologias industriais avançadas, visando sua adoção	<i>Design Science Research</i> (DSR)	Grupo focal exploratório com praticantes de projetos para avaliação do artefato; validação do artefato por potenciais usuários e preenchimento de questionário.	Análise de conteúdo com triangulação teórica e prática.

Nota. Adaptado de da Costa *et al.* (2024).

1.5 DECLARAÇÃO DE USO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Esta tese utilizou ferramentas de Inteligência Artificial (IA) generativa com finalidades específicas de apoio à produção acadêmica. A ferramenta ChatGPT (versão 5.0) foi empregada para auxiliar na revisão gramatical, aprimoramento da fluidez textual, traduções, revisão de trechos e organização de ideias, sem geração de conteúdo original.

Adicionalmente, foi utilizada a plataforma *Synthesia* (<https://www.synthesia.io/>) para a criação de vídeos tutoriais aplicados ao método FRONTI4.0, disponibilizados no canal do YouTube (<https://www.youtube.com/@edicleymachado/playlists>).

O método FRONTI4.0 também propõe o uso de *prompts* estruturados em ferramentas de IA generativa para gerar *insights* sobre a relação entre Personas e as demonstrações das TIA, como forma de apoiar a análise qualitativa. Os *prompts* utilizados foram direcionados à sugestão de estruturação textual e organização de ideias, sem substituição da autoria intelectual ou a produção de conteúdo original da pesquisa.

2. ESTUDO 1 – GESTÃO DE BARREIRAS DE ADOÇÃO DAS TECNOLOGIAS INDUSTRIAIS AVANÇADAS: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO EM UM CENTRO TECNOLÓGICO

2.1. INTRODUÇÃO

A indústria de manufatura tem buscado a adoção de tecnologias disruptivas que promovam uma produção mais enxuta por meio da digitalização de processos e do uso de máquinas inteligentes (Jan *et al.*, 2023). Essa transição é sustentada pelo conceito da Indústria 4.0 (I4.0), que tem transformado práticas industriais tradicionais por meio da integração entre o mundo físico e o digital (Golovianko *et al.*, 2022; Santhi & Muthuswamy, 2023). Essa fusão abre possibilidades inovadoras para o crescimento empresarial no século XXI (Calabrese *et al.*, 2022). Tal transformação tem sido impulsionada por avanços como Inteligência Artificial, redes de sensores inteligentes, Internet das Coisas, manufatura aditiva e uso intensivo de dados (Jan *et al.*, 2023).

A adoção da Indústria 4.0 possibilita a criação das chamadas “fábricas inteligentes”, caracterizadas por processos baseados em redes interconectadas, capazes de monitorar, otimizar e prever falhas, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a vida útil dos equipamentos (Soori *et al.*, 2023). Tais avanços proporcionam maior agilidade, flexibilidade e adaptabilidade em comparação aos sistemas anteriores (Thames & Schaefer, 2016), resultando em ganhos de produtividade e competitividade (Cugno *et al.*, 2021).

Apesar dos benefícios, diversos setores da manufatura (automotivo, alimentício, farmacêutico, cosmético, eletrônico, entre outros) ainda enfrentam barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas (TIA) (Elhusseiny & Crispim, 2022; Herceg *et al.*, 2020). A literatura identifica obstáculos como altos investimentos financeiros, escassez de mão de obra qualificada, resistência à mudança e limitações infraestruturais (P. Kumar *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020). Talke e Heidenreich (2014) destacam que consumidores muitas vezes rejeitam inovações sem considerar seu potencial, inviabilizando sua adoção. Estudos empíricos apresentam diferentes perspectivas: Stentoft *et al.* (2021) identificaram que as percepções de gestores de pequenas e médias empresas (PME), não afetam o nível de prontidão para adoção, sugerindo maior engajamento com iniciativas de I4.0 ou obrigatoriedade legal como possíveis explicações. Em contrapartida, Raj *et al.* (2020) e Cugno *et al.* (2021) apontam que tais percepções impactam negativamente a adoção e as oportunidades percebidas, ressaltando a

importância da abertura organizacional às tecnologias emergentes, como também reforçado por Zheng *et al.* (2023).

Nesse contexto, empresas fornecedoras de soluções industriais têm adotado estratégias para mitigar tais barreiras e acelerar a difusão das TIA, como a criação de provas de conceito (PoCCs), que simulam processos reais para validar tecnologias e minimizar riscos na adoção (Ramos *et al.*, 2023). Quando sistematizadas em ambientes físicos, essas iniciativas são denominadas Centros Tecnológicos (CTs), voltados à demonstração de soluções e protótipos, com apoio técnico especializado (European Commission, 2020). Exemplos incluem o *Festo Experience Center (FEC)*, com unidades na Alemanha, Brasil, Estados Unidos e China (Festo, n.d.); os trinta e sete PoCCs da Omron, distribuídos em diversos continentes (Omron, n.d.); e o Centro de Inovação e Tecnologia da GS1, presente nas Américas, Europa e Ásia (Associação Brasileira de Automação, 2019).

Durante as interações entre especialistas e clientes (decisores ou influenciadores) nos CTs, podem emergir barreiras que dificultam a tomada de decisão para adoção das TIA. Superar esses obstáculos exige abordagens adequadas (Calabrese *et al.*, 2022). Diante disso, este estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: *Quais são as barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas em demonstrações em Centros Tecnológicos?* E tem como objetivo explorar as barreiras de adoção das tecnologias industriais avançadas que emergem durante as interações em Centros Tecnológicos.

Para isso, o estudo foi estruturado em etapas metodológicas que contemplam: (i) uma revisão da literatura sobre as barreiras à adoção das TIA; (ii) a realização de um grupo focal com praticantes da Indústria 4.0; e (iii) a concepção e execução de oficinas de demonstração das TIA em um evento com discentes de programas de pós-graduação *stricto sensu*. As oficinas, nesse contexto, são entendidas como eventos de aprendizagem baseados na interação com pessoas e produtos, favorecendo a compreensão prática do fenômeno estudado (Nickelsen & Bal, 2021).

Este artigo está organizado em cinco seções: referencial teórico sobre a Indústria 4.0 e as barreiras à sua adoção; descrição dos procedimentos metodológicos; apresentação e análise dos resultados; e, por fim, discussão e considerações finais.

2.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nas últimas décadas, observou-se um aumento significativo no interesse acadêmico pela temática da Indústria 4.0 (Rahman *et al.*, 2025), acompanhado por um crescimento das

iniciativas relacionadas ao tema nas organizações de manufatura (Rana *et al.*, 2025). Esta seção aborda os conceitos fundamentais da Indústria 4.0 e suas tecnologias associadas (Ghobakhloo, 2020), além de apresentar uma revisão da literatura sobre as barreiras que dificultam sua adoção (Raj *et al.*, 2020).

2.2.1. Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0, também conhecido como a Quarta Revolução Industrial, teve origem na Alemanha (Ghobakhloo, 2020; Satpathy *et al.*, 2020; Bahrin *et al.*, 2016; Lasi *et al.*, 2014). Desde que o governo alemão introduziu a Indústria 4.0 como parte central de sua estratégia de alta tecnologia em 2011, o termo ganhou projeção global, sendo amplamente discutido por empresas, centros de pesquisa e universidades (Kumar *et al.*, 2017).

A I4.0 abrange um conjunto de tendências voltadas à modernização dos processos industriais, elevando-os a um novo patamar de inteligência e automação. Essa transformação fundamenta-se nos Sistemas Ciberfísicos (*Cyber-Physical Systems – CPS*), que integram de forma eficiente componentes físicos e digitais por meio de tecnologias avançadas de sensores, computação e redes (Alguliyev *et al.*, 2018; Kumar *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2016).

Os pilares tecnológicos da Indústria 4.0 incluem a inteligência artificial (IA), a robótica, a Internet das Coisas (*IoT*) e a análise de *big data* (Oyetade *et al.*, 2025). A adoção dessas tecnologias tem possibilitado a conversão de fábricas tradicionais em “fábricas inteligentes”, promovendo melhorias significativas na flexibilidade operacional, na personalização contínua e na variedade de produtos ofertados (Forcina & Falcone, 2021; Kumar *et al.*, 2021).

Diante dessas vantagens, há uma crescente demanda das indústrias de manufatura por soluções da Indústria 4.0, com o intuito de reduzir custos, encurtar prazos de entrega e ampliar sua capacidade inovadora (Zheng *et al.*, 2023). Essa transformação digital tem levado as empresas a assumirem um papel central na liderança da inovação industrial ao longo da última década (de Paula *et al.*, 2023). Segundo Cugno *et al.* (2021), diferentes economias têm concentrado esforços na implantação dessas tecnologias visando à melhoria da competitividade e da produtividade locais, estimuladas pelos avanços tecnológicos que possibilitaram soluções até então inimagináveis (Sharma *et al.*, 2021).

Apesar dos benefícios associados à maior agilidade, flexibilidade e adaptabilidade quando comparada aos sistemas de manufatura convencionais (Thames & Schaefer, 2016), as organizações continuam enfrentando barreiras à adoção das TIA (Attiany *et al.*, 2023; Govindan & Arampatzis, 2023; Raj *et al.*, 2020). Essas barreiras são ainda mais acentuadas em países em

desenvolvimento, que enfrentam desvantagens competitivas decorrentes do acesso limitado às tecnologias e à infraestrutura necessária (Eliseo *et al.*, 2022).

A próxima seção apresenta um levantamento teórico das principais barreiras que dificultam ou impedem a adoção plena das tecnologias associadas à Indústria 4.0.

2.2.2. Barreiras de adoção das tecnologias industriais avançadas

A Indústria 4.0 tem contribuído significativamente para a ampliação da capacidade produtiva de empresas manufatureiras em escala global, impulsionada pela incorporação de tecnologias emergentes (Elhusseiny & Crispim, 2022). Diversos benefícios são associados à adoção dessas tecnologias, destacando-se o aumento da produtividade, a flexibilidade nos processos, a elevação da eficiência operacional e a redução de custos de produção (Roblek *et al.*, 2016; Sharma *et al.*, 2021; Thames & Schaefer, 2016), conferindo vantagens competitivas em relação a processos tradicionais.

Apesar desses benefícios amplamente reconhecidos na literatura, empresas de diferentes setores industriais e localizadas em distintas regiões enfrentam desafios para adotar as TIA (Eliseo *et al.*, 2022; Kumar *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020). Tais barreiras dificultam ou até mesmo inviabilizam a efetivação de iniciativas relacionadas à transformação digital (Kumar *et al.*, 2021; Stornelli *et al.*, 2021).

As barreiras à adoção da Indústria 4.0 são amplamente discutidas na literatura internacional, evidenciando sua abrangência global, pois impactam tanto economias desenvolvidas (Müller, 2019; Stentoft *et al.*, 2021) quanto países em desenvolvimento (Chauhan *et al.*, 2021; Eliseo *et al.*, 2022). Essas barreiras têm sido analisadas sob diversas perspectivas, considerando a maturidade econômica dos países (Rahman *et al.*, 2025; Elhusseiny & Crispim, 2022; Orzes, Corso & Magistrale, 2018; Raj *et al.*, 2020), o porte empresarial, como PME (Cugno *et al.*, 2021; Gonzalez *et al.*, 2021; Khan *et al.*, 2022; Rawindaran *et al.*, 2021), e ainda o escopo das operações, como é o caso de empresas multinacionais (Horváth & Szabó, 2019; Narwane *et al.*, 2021).

Embora as barreiras sejam amplamente distribuídas, países com menor maturidade industrial enfrentam desvantagens competitivas mais acentuadas, especialmente pela limitação de acesso às tecnologias, à infraestrutura e à mão de obra qualificada (Eliseo *et al.*, 2022; Elhusseiny & Crispim, 2022). Nessas economias, destacam-se barreiras associadas à necessidade de altos investimentos, ausência de políticas públicas de incentivo e carência de profissionais capacitados.

A literatura especializada tem identificado diversas barreiras que dificultam a implementação da Indústria 4.0, entre as quais se destacam: escassez de mão de obra qualificada; elevados custos e incertezas quanto ao retorno do investimento; resistência organizacional à mudança (Cugno *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020); riscos relacionados à segurança da informação; ausência de normas, regulamentações e mecanismos de certificação (Kumar *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020); falta de uma estratégia digital clara; baixo grau de maturidade tecnológica (Khan *et al.*, 2022; Raj *et al.*, 2020); deficiências na infraestrutura tecnológica; ausência de parceiros estratégicos e vínculos com universidades (Cugno *et al.*, 2021; Gonzalez *et al.*, 2021); e, ainda, a disponibilidade de mão de obra de baixo custo em algumas regiões, o que desincentiva a automação (Rahman *et al.*, 2025).

A fim de consolidar os principais entraves à adoção da Indústria 4.0, foi realizada uma revisão da literatura envolvendo 31 estudos, dos quais 17 apresentam abordagens empíricas com validação prática das barreiras e 14 são fundamentados em revisões sistemáticas da literatura. Como resultado, foram identificadas nove barreiras-chave, classificadas em quatro categorias: Econômicas, Organizacionais, Tecnológicas e Relacionadas a Pessoas, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3

Barreiras relacionadas à adoção das tecnologias industriais avançadas

Categorias	Barreiras	Descrição	Autores
Econômico	B1. Alto investimento e incertezas em relação ao retorno do investimento	Altos investimentos iniciais para implantação das tecnologias, falta de recursos financeiros e incertezas sobre o retorno do investimento (<i>payback</i>).	Rahman <i>et al.</i> (2025); Spaltini <i>et al.</i> (2024); Cordeiro <i>et al.</i> (2024); Zheng <i>et al.</i> (2023); Trevisan <i>et al.</i> (2023); Govindan & Arampatzis (2023) ; Khilil <i>et al.</i> (2023); Caiado <i>et al.</i> (2022);); da Silva <i>et al.</i> (2022); Calabrese <i>et al.</i> (2022); Perotti <i>et al.</i> (2022); Shrivastav (2022) ; Elhusseiny & Crispim (2022); Rocha & Kissimoto (2022); Stornelli <i>et al.</i> (2021); Gonzalez <i>et al.</i> (2021); Narwane <i>et al.</i> (2021); Rawindaran <i>et al.</i> (2021); Kumar <i>et al.</i> (2021); Cugno <i>et al.</i> (2021); Majumdar <i>et al.</i> (2021); Raj <i>et al.</i> (2020); Herceg <i>et al.</i> (2020); Moeuf <i>et al.</i> (2020); e Kumar <i>et al.</i> (2017).
Organizacional	B2. Falta de uma estratégia digital	Falta de conhecimento dos benefícios, falta de apoio da alta gestão, pensamento de curto prazo e metas não claras.	Rahman <i>et al.</i> (2025); Spaltini <i>et al.</i> (2024); Khilil <i>et al.</i> (2023); Rincon-Guio <i>et al.</i> (2023); Trevisan <i>et al.</i> (2023); Shrivastav (2022); Elhusseiny & Crispim (2022); Rathore <i>et al.</i> (2022); Stentoft <i>et al.</i> (2021); Gonzalez <i>et al.</i> (2021); Narwane <i>et al.</i> (2021); Raj <i>et al.</i> (2020); e Müller (2019).
	B3. Falta de parceiros qualificados e parcerias com Universidades	Falta de fornecedores dispostos a transferir conhecimento e pouca aproximação com universidades.	Trevisan <i>et al.</i> (2023); Zheng <i>et al.</i> (2023); Narwane <i>et al.</i> (2021); Cugno <i>et al.</i> (2021); e Gonzalez <i>et al.</i> (2021).
	B4. Baixo Nível de Maturidade das tecnologias relacionadas	Processo de automação pouco alinhados com os conceitos da Quarta Revolução Industrial, ainda com tecnologias não conectadas.	Rahman <i>et al.</i> (2025); Spaltini <i>et al.</i> (2024); Zheng <i>et al.</i> (2023); e Raj <i>et al.</i> (2020).
Tecnológico	B5. Falta de Infraestrutura	Fabricas e galpões não conectados, sem acesso à Internet de alta velocidade no ambiente de produção e falta de alinhamento com área de TI.	Rahman <i>et al.</i> (2025); Cordeiro <i>et al.</i> (2024); Spaltini <i>et al.</i> (2024); Zheng <i>et al.</i> (2023); Trevisan <i>et al.</i> (2023); Khilil <i>et al.</i> (2023); Rathore <i>et al.</i> (2022); Kuteyi & Winkler (2022); Elhusseiny & Crispim (2022); Calabrese <i>et al.</i> (2022); Perotti <i>et al.</i> (2022); Gonzalez <i>et al.</i> (2021); Narwane <i>et al.</i> (2021); Kumar <i>et al.</i> (2021); Cugno <i>et al.</i> (2021); Raj <i>et al.</i> (2020); e Kumar <i>et al.</i> (2017)

Continuação da tabela

	B6. Falta de Normas, Regulamentos e Formas de Certificação	Falta de padrões seguros e comuns, existem desafios na integração de redes e ambiente regulatório desfavorável.	Rahman <i>et al.</i> , (2025); Spaltini <i>et al.</i> , (2024); Govindan and Arampatzis, (2023); Trevisan <i>et al.</i> , (2023); Rincon-Guio <i>et al.</i> , (2023); Kuteyi and Winkler, (2022); Calabrese <i>et al.</i> , (2022); Rathore <i>et al.</i> , (2022); Stonelli <i>et al.</i> , (2021); Gonzalez <i>et al.</i> , (2021); Kumar <i>et al.</i> , (2021); Cugno <i>et al.</i> , (2021); Raj <i>et al.</i> , (2020); Müller, (2019); e Moeuf <i>et al.</i> , (2020).
	B7. Riscos relacionados à Segurança de Dados	A maior conectividade traz vulnerabilidades à ataques cibernéticos e cria preocupações a respeito dos riscos de segurança de dados sensíveis.	Rahman <i>et al.</i> (2025); Spaltini <i>et al.</i> (2024); Trevisan <i>et al.</i> (2023); Govindan & Arampatzis (2023); Caiado <i>et al.</i> (2022); da Silva <i>et al.</i> (2022); Calabrese <i>et al.</i> (2022); Perotti <i>et al.</i> (2022); Rathore <i>et al.</i> (2022); Elhusseiny & Crispim (2022); Narwane <i>et al.</i> (2021); Rawindaran <i>et al.</i> (2021); Kumar <i>et al.</i> (2021); Raj <i>et al.</i> (2020); Stornelli <i>et al.</i> (2021); e Müller (2019).
Pessoas	B8. Falta de mão de obra qualificada	Falta de profissionais qualificados para atuarem com as tecnologias industriais avançadas e falta de habilidades de colaboração e transferência de conhecimento.	Rahman <i>et al.</i> (2025); Spaltini <i>et al.</i> (2024); Trevisan <i>et al.</i> (2023); Govindan & Arampatzis (2023) ; Khlil <i>et al.</i> (2023); Rincon-Guio <i>et al.</i> (2023); da Silva <i>et al.</i> (2022); Calabrese <i>et al.</i> (2022); Perotti <i>et al.</i> (2022); Kuteyi & Winkler (2022); Caiado <i>et al.</i> (2022); Shrivastav (2022); Elhusseiny & Crispim (2022); Stornelli <i>et al.</i> (2021); Gonzalez <i>et al.</i> (2021); Narwane <i>et al.</i> (2021); Rawindaran <i>et al.</i> (2021); Kumar <i>et al.</i> (2021); Cugno <i>et al.</i> (2021); Majumdar <i>et al.</i> (2021); Stentoft <i>et al.</i> (2021); Raj <i>et al.</i> (2020); Herceg <i>et al.</i> (2020); Moeuf <i>et al.</i> (2020); Müller (2019); e Kumar <i>et al.</i> (2017).
	B9. Resistência à Mudança	No nível de pessoas as alterações na rotina e o receio de perder a o emprego. No nível corporativo a falta de gestão da mudança e incentivos a inovação.	Rahman <i>et al.</i> (2025); Spaltini <i>et al.</i> (2024); Trevisan <i>et al.</i> (2023); Govindan & Arampatzis (2023) ; Rincon-Guio <i>et al.</i> (2023); Rathore <i>et al.</i> (2022); Baumgartner <i>et al.</i> (2022); Elhusseiny & Crispim (2022); Rocha & Kissimoto (2022); Caiado <i>et al.</i> (2022); Calabrese <i>et al.</i> (2022); Narwane <i>et al.</i> (2021); Kumar <i>et al.</i> (2021); Stornelli <i>et al.</i> (2021); Cugno <i>et al.</i> (2021); Raj <i>et al.</i> (2020); e Müller (2019).

Nota. Adaptado de Spaltini *et al.*, 2024

A literatura destaca diversas barreiras, sendo as mais frequentes apresentadas nos artigos estudados, descritas abaixo (rotuladas como “B”):

B1. Alto investimento e incertezas quanto ao retorno financeiro: As questões financeiras são recorrentes na literatura, tanto em estudos empíricos quanto teóricos, sendo apontadas como uma das principais barreiras à implementação da Indústria 4.0. Rahman *et al.* (2025) destacam que as restrições financeiras representam o maior obstáculo para a adoção dessas tecnologias na indústria de alimentos e bebidas em Bangladesh. Além dos elevados custos de implementação (Calabrese *et al.*, 2022; Cordeiro *et al.*, 2024; Stornelli *et al.*, 2021), observam-se limitações de recursos internos (Majumdar *et al.*, 2021a) e escassez de financiamento externo (Narwane *et al.*, 2021). Adicionalmente, incertezas quanto ao retorno sobre o investimento dificultam a justificativa para novos aportes financeiros (da Silva *et al.*, 2022; Gonzalez *et al.*, 2021), restringindo a adesão tecnológica (Govindan & Arampatzis, 2023).

B2. Falta de uma estratégia digital: A ausência de uma estratégia digital clara é apontada como uma das causas fundamentais das barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas (Raj *et al.*, 2020). A falta de compreensão, por parte dos gestores, acerca da importância estratégica das tecnologias digitais emergentes compromete o alinhamento tecnológico dentro das organizações, dificultando a implementação eficaz dessas inovações (Stentoft *et al.*, 2021; Spaltini *et al.*, 2024).

Além disso, o fato de os investimentos em tecnologias digitais frequentemente não apresentarem retorno imediato contribui para a relutância das empresas em adotar estratégias voltadas ao longo prazo (Trevisan *et al.*, 2023). Esse cenário é agravado pela ausência de uma visão holística por parte da alta gestão, o que resulta na falta de comprometimento institucional necessário para impulsionar a transformação digital (Elhusseiny & Crispim, 2022; Raj *et al.*, 2020).

Dessa forma, a inexistência de uma estratégia digital estruturada limita a capacidade das empresas de planejar, coordenar e sustentar a adoção das tecnologias industriais avançadas, tornando-se um obstáculo crítico à inovação e à competitividade em ambientes industriais cada vez mais dinâmicos e digitalizados.

B3. Falta de parceiros qualificados e parcerias com universidades: A implementação das tecnologias industriais avançadas requer uma abordagem colaborativa, tanto para a capacitação de indivíduos quanto para o desenvolvimento de atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (Cugno *et al.*, 2021). Essa colaboração deve extrapolar os limites internos das organizações, englobando parcerias com fornecedores, centros de

pesquisa e universidades. Nesse contexto, destaca-se a relevância da transferência de conhecimento e das sinergias entre os setores público e privado, que, quando ausentes, configuram uma barreira significativa ao avanço tecnológico (Gonzalez *et al.*, 2021).

Entre os principais obstáculos à efetivação dessas parcerias estão a falta de confiança entre os atores envolvidos, a limitada integração das partes interessadas e a ausência de mecanismos eficazes de coordenação (Trevisan *et al.*, 2023). A indisponibilidade de parceiros qualificados, capazes de compartilhar conhecimento técnico e tecnológico relacionado à Indústria 4.0, compromete o processo de adoção dessas tecnologias (Cugno *et al.*, 2021; Gonzalez *et al.*, 2021; Zheng *et al.*, 2023).

Adicionalmente, torna-se essencial o fortalecimento das conexões com universidades e institutos de pesquisa, cuja atuação pode fomentar a transferência de conhecimento científico e o desenvolvimento de soluções tecnológicas adaptadas à realidade das empresas (Cugno *et al.*, 2021; Gonzalez *et al.*, 2021). Nesse sentido, a coordenação estratégica com fornecedores também se apresenta como um elemento crítico para assegurar a sustentabilidade tecnológica, viabilizando ciclos contínuos de capacitação e inovação (Narwane *et al.*, 2021).

B4. Baixo nível de maturidade das tecnologias relacionadas: A Indústria 4.0 abrange um conjunto de tecnologias avançadas e conceitualmente complexas, cuja implementação requer uma preparação tecnológica adequada por parte das empresas. Essa preparação é considerada fundamental para viabilizar a adoção bem-sucedida dessas tecnologias (Spaltini *et al.*, 2024). Nesse contexto, as organizações apresentam diferentes níveis de prontidão, isto é, distintos graus de capacidade para explorar e usufruir dos benefícios proporcionados pela Indústria 4.0 (Stentoft *et al.*, 2021).

No entanto, o baixo nível de maturidade tecnológica não é unanimemente reconhecido na literatura como uma barreira à adoção dessas tecnologias. Raj *et al.* (2020), por exemplo, consideram a maturidade tecnológica insuficiente como um fator que influencia negativamente o processo de adoção. Corroborando essa visão, Zheng *et al.* (2023) afirmam que a percepção de barreiras relacionadas à imaturidade e à falta de confiabilidade tecnológica tende a diminuir à medida que a empresa avança na incorporação de novas soluções digitais. Os autores também destacam que a maturidade da infraestrutura de TI constitui um dos principais impulsionadores da adoção da Indústria 4.0.

Em contrapartida, Stentoft *et al.* (2021) argumentam que o nível de maturidade tecnológica não exerce influência significativa sobre a decisão de adoção, sugerindo que outros fatores podem ser mais determinantes no processo. Assim, observa-se uma divergência teórica

quanto à relevância dessa barreira, evidenciando a necessidade de estudos adicionais para esclarecer o real impacto da maturidade tecnológica na difusão da Indústria 4.0.

B5. Falta de infraestrutura: A conectividade, elemento central das tecnologias associadas à Indústria 4.0, exige a existência de uma infraestrutura robusta de tecnologia da informação (TI) e instalações de alta tecnologia (Narwane *et al.*, 2021). Um dos requisitos fundamentais para a concretização da Indústria 4.0 é a disponibilidade de banda larga confiável e de alta velocidade, essencial para assegurar a integração entre sistemas, dispositivos e plataformas digitais (Raj *et al.*, 2020).

Entretanto, a indisponibilidade de infraestrutura adequada, especialmente em PME, constitui uma barreira significativa à adoção dessas tecnologias (Elhusseiny & Crispim, 2022; Gonzalez *et al.*, 2021; Narwane *et al.*, 2021). Tal limitação não se restringe a países em desenvolvimento; mesmo em nações industrializadas, como a Alemanha, observa-se que apenas grandes corporações, com maior capacidade de investimento, conseguem dispor da infraestrutura tecnológica necessária (Raj *et al.*, 2020).

A ausência de sistemas avançados de tecnologia da informação e comunicação (TIC) compromete a implantação plena da Indústria 4.0, dificultando a digitalização dos processos produtivos e a interoperabilidade entre sistemas (Cugno *et al.*, 2021; Khilil *et al.*, 2023). Infraestruturas inadequadas tornam inviável a adoção de tecnologias como a *IoT*, colocando em risco a competitividade e a sustentabilidade dos negócios (Raj *et al.*, 2020).

Adicionalmente, o estudo de Rahman *et al.* (2025) sugere que a precariedade da infraestrutura, em muitos casos, decorre de restrições financeiras enfrentadas pelas empresas, as quais limitam a capacidade de investimento em tecnologias essenciais para a transição digital. Assim, a ausência de infraestrutura qualificada é um obstáculo estrutural que precisa ser superado para viabilizar a transformação digital promovida pela Indústria 4.0.

B6. Falta de normas, regulamentos e formas de certificação: A ausência de normas, regulamentações e mecanismos de certificação é apontada como uma barreira significativa à adoção das tecnologias industriais avançadas, sendo discutida na literatura sob duas perspectivas principais. A primeira refere-se à inexistência de padrões de protocolos de comunicação entre máquinas. A diversidade de equipamentos que operam com diferentes protocolos representa um desafio para a integração e interoperabilidade dos sistemas industriais, especialmente em um contexto caracterizado pela crescente complexidade tecnológica dos processos produtivos (Calabrese *et al.*, 2022; Spaltini *et al.*, 2024).

A segunda perspectiva diz respeito à escassez de regulamentações claras relacionadas à propriedade intelectual, sobretudo em áreas como design e impressão de produtos. A ausência

de diretrizes bem definidas nesse campo acarreta riscos significativos de violação de direitos autorais, os quais podem comprometer a segurança jurídica e a confiabilidade durante a avaliação e implementação de novas tecnologias (Stornelli *et al.*, 2021).

Essas lacunas regulatórias são particularmente críticas em países com economias em desenvolvimento, onde a ausência de padrões técnicos dificulta a colaboração entre empresas, além de representar um entrave à consolidação de ecossistemas inovadores voltados à Indústria 4.0 (Raj *et al.*, 2020; Cugno *et al.*, 2021). Dessa forma, a carência de normas e certificações adequadas limita o avanço tecnológico e a competitividade industrial nesses contextos.

B7. Riscos relacionados à segurança de dados: A Indústria 4.0, por se basear em tecnologias conectadas à internet, é particularmente vulnerável a ataques cibernéticos (Narwane *et al.*, 2021). O aumento expressivo de dispositivos industriais interconectados potencializa os riscos de ciberataques, tornando os sistemas produtivos mais suscetíveis a invasões que podem comprometer dados sensíveis, processos organizacionais e relações com fornecedores (Rawindaran *et al.*, 2021). Em razão disso, a segurança e a privacidade da informação constituem desafios críticos para a plena adoção das tecnologias industriais avançadas (Kumar *et al.*, 2021; Narwane *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020).

A literatura destaca que muitas empresas ainda apresentam uma compreensão limitada sobre os riscos e impactos dos crimes cibernéticos, o que pode resultar em inconsistências entre as diretrizes de segurança da informação e as políticas de tecnologia da informação (Rawindaran *et al.*, 2021). Essa desarticulação compromete a eficácia dos sistemas de proteção e evidencia a necessidade de uma abordagem integrada de gestão de riscos digitais.

As barreiras associadas à segurança e à proteção de dados são recorrentes nos estudos que analisam os fatores impeditivos da digitalização industrial (Perotti *et al.*, 2022; Spaltini *et al.*, 2024; Stornelli *et al.*, 2021). Além dos riscos técnicos, essas barreiras são intensificadas por exigências legais complexas, especialmente aquelas relacionadas às legislações regionais de proteção de dados, como as que regem o uso da *IoT*, da IA e do aprendizado de máquina (Rawindaran *et al.*, 2021). A conformidade com essas normas é essencial, tanto para garantir a integridade dos dados quanto para viabilizar a continuidade operacional e a confiança dos stakeholders.

B8. Falta de mão de obra qualificada: A escassez de profissionais qualificados e a insuficiência de conhecimentos técnicos específicos sobre as tecnologias associadas à Indústria 4.0 constituem barreiras amplamente reconhecidas na literatura científica, tanto em estudos teóricos quanto empíricos (Caiado *et al.*, 2022; da Silva *et al.*, 2022; Gonzalez *et al.*, 2021;

Majumdar *et al.*, 2021b; Stentoft *et al.*, 2021). Essa lacuna de competências afeta diretamente a capacidade das empresas de adotar e operar sistemas digitais avançados.

As competências requeridas para atuação em ambientes industriais orientados pela Indústria 4.0 incluem, entre outras, domínio em análise e gestão de dados, comunicação eficaz e colaboração interdisciplinar, criação de conteúdo digital, segurança da informação e resolução de problemas complexos (Cugno *et al.*, 2021). Evidências empíricas demonstram que o grau de qualificação e formação dos colaboradores está positivamente correlacionado à aceitação tecnológica e ao sucesso da implementação dessas inovações (da Silva *et al.*, 2022).

Apesar disso, observa-se uma demanda crescente por programas de capacitação e desenvolvimento de habilidades técnicas e gerenciais específicas para as tecnologias industriais avançadas, uma vez que a maioria das sociedades ainda carece de mão de obra preparada para operar em contextos de elevada complexidade tecnológica (Caiado *et al.*, 2022; Majumdar *et al.*, 2021b). A operação de máquinas, equipamentos e sistemas avançados exige profissionais com competências altamente especializadas, tanto no campo técnico quanto no gerencial (Narwane *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020).

Adicionalmente, empresas reconhecem internamente sua limitação no que se refere ao capital humano disponível para implementar plenamente o potencial da Indústria 4.0, revelando uma lacuna entre as exigências das novas tecnologias e os perfis profissionais formados pelas instituições educacionais (Raj *et al.*, 2020; Cugno *et al.*, 2021). Esse descompasso representa uma barreira de curto e longo prazo, indicando a necessidade de políticas públicas e estratégias corporativas voltadas ao fortalecimento da educação técnica, da formação continuada e da integração entre indústria e academia.

B9. Resistência à mudança: A adoção das tecnologias industriais avançadas pode impactar significativamente a rotina dos trabalhadores, alterando a carga de trabalho, o fluxo operacional, as responsabilidades e a complexidade das tarefas (Baumgartner *et al.*, 2022; Stornelli *et al.*, 2021). Embora essas mudanças possam ser avaliadas positivamente, por exemplo, com a redução do esforço físico e mental, também podem gerar percepções negativas, especialmente quando a simplificação das atividades é interpretada como uma ameaça à estabilidade do emprego (Baumgartner *et al.*, 2022; Stornelli *et al.*, 2021).

Nesse sentido, a resistência à mudança é frequentemente abordada como uma barreira de natureza humana, manifestando-se por meio da relutância dos funcionários em adotar tecnologias emergentes e alterar suas rotinas (Kumar *et al.*, 2021). Esse comportamento é, muitas vezes, motivado pelo receio da obsolescência de suas funções e da possível perda do emprego (Elhusseiny & Crispim, 2022; Stornelli *et al.*, 2021).

Além dos fatores humanos, a literatura também destaca a resistência à mudança como uma barreira organizacional, especialmente relacionada à gestão da transformação digital nas empresas. A Indústria 4.0 altera profundamente os processos de mudança organizacional, exigindo novas competências gerenciais e maior agilidade para lidar com a complexidade inerente à sua natureza interdisciplinar (Raj *et al.*, 2020; Trevisan *et al.*, 2023).

Adicionalmente, muitas organizações ainda não estão plenamente familiarizadas com os princípios e tecnologias industriais avançadas, o que contribui para a hesitação dos gestores em promover mudanças estruturais. A falta de entendimento aprofundado sobre os impactos e benefícios dessas tecnologias dificulta a construção de estratégias eficazes de adoção, reforçando a resistência interna à transformação (Narwane *et al.*, 2021).

2.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo adota uma abordagem qualitativa com caráter exploratório, conforme indicado por Creswell e Creswell (2021) e Gerring (2017). O desenho metodológico foi estruturado em cinco etapas sequenciais, conforme ilustrado na Figura 2.

Na primeira etapa, foi realizada uma revisão da literatura sobre as barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas, com o objetivo de fundamentar teoricamente a investigação. Na segunda etapa, conduziu-se um grupo focal com profissionais atuantes na Indústria 4.0, visando levantar percepções práticas e experiências sobre os desafios enfrentados na adoção dessas tecnologias.

A terceira etapa teve início ainda no contexto do grupo focal, com o delineamento preliminar das oficinas temáticas, baseadas nos insumos obtidos na etapa anterior. Na quarta etapa, foram executadas as oficinas de demonstração das tecnologias industriais avançadas (I4.0), organizadas com o intuito de promover a interação entre tecnologias, participantes e especialistas.

Os participantes consentiram voluntariamente em participar das entrevistas, após receberem uma Declaração de Consentimento que esclarecia o uso exclusivo acadêmico e o sigilo dos dados. A cópia dessa declaração está disponível no Apêndice A.

Por fim, na quinta etapa, realizou-se a avaliação das oficinas pelos participantes, com base em instrumentos qualitativos de coleta de dados, de modo a identificar percepções quanto à superação de barreiras à adoção das tecnologias apresentadas.

Figura 2*Fluxograma do processo metodológico do estudo 1*

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

2.3.1. Revisão de literatura

A etapa de levantamento teórico das barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas foi realizada por meio de uma revisão de literatura. Diferentemente da revisão sistemática, esse tipo de revisão tem como objetivo apresentar o estado da arte e as principais abordagens conceituais sobre um determinado tema, geralmente sem delimitar uma pergunta específica, abrangendo múltiplos aspectos de um tópico (Robinson & Lowe, 2015).

A análise considerou 31 e um artigos, dos quais 17 são estudos empíricos que validaram barreiras por meio de pesquisa de campo ou entrevistas com especialistas, e 14 são estudos teóricos, baseados em revisões sistemáticas da literatura.

A seleção dos artigos foi realizada por meio de buscas nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. Complementarmente, utilizou-se a técnica de amostragem em bola de neve (*snowball sampling*), que consiste na identificação de novos artigos a partir das listas de referências ou das citações presentes nos estudos previamente selecionados (Wohlin, 2014).

Os artigos analisados foram publicados no período de 2017 a 2025, conforme detalhado na Tabela 4. O objetivo desta etapa foi identificar as barreiras mais recorrentes à adoção da Indústria 4.0, destacando-se, entre as mais frequentes, os elevados custos de investimento e as incertezas quanto ao retorno financeiro (*payback*), bem como a escassez de mão de obra qualificada.

Tabela 4*Relação das barreiras por autores*

Barreiras	Rahman <i>et al.</i> , (2025)	Cordeiro <i>et al.</i> , (2024)	Spaltini <i>et al.</i> , (2024)	Govindan & Arampatzis, (2023)	Khilil <i>et al.</i> , (2023)	Rincon-Guio <i>et al.</i> , (2023)	Trevisan <i>et al.</i> , (2023)	Zheng <i>et al.</i> , (2023)	Rocha & Kissimoto, (2022)	Caiaado <i>et al.</i> , (2022)	da Silva <i>et al.</i> , (2022)	Calabrese <i>et al.</i> , (2022)	Perotti <i>et al.</i> , (2022)	Baumgartner <i>et al.</i> , (2022)	Rathore <i>et al.</i> , (2022)	Kuteyi & Winkler, (2022)	Shrivastav, (2022)	Elhusseiny & Crispim, (2022)	Stornelli <i>et al.</i> , (2021)	Gonzalez <i>et al.</i> , (2021)	Narwane <i>et al.</i> , (2021)	Rawindaran <i>et al.</i> , (2021)	Kumar <i>et al.</i> , (2021)	Cugno <i>et al.</i> , (2021)	Majumdar <i>et al.</i> , (2021)	Stentoft <i>et al.</i> , (2021)	Moeuf <i>et al.</i> , (2020)	Raj <i>et al.</i> , (2020)	Herceg <i>et al.</i> , (2020)	Müller, (2019)	Kumar <i>et al.</i> , (2017)	
B1	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	
B2	X		X		X	X									X		X	X		X	X					X		X		X		
B3							X	X											X	X			X									
B4	X		X					X																					X			
B5	X	X	X		X		X	X				X	X		X	X		X		X	X		X	X				X			X	
B6	X		X	X		X	X					X			X	X			X	X		X	X				X	X		X		
B7	X		X	X			X			X	X	X	X		X			X	X		X	X	X					X		X		
B8	X		X	X	X	X	X			X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
B9	X		X	X		X	X		X	X		X		X	X			X	X		X		X	X				X		X		

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

2.3.2. Grupo focal

Com base no levantamento das barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas, foi conduzido um grupo focal exploratório composto por profissionais atuantes na área de automação industrial. O grupo focal é uma técnica qualitativa de entrevista em profundidade realizada em formato coletivo, na qual os participantes interagem entre si sob a mediação de um pesquisador, centrando-se em um tema específico (Godoi *et al.*, 2017; Rabiee, 2004). Essa metodologia permite captar uma diversidade de pontos de vista, identificar percepções compartilhadas ou divergentes e gerar informações relevantes sobre o objeto de estudo (Rabiee, 2004).

O grupo focal teve como tema central a gestão das barreiras à Indústria 4.0 no contexto de Centros Tecnológicos (CTs), com três objetivos principais: (i) validar as barreiras identificadas na etapa anterior; (ii) compreender se e como essas barreiras se manifestam no ambiente de um CT; e (iii) obter *insights* sobre estratégias de gestão para mitigar tais barreiras nesse contexto. O primeiro objetivo corresponde à etapa dois do estudo, enquanto os dois últimos estão vinculados à etapa três, que envolve o planejamento das oficinas.

A sessão do grupo focal foi realizada de forma remota, com duração de uma hora e trinta minutos (Abreu, 2009). A atividade foi gravada e transcrita para posterior análise. Os

participantes possuíam ampla experiência técnica e comercial com tecnologias industriais avançadas, bem como vivência prática em projetos de integração, conforme detalhado na Tabela 5. A seleção dos participantes seguiu os critérios de formação em áreas da engenharia e atuação profissional em campo, especialmente em atividades de apresentação e aplicação de soluções em I4.0, como robótica e *IoT*. Ao todo, participaram sete engenheiros, todos vinculados a uma mesma empresa provedora de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0. A mediação da sessão foi conduzida pelo pesquisador responsável.

Tabela 5

Participantes do grupo focal

Participantes	Função	Graduação	Anos de experiência
Engenheiro A	Coord. de Suporte Técnico	Engenheiro Mecatrônico	20
Engenheiro B	Engenheiro de Aplicação	Engenheiro Eletrônico	15
Engenheiro C	Especialista de Produto	Engenheiro Computação	8
Engenheiro D	Gerente de Engenharia	Engenheiro Eletricista	25
Engenheiro E	Coordenador de Marketing	Engenheiro Produção	20
Engenheiro F	Engenheiro de Aplicação	Engenheiro Eletrônico	15
Engenheiro G	Especialista de Produto	Engenheiro Mecatrônico	12

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

2.3.3. Planejamento das oficinas

A terceira etapa do estudo teve início ainda durante o grupo focal, momento em que os participantes foram provocados a oferecer *insights* sobre como gerenciar as barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas (TIA) durante as apresentações dessas soluções. Com base nas contribuições obtidas, o pesquisador propôs a realização de três oficinas, posteriormente denominadas: Oficina A – Robôs Colaborativos; Oficina B – *IoT* e Conectividade; e Oficina C – Sala de Integração de Dados.

Considerando que tais barreiras podem fazer com que decisores e influenciadores se sintam inseguros ou despreparados para investir nas TIA, o principal objetivo das oficinas foi explorar a percepção dos participantes após uma exposição estruturada das tecnologias, organizada com base em argumentos direcionados à mitigação das barreiras identificadas. Assim, buscou-se fortalecer a capacidade dos participantes de avaliar as tecnologias com maior convicção e racionalidade, favorecendo uma postura propositiva diante dos desafios.

O critério de seleção das tecnologias demonstradas nas oficinas baseou-se na disponibilidade dos produtos ofertados pela empresa parceira, especializada em soluções de automação industrial, que também cedeu o espaço físico para a realização do evento. O conteúdo das oficinas foi elaborado a partir das argumentações fornecidas pelos entrevistados

durante o grupo focal, sendo essas reorganizadas de forma a estruturar as apresentações das tecnologias conforme os principais pontos de objeção levantados. A Tabela 8 apresenta a síntese da estruturação argumentativa adotada nas oficinas.

Posteriormente, foi realizada uma segunda reunião online com os participantes do grupo focal, com duração de uma hora. Nessa sessão, os argumentos compilados foram apresentados e validados, assim como um roteiro complementar elaborado para auxiliar os engenheiros na condução das apresentações.

2.3.4. Condução das oficinas

A quarta etapa da pesquisa consistiu na realização das oficinas no contexto de um evento direcionado a alunos, egressos e docentes de dois programas *stricto sensu* da área da Administração. O evento foi promovido nas instalações de uma empresa multinacional de origem japonesa, situada na cidade de São Paulo, Brasil, especializada no fornecimento de produtos para automação industrial, com foco em tecnologias industriais avançadas, tais como robôs colaborativos, conectividade entre máquinas e *IoT (Industrial Internet of Things)*.

A organização das oficinas envolveu a divisão dos participantes em três grupos — identificados como Grupos A, B e C — sem a aplicação de critérios de seleção específicos para a composição dos mesmos. Cada grupo participou sequencialmente das três oficinas, com duração aproximada de 30 minutos por oficina.

As apresentações foram conduzidas por engenheiros e especialistas em produtos da empresa. Alguns dos apresentadores, como os engenheiros identificados como A, D e F, haviam participado anteriormente do grupo focal. Além deles, dois outros engenheiros foram selecionados especificamente para conduzir as apresentações das tecnologias abordadas nas oficinas, conforme descrito na Tabela 5.

A Tabela 6, apresentada a seguir, detalha a estrutura organizacional das oficinas, incluindo os temas abordados, o tempo de duração de cada uma e os responsáveis pela condução das atividades.

Tabela 6

Organização das oficinas das tecnologias industriais avançadas

Grupos (apresentadores)	1º período - 30 minutos	2º período - 30 minutos	3º período - 30 minutos
Grupo A (Engenheiros D e H)	Oficina A	Oficina B	Oficina C
Grupo B (Engenheiros F e I)	Oficina B	Oficina C	Oficina A
Grupo C (Engenheiro A)	Oficina C	Oficina A	Oficina B

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

O pesquisador acompanhou as oficinas realizando observações não participativas (Yin, 2015), registrando as apresentações, as reações dos participantes e aspectos relevantes relacionados às barreiras à adoção da Indústria 4.0. Além disso, coletou anotações voluntárias de alguns participantes que registraram observações e questionamentos durante as atividades. O evento contou com um total de 46 participantes, sendo 37 convidados externos e 9 colaboradores da empresa fornecedora de tecnologias de automação.

Entre os participantes convidados, foram identificados profissionais com diferentes níveis de formação, incluindo bacharéis, engenheiros, mestres e doutores, que atuam como docentes, pesquisadores, gerentes de projetos e profissionais das áreas de tecnologia da informação, transformação digital e inovação, ocupando diversos níveis hierárquicos nas respectivas instituições.

2.3.5. Avaliação dos resultados

A última etapa da pesquisa consistiu na avaliação das oficinas pelos participantes e pelos engenheiros responsáveis pelas apresentações. O primeiro momento avaliativo teve como objetivo explorar a efetividade das oficinas na mitigação das barreiras à adoção da Indústria 4.0. No dia seguinte ao evento, foi enviado aos participantes um formulário digital, elaborado por meio da ferramenta *Google Forms*. O questionário foi dividido em duas partes: a primeira destinada à coleta de dados demográficos e profissionais; a segunda, composta por seis questões de múltipla escolha, acompanhadas de campos abertos para comentários justificativos.

As perguntas abordaram a experiência dos participantes nas oficinas, seu nível de familiaridade prévia com as tecnologias apresentadas e o impacto percebido das oficinas no aprofundamento de seu conhecimento.

O segundo momento da avaliação consistiu na realização de entrevistas em profundidade com os engenheiros que conduziram as oficinas. Este método, amplamente utilizado nas ciências humanas e sociais, visa à obtenção de relatos detalhados sobre a experiência dos entrevistados (Brinkmann, 2014). O objetivo foi identificar a percepção dos engenheiros quanto ao formato das oficinas e sua contribuição para a gestão das barreiras à adoção da Indústria 4.0. A Tabela 7 apresenta a lista dos engenheiros participantes e suas respectivas contribuições ao estudo.

Tabela 7*Participação dos engenheiros das atividades*

Participantes	Função	Graduação	Anos de experiência	Grupo Focal	Apresentação Oficinas	Entrevista
Engenheiro A	Coord. de Suporte Técnico	Engenheiro Mecatrônico	20	X	X	X
Engenheiro B	Engenheiro de Aplicação	Engenheiro Eletrônico	15	X	-	-
Engenheiro C	Especialista de Produto	Engenheiro Computação	8	X	-	-
Engenheiro D	Gerente de Engenharia	Engenheiro Eletricista	25	X	X	X
Engenheiro E	Coordenador de Marketing	Engenheiro Produção	20	X	-	-
Engenheiro F	Engenheiro de Aplicação	Engenheiro Eletrônico	15	X	X	X
Engenheiro G	Especialista de Produto	Engenheiro Mecatrônico	12	X	-	-
Engenheiro H	Engenheiro de Aplicação	Engenheiro Controle e Automação	7	-	X	X
Engenheiro I	Especialista de Produto	Engenheiro Eletrônico	8	-	X	X

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

2.4. RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados empíricos das diferentes etapas do estudo, organizados em subseções relativas às principais etapas metodológicas.

2.4.1. Grupo focal

O grupo focal com os profissionais da área de automação industrial permitiu validar as barreiras identificadas na etapa de revisão de literatura. Os depoimentos obtidos reforçaram a relevância das barreiras mapeadas e forneceram subsídios empíricos para a elaboração das oficinas. Por exemplo, o Engenheiro B destacou que:

“Ao representar as tecnologias para um executivo, o enfoque maior é no custo-benefício e no retorno do investimento, e menos nos aspectos técnicos. Um discurso que inclua elementos didáticos para esclarecer dúvidas, características de investimento inicial, *payback*, bem como aspectos positivos e negativos das tecnologias, faz total sentido para auxiliar na tomada de decisão sobre a adoção das tecnologias industriais avançadas”.

O Engenheiro A, por sua vez, observou que:

“Na maioria das apresentações realizadas no Centro Tecnológico, recebo *feedbacks* relacionados à resistência à mudança, retorno de investimento e infraestrutura. Sobre

resistência à mudança, muitas empresas ainda preferem a mão de obra humana, por considerarem mais fácil mensurar os resultados”.

Esse mesmo engenheiro acrescentou que:

“Em relação à infraestrutura, por exemplo, ao apresentar um robô móvel (*AMR*), muitas empresas questionam a real necessidade de se disponibilizar uma rede sem fio para o controle do robô na fábrica, pois nem sempre dispõem desse recurso”.

O Engenheiro F afirmou que:

“O retorno do investimento (*payback*) é a principal preocupação. Em praticamente todas as apresentações somos questionados: 'Em quanto tempo recuperaremos o investimento?'”.

Complementando esse ponto, o Engenheiro G relatou:

“A abordagem das empresas sobre retorno do investimento geralmente parte da lógica de ‘quantas pessoas posso retirar do processo’ para ‘quantas pessoas estarão disponíveis para executar outras atividades’”.

Já o Engenheiro D chamou atenção para as implicações organizacionais da adoção tecnológica:

“[...] Quando tentamos implementar mudanças ao digitalizar processos, os colaboradores enxergam isso como uma ameaça”.

Além da validação das nove barreiras identificadas, os participantes do grupo focal forneceram contribuições relevantes para o desenvolvimento das oficinas com uma abordagem direcionada ao perfil do público-alvo. O Engenheiro B observou que:

“[...] O desafio é compreender o perfil da pessoa ou grupo para o qual as tecnologias industriais avançadas serão apresentadas”.

Nesse mesmo sentido, o Engenheiro E ressaltou o papel estratégico das empresas provedoras de soluções:

“O papel institucional das empresas fornecedoras de soluções para a Indústria 4.0 é contribuir com a evolução industrial. Isso exige compreender o público-alvo e ajustar o discurso, pois o nível de conhecimento técnico e o interesse variam significativamente entre os níveis operacionais, técnicos, gerenciais e executivos”.

As declarações dos engenheiros reforçam a importância de adaptar as estratégias de comunicação dentro dos Centros Tecnológicos (CTs), considerando as barreiras específicas que influenciam a adoção das tecnologias. Ainda durante essa sessão, foram discutidos contra-argumentos voltados à superação dessas barreiras, com o intuito de estruturar as apresentações das tecnologias que compuseram as oficinas da Indústria 4.0.

Os contra-argumentos apresentados basearam-se na experiência empírica dos participantes e foram aplicados no contexto das três oficinas temáticas: Robôs Colaborativos, *IoT* & Conectividade e Sala de Integração de Dados. Cada uma das nove barreiras foi mapeada em relação às tecnologias apresentadas e a Tabela 8 apresenta os principais argumentos utilizados nas três oficinas (Robôs Colaborativos, *IoT* & Conectividade e Integração de Dados) para contrapor as barreiras de adoção das tecnologias industriais avançadas mais frequentemente observadas na prática.

Tabela 8

Contra-argumentos das barreiras de adoção das TIA associadas às oficinas

Barreiras	Robôs Colaborativos	IoT & Conectividade	Sala de Integração de dados
Falta de mão de obra qualificada	• Ambiente de programação de <i>COBOTS</i> é mais amigável e intuitivo do que os robôs industriais convencionais e dispõe de recursos avançados de câmeras integradas; • Parceiro capacitado para oferecer treinamento de programação, suporte técnico e ferramentas online como vídeos de tutoriais disponíveis na Internet;	• Empresas provedoras de soluções em <i>IoT</i> investem na capacitação de parceiros técnicos (Integradores de Sistemas) assim como treinamentos para clientes; • Instituições de ensino técnico e superior investem em sistemas de automação baseados em I4.0.	• Empresas provedoras de soluções em <i>IoT</i> investem na capacitação de parceiros técnicos (Integradores de Sistemas) assim como treinamentos para clientes; • Instituições de ensino técnico e superior investem em sistemas de automação baseados em I4.0.
Alto investimento e incertezas em relação ao retorno do investimento.	• Retorno de investimento (<i>payback</i>) baseado em aumento de produtividade, redução de passivos trabalhistas, baixo custo de instalação (comparado aos robôs industriais) e flexibilidade para atender diferentes aplicações.	• Os benefícios da automação em <i>IoT</i> vão além do aspecto financeiro, incluindo maior produtividade, predição de falhas, redução do tempo de parada, coleta de dados em tempo real, rastreabilidade, diminuição de erros e menor intervenção humana nos processos.	• Os benefícios da automação em <i>IoT</i> vão além do aspecto financeiro, incluindo maior produtividade, predição de falhas, redução do tempo de parada, coleta de dados em tempo real, rastreabilidade, diminuição de erros e menor intervenção humana nos processos.
Resistência à Mudança	• Benefícios para operadores, com melhorias de ergonomia, redução de processos repetitivos e possibilidades de evolução profissional para os operadores.	• As TIA são disruptivas, e as barreiras devem ser superadas destacando seus benefícios, como redução de tarefas repetitivas, diminuição de riscos de acidentes, preservação de investimentos e aumento da produtividade.	• As TIA são disruptivas, e as barreiras devem ser superadas destacando seus benefícios, como redução de tarefas repetitivas, diminuição de riscos de acidentes, preservação de investimentos e aumento da produtividade.
Riscos relacionados à Segurança de Dados	• Os protocolos de comunicação aplicados no ambiente de automação industrial são consolidados e os controladores industriais são constantemente atualizados de forma a evitar ataques cibernéticos; • Boas práticas de segurança cibernética reduzem os riscos de ciberataques.	• Os protocolos de comunicação aplicados no ambiente de automação industrial são consolidados e os controladores industriais são constantemente atualizados de forma a evitar ataques cibernéticos; • Boas práticas de segurança cibernética reduzem os riscos de ciberataques.	• Os protocolos de comunicação Industrial são consolidados no ambiente fabril, sendo <i>Ethernet/IP</i> e <i>EtherCAT</i> para redes de controle e protocolos como <i>MQTT</i>, <i>UPC-UA</i>, <i>SQL</i> para envio de dados para os servidores na nuvem. Todos estes protocolos possuem ferramentas para proteção de dados.
Falta de Normas, Regulamentos e Formas de Certificação	• No Brasil as Normas reguladoras (NR12 e NR17) preveem segurança de máquinas e ergonomia; • Normas internacionais ISO-10218-1 e 2 e ISO-TS15066 que regulamentam normas de segurança para robôs colaborativos.	• As principais plataformas de automação industrial são abertas e utilizam protocolos de mercado, permitindo a integração de dispositivos de diferentes marcas. Além disso, as líderes do setor adotam a norma IEC 61131-3 como padrão para linguagens de programação de controladores lógicos programáveis.	• Os protocolos usados na sala de imersão são abertos e amplamente difundidos no setor industrial. A maioria das redes atuais é baseada em <i>Ethernet</i>, o que facilita a integração, e protocolos como <i>MQTT</i> podem ser aplicados em diversos dispositivos para compor uma rede <i>IoT</i>.

Falta de Infraestrutura	• No caso de robôs colaborativos, que são dispositivos para baixas cargas, não requer grandes mudanças de infraestrutura; • Conforme norma de segurança os robôs colaborativos não requerem infraestrutura de enclausuramento dos robôs (diferente dos robôs industriais convencionais)	• O desenvolvimento de novas tecnologias de comunicação móvel, tais como 5G e <i>LTE</i>, são soluções disponíveis para cobrir áreas fabris e habilitar a conectividade nas plantas fabris; • As aplicações de <i>IoT</i> podem ser implantadas de forma escalonada evitando grandes investimentos iniciais.	• O investimento em conectividade varia conforme a complexidade da aplicação e o nível de troca de dados, podendo envolver soluções como cabeamento local, redes sem fio, chips 3G/4G, rádio ou até conexão via satélite
Falta de uma estratégia digital	• Os gestores orientam estrategicamente as ações para maximizar benefícios e investimentos na transição para a I4.0, além de atuar nas causas das barreiras à sua adoção.	• Os gestores orientam estrategicamente as ações para maximizar benefícios e investimentos na transição para a I4.0, além de atuar nas causas das barreiras à sua adoção.	• O CT é um ambiente aberto aos debates e apresentação de soluções escalonáveis, robustas e tecnicamente viáveis, de forma a trazer a confiança para os tomadores de decisão investirem nas TIA.
Falta de parceiros qualificados e parcerias com Universidades	• Empresas que oferecem soluções com robôs colaborativos investem em treinamento de parceiros técnicos (Integradores de Sistemas) com objetivo de disseminar o conhecimento técnico e elevar as vendas; • Instituições de ensino técnico e superior investem em projetos de atualização de seus laboratórios com robôs colaborativos e recursos em <i>IoT</i>.	• Empresas que oferecem as TIA dispõem de parceiros técnicos qualificados, denominados Integradores de Sistemas, empresas capacitadas para realizar soluções integradas; • Para soluções de <i>IoT startups</i> é uma solução viável.	• Iniciativas como o Encontro Tecnológico, que promoveu as oficinas, exemplificam parcerias que permitem a pesquisadores desenvolver estudos sobre I4.0 em CTs. Além disso, instituições de ensino investem em tecnologias para capacitar novos profissionais e fomentar a integração com a indústria.
Baixo Nível de Maturidade das tecnologias relacionadas	• Com característica, os robôs colaborativos podem ser aplicados isoladamente, sem a necessidade de integração com outros níveis de automação; • Os robôs colaborativos representam um pilar importante da I4.0 e dispõem de diversos recursos relevantes para auxiliar as empresas nesta jornada de implementação de novas tecnologias.	• Existem modelos de maturidade que ajudam empresas a identificar seu nível de prontidão e iniciar a implantação de soluções voltadas à I4.0; • Avaliar o nível de maturidade da empresa é essencial para definir uma estratégia robusta, orientada a resultados, permitindo implantar soluções escalonáveis que evoluam conforme os benefícios são percebidos..	• Existem modelos de maturidade que ajudam empresas a identificar seu nível de prontidão e iniciar a implantação de soluções voltadas à I4.0; • Avaliar o nível de maturidade da empresa é essencial para definir uma estratégia robusta, orientada a resultados, permitindo implantar soluções escalonáveis que evoluam conforme os benefícios são percebidos.

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

2.4.2. Oficinas da Indústria 4.0

Com base nos *insights* obtidos junto aos profissionais participantes do grupo focal, foram desenvolvidas três oficinas com o objetivo de promover a apresentação estruturada das Tecnologias industriais avançadas (TIA). As oficinas foram realizadas no contexto de um evento sediado nas instalações de uma empresa multinacional de origem japonesa, localizada na cidade de São Paulo, Brasil. Essa empresa é fornecedora de soluções voltadas à automação industrial, com foco específico nas tecnologias associadas à Indústria 4.0.

As oficinas foram organizadas de forma a apresentar, de maneira didática e estratégica, diferentes tecnologias comumente utilizadas em ambientes industriais avançados. A seguir, apresenta-se a descrição das oficinas e o detalhamento das soluções tecnológicas demonstradas aos participantes.

A Figura 3 ilustra momentos do evento, com registros visuais das oficinas realizadas e das interações entre especialistas e participantes.

Figura 3

Realização das oficinas



Nota. Elaborado pelo autor (2025).

2.4.2.1. Oficina A - Robôs colaborativos

Nesta oficina foram apresentados os conceitos fundamentais relacionados aos robôs colaborativos (*Cobots*), suas principais funcionalidades e exemplos de aplicações industriais. Além disso, realizou-se uma demonstração do *software* de programação, com o intuito de evidenciar a facilidade de uso e esclarecer dúvidas iniciais quanto aos conceitos de segurança do equipamento.

O principal recurso utilizado foi o robô colaborativo modelo TM5-700, da marca Omron, com capacidade de carga de 6 kg, alcance de 700 mm, câmera integrada, velocidade de 1,1 m/s, repetibilidade de $\pm 0,05$ mm e software de programação dedicado.

Os robôs colaborativos são dispositivos leves, projetados para operar em interação direta com seres humanos, sem a necessidade de barreiras físicas de segurança. Representam uma solução flexível e alinhada ao conceito de sistemas de assistência centrados no ser humano, sendo particularmente adequados para processos de interação homem-máquina (Baumgartner *et al.*, 2022). Embora essas tecnologias ampliem as possibilidades de aplicação, também apresentam novos desafios técnicos, especialmente no que tange à integração com operadores humanos. Um desses desafios é o estabelecimento de confiança na cooperação entre humanos e máquinas (Steil & Maier, 2020).

2.4.2.2. Oficina B - *IoT* e Conectividade

A segunda oficina teve como foco os conceitos e benefícios da *Internet das Coisas (IoT)* e sua aplicação no ambiente fabril, com demonstrações práticas baseadas em casos reais. Para ilustrar a conectividade da *IoT*, foi utilizada uma maleta de demonstração composta por um Controlador de Máquina (MAC) com módulo de rede *IO-Link*, sensores indutivos e fotoelétricos em rede *IO-Link*, todos integrados à plataforma proprietária Sysmac.

O controlador dispõe de interfaces de redes industriais embarcadas, como *EtherCAT* e *EtherNet/IP*, que viabilizam a conectividade e a integração entre diferentes células de produção. De acordo com Drahos *et al.* (2022), a conectividade viabilizada por essas redes é essencial para alcançar metas de produtividade e sustentabilidade na manufatura moderna, uma vez que permite a otimização da qualidade, flexibilidade e segurança cibernética. Uma rede industrial robusta é, portanto, um elemento crítico para tais objetivos.

Entre os protocolos de rede utilizados nas oficinas, destaca-se o *EtherCAT*, baseado no *Ethernet Industrial*. Esse protocolo opera com configuração mestre-escravo e possibilita a troca

de dados de entrada e saída com alta eficiência e baixa latência (Smołka & Stój, 2022). Tais características o tornam ideal para aplicações que exigem controle preciso de servoacionamentos, sistemas eletromecânicos compostos por motores síncronos de ímã permanente (Delgado *et al.*, 2016).

Outro protocolo explorado foi o *IO-Link*, uma rede industrial do tipo *fieldbus* voltada a sensores e atuadores. Essa tecnologia permite a coleta de dados paramétricos e diagnósticos, incluindo informações de identificação, configurações, alertas e erros (Heynicke *et al.*, 2018).

A *IoT*, por sua vez, transforma sistemas industriais isolados em redes conectadas, nas quais sensores monitoram continuamente as condições de dispositivos e máquinas (Abuhasel & Khan, 2020). Suas aplicações visam reduzir custos operacionais, aumentar a confiabilidade dos ativos e maximizar a eficiência operacional, contribuindo para a competitividade das empresas industriais (Panchal *et al.*, 2018).

2.4.2.3. Oficina C - Sala de Integração de dados

A Oficina de Integração de Dados foi conduzida nas instalações de um Centro Tecnológico, espaço físico projetado especificamente para a realização de provas de conceito, demonstrações e validações de soluções. Este ambiente, denominado *Proof of Concept Center* (PoCC), foi estruturado com o objetivo de apresentar, de forma integrada, as tecnologias relacionadas à Indústria 4.0.

O PoCC é composto por três células robotizadas interconectadas, cada uma equipada com diferentes modelos de robôs industriais. Essa configuração permite a realização de provas de conceito e a validação de sistemas de automação industrial, com foco nas tecnologias emergentes da Indústria 4.0. Os robôs industriais desempenham papel fundamental em processos de manufatura, sendo aplicados na manipulação de materiais com elevada precisão e repetibilidade. Trata-se de elementos essenciais para sistemas de fabricação flexíveis (Sahu & Choudhury, 2019).

Os robôs utilizados nas células do PoCC são classificados como de baixa carga útil (*payload*), com capacidade máxima variando entre 5 kg e 6 kg. Essa característica os torna ideais para aplicações que requerem alta velocidade de manipulação e baixa capacidade de carga, diferentemente de robôs projetados para tarefas de grande porte, como aquelas envolvidas em processos de soldagem de estruturas metálicas pesadas. A Tabela 9 apresenta a descrição técnica dos robôs utilizados nesta oficina.

Tabela 9
Tipos de robôs industriais

Tipo	Descrição
Articulado de 6 eixos	Consiste em um braço articulado com 6 juntas, que determinam os graus de liberdade do robô, conjuntos que correspondem a base do robô, ombro, cotovelo, punho, inclinação e rotação do punho, onde é instalado o atuador que irá manipular o objeto (Mashhood & Ali, 2022; Sahu & Choudhury, 2019).
SCARA	É o acrônimo de “ <i>Selective Compliance Assembly Robotic Arm</i> ”. O robô SCARA dispõe de três juntas de revolução paralelas (permitindo que ela se mova e se oriente em um plano), com uma quarta junta prismática para mover o atuador normal ao plano. Sendo a robótica uma ferramenta de automação comum para cumprir os trabalhos repetitivos e perigosos para auxiliar a força de trabalho humana, o robô tipo SCARA é bem estabelecido na indústria devido à sua alta velocidade e alta precisão (Tay <i>et al.</i> , 2022).
Paralelo / Delta	É um mecanismo ao qual o atuador é conectado em paralelo à base do robô por hastes independentes, onde os motores são montados próximos à base para reduzir a massa móvel, ou seja, apenas as hastes e o atuador se movimentam. A montagem física do robô paralelo tende a ser mais simples que os demais apresentados anteriormente, o que proporciona mais rigidez, alta aceleração e alta velocidade devido ao baixo momento de inércia da estrutura móvel, maior precisão, pois os erros de fabricação e montagem da junta serão compensados (Jin <i>et al.</i> , 2013).

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

Além dos robôs industriais, as células do *Proof of Concept Center* (PoCC) são compostas por um conjunto avançado de dispositivos tecnológicos, incluindo controladores lógicos programáveis (CLPs), PCs industriais, sistemas de servoacionamento, interfaces homem-máquina (IHMs), sensores integrados em rede para monitoramento das esteiras, sistemas de visão artificial para posicionamento de peças, dispositivos de segurança de máquinas conforme a norma NR12, bem como sistemas pneumáticos com ventosas a vácuo para manipulação automatizada de componentes. Todos esses equipamentos estão interligados por meio da plataforma proprietária de automação *Sysmac*, que integra funcionalidades de controle, movimentação, segurança e comunicação, operando com protocolos industriais como *Ethernet/IP*, *EtherCAT* e *IO-Link*.

A integração física das células é complementada pela utilização de um robô móvel autônomo (*Autonomous Mobile Robot* – AMR), responsável pelo transporte automatizado de peças dentro do PoCC. O AMR movimenta-se entre as células robotizadas, coletando e distribuindo componentes por meio de uma esteira retrátil de forma totalmente autônoma.

Os robôs móveis autônomos têm se consolidado como solução promissora em ambientes industriais e logísticos, devido à sua capacidade de navegar sem a necessidade de dispositivos de orientação físicos ou eletromecânicos. Esse avanço permite operações mais flexíveis, seguras e eficientes (Alatise & Hancke, 2020). Além disso, a crescente demanda por AMRs reflete a busca por alternativas tecnológicas para substituir tarefas repetitivas e de transporte manual, frequentemente realizadas por empilhadeiras ou paletizadores operados por humanos (Ramdani *et al.*, 2019).

A integração do AMR às células do PoCC possibilita a simulação de um ambiente fabril altamente automatizado, caracterizado pela ausência de interferência humana direta. Todos os dispositivos conectados geram dados em tempo real, que são automaticamente coletados e disponibilizados em servidores na nuvem, representando, assim, um modelo funcional de uma *smart factory*.

2.4.3. Avaliação dos participantes das Oficinas

Para avaliar a efetividade das oficinas na mitigação das barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas, foi aplicado um questionário aos participantes no dia seguinte ao evento. O instrumento foi enviado por e-mail e disponibilizado em formato digital, via *Google Forms*. O objetivo foi explorar, a partir da perspectiva dos participantes, o impacto das oficinas sobre sua percepção e conhecimento das tecnologias apresentadas.

O questionário foi composto por seis perguntas, combinando itens de múltipla escolha e questões abertas. A primeira seção visou à coleta de dados demográficos dos respondentes, cujos resultados são apresentados na Tabela 10. Ao todo, vinte e um participantes externos completaram o questionário, permitindo uma análise preliminar da eficácia da abordagem adotada nas oficinas.

Tabela 10

Dados demográficos dos participantes que responderam ao questionário

Categoria	Descrição	Quantidade
Formação acadêmica	Ensino Superior	12
	Mestrado	4
	Doutorado	5
Faixa etária	30 até 39 anos	8
	40 até 49 anos	4
	50 até 59 anos	4
	acima de 60 anos	5
Cargo	Auxiliar / Analista	2
	Consultor	1
	Coordenador	3
	Diretor	3
	Docente/Conselheiro	7
	Gerente de área	3
	Gerente de projetos	2
Área de atuação	Construção Civil	2
	Consultoria/ <i>Facilities</i>	1
	Controladoria/Inteligência Mercado	3

Docente / Pesquisador	3
Gestão de Projetos	7
Tecnologia da Informação	3
Transformação Digital / Inovação	2

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

Na segunda parte do questionário, foram aplicadas seis questões de múltipla escolha, com escala *Likert* e espaço para respostas abertas com justificativas. Todas as perguntas estavam relacionadas às experiências dos participantes nas oficinas, ao seu nível de conhecimento prévio sobre as tecnologias industriais avançadas e à percepção sobre a ampliação desse conhecimento após a participação no evento. A seguir, apresentam-se os principais resultados obtidos:

- **Questão 1: Como você considera o seu nível de conhecimento sobre a Indústria 4.0 antes do evento?**

Doze dos 21 respondentes classificaram seu conhecimento prévio como intermediário (compreensão parcial das tecnologias, suficiente para discussão técnica) ou avançado (capacidade de explicação detalhada e/ou especificação técnica de soluções). Outros seis se autoavaliaram com conhecimento básico (conhecimento geral, porém sem domínio técnico), e três com noções superficiais (apenas familiaridade com alguns termos). Essa distribuição evidencia um público heterogêneo, o que reforça a necessidade de adaptar a linguagem e o conteúdo das oficinas para contemplar diferentes níveis de familiaridade com o tema. Entre os participantes, sete declararam desenvolver pesquisas acadêmicas relacionadas à Indústria 4.0.

- **Questão 2: O que você destaca como principal aprendizado na participação nas oficinas?**

Pergunta aberta cujas respostas foram agrupadas em três categorias principais. A mais mencionada, com dez citações, foi o aumento do conhecimento sobre soluções, aplicabilidade e conectividade, sinalizando que os participantes perceberam um avanço em sua compreensão sobre as possibilidades tecnológicas da Indústria 4.0. Oito participantes destacaram o alinhamento entre teoria e prática, referindo-se à oportunidade de vivenciar aplicações reais e operacionais dos conceitos aprendidos. Três respondentes mencionaram especificamente a robótica colaborativa como destaque, reconhecendo-a como uma tecnologia de entrada para outras inovações no contexto da manufatura avançada.

- **Questão 3: Suponha que você é um gestor responsável pela aquisição de tecnologias industriais avançadas. Participar das oficinas foi importante para apoiar sua tomada de decisão?**

Dezenove participantes afirmaram que concordam ou concordam totalmente com a afirmativa. Entre as justificativas, 45% mencionaram o ganho de conhecimento técnico como fator central para a melhoria da capacidade decisória em relação à adoção de novas tecnologias.

- **Questão 4: No papel de gestor, você considera que o tempo e a profundidade das oficinas foram adequados para ampliar seu entendimento sobre as tecnologias industriais avançadas?**

Quinze participantes afirmaram concordar ou concordar totalmente com a afirmativa. Os seis respondentes restantes indicaram a necessidade de ajustes, sugerindo, por exemplo, maior tempo de duração ou inclusão de atividades práticas para aprofundamento dos conteúdos.

- **Questão 5: Participar das oficinas com outras pessoas foi produtivo para o seu aprendizado?**

Vinte dos 21 respondentes concordaram ou concordaram totalmente. As justificativas apontaram a troca de experiências entre os participantes como um dos principais benefícios do formato coletivo das oficinas.

- **Questão 6: Considerando sua experiência nas oficinas, o que você sugere como melhorias para futuras edições?**

Esta questão aberta teve como propósito coletar sugestões para aprimoramento das oficinas. O aspecto mais citado foi a gestão do tempo, mencionada por sete participantes, que sugeriram desde a redução no tamanho dos grupos até o aumento da duração das sessões. Cinco participantes recomendaram a inclusão de interações práticas, permitindo maior imersão no uso das tecnologias demonstradas.

2.4.4. Avaliação dos engenheiros que conduziram as oficinas

Também foram realizadas entrevistas em profundidade com os engenheiros responsáveis pelas apresentações nas oficinas, com o objetivo de identificar suas percepções sobre o evento e avaliar a contribuição das oficinas para a gestão das barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas. No total, foram conduzidas cinco entrevistas, conforme descrito na Tabela 11.

Tabela 11*Participação dos engenheiros das atividades*

Participantes	Apresentação na oficina	Duração entrevistas
Engenheiro A	Oficina C - Sala de Integração de dados	15 minutos
Engenheiro D	Oficina A - Robôs colaborativos	10 minutos
Engenheiro F	Oficina B - IoT e Conectividade	15 minutos
Engenheiro H	Oficina A - Robôs colaborativos	10 minutos
Engenheiro I	Oficina B - IoT e Conectividade	15 minutos

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

De maneira geral, a percepção dos engenheiros foi positiva. Segundo o Engenheiro I, o evento proporcionou aos participantes uma oportunidade valiosa de conhecer diferentes tecnologias e tendências da Indústria 4.0, promovendo, além disso, um espaço relevante de interação e troca de conhecimento entre apresentadores e público. O Engenheiro A destacou como aspecto positivo a estrutura padronizada das apresentações, observando que a uniformização do conteúdo nas três oficinas evitou lacunas informacionais durante as exposições:

"Uma apresentação estruturada trouxe maior consistência ao conteúdo, e isso favorece a condução da apresentação das tecnologias" (Engenheiro A).

No que se refere ao tempo das oficinas e à quantidade de participantes por grupo, os entrevistados sinalizaram a importância de limitar o número de pessoas por turma. Para o Engenheiro A, especificamente na Oficina C, o limite ideal é de até oito participantes, considerando o espaço físico disponível:

"Pelo tamanho do espaço, até oito pessoas é o limite máximo, pois além disso se perde a qualidade da apresentação e o contato com parte do público. Fica difícil dar atenção a todos" (Engenheiro A).

Quanto à duração das oficinas, os pareceres variaram em função da complexidade das tecnologias apresentadas. Os Engenheiros A, I e F consideraram o tempo disponível insuficiente para abordar, com a devida profundidade, as funcionalidades e integrações envolvidas. Já os Engenheiros D e H julgaram o tempo adequado, dado que foram responsáveis pela Oficina A — Robôs Colaborativos, cujo escopo se restringia a uma única tecnologia, ao contrário das demais oficinas que tratavam de soluções integradas.

Por fim, os engenheiros comentaram sobre o nível técnico dos participantes. Apesar de considerarem o conhecimento técnico geral inferior ao de clientes habituais do Centro Tecnológico, todos relataram que as perguntas formuladas durante as oficinas foram

pertinentes, bem elaboradas e demonstraram um esforço significativo de compreensão dos conceitos apresentados. O Engenheiro D, por exemplo, destacou:

"[...] com as perguntas técnicas eu me sentia numa zona de conforto, porém fomos muito questionados com relação ao impacto social da implantação de robôs, e isso acabou se mostrando uma barreira relevante, como é possível contribuir com a sociedade?" (Engenheiro D)

Essas percepções reforçam a importância de adaptar a comunicação e a abordagem das oficinas conforme o perfil dos públicos participantes, sobretudo considerando que barreiras sociais e éticas podem emergir mesmo em ambientes predominantemente técnicos.

2.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto do evento em que foram realizadas as oficinas sobre Tecnologias industriais avançadas (TIA), observou-se que a abordagem estruturada e planejada dentro do Centro Tecnológico (CT) teve impacto positivo na mitigação das barreiras à sua adoção. O processo metodológico que culminou nas oficinas foi amplamente detalhado ao longo deste estudo.

A partir da revisão de literatura, foram identificadas nove barreiras recorrentes à adoção das tecnologias industriais avançadas:

- B1.** Alto investimento e incertezas quanto ao retorno;
- B2.** Falta de uma estratégia digital;
- B3.** Falta de parceiros qualificados e parcerias com universidades;
- B4.** Baixo nível de maturidade das tecnologias relacionadas;
- B5.** Falta de infraestrutura;
- B6.** Ausência de normas, regulamentos e formas de certificação;
- B7.** Riscos relacionados à segurança de dados;
- B8.** Falta de mão de obra qualificada;
- B9.** Resistência à mudança.

Essas barreiras foram validadas por especialistas atuantes na área de automação industrial em um grupo focal. Destacam-se, em especial, as barreiras **relativas ao investimento financeiro** e à **resistência à mudança**, as quais, além de amplamente mencionadas na

literatura, foram reiteradas pelos profissionais entrevistados. Um dos engenheiros observou que:

“Retorno de investimento (*payback*) é o número um, praticamente em todas as apresentações somos indagados sobre isso”.

Em relação à resistência à mudança, outro especialista comentou:

“[...] quando tentamos implementar mudanças e digitalizar os processos, os colaboradores das empresas enxergam isso como uma ameaça”.

As demais barreiras também foram confirmadas como presentes nos CTs, configurando-se como obstáculos reais ao convencimento de tomadores de decisão sobre a adoção das TIA (Calabrese *et al.*, 2022; Cugno *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020).

Outro achado relevante refere-se ao planejamento das oficinas de demonstração das tecnologias industriais avançadas, que possibilitou aos engenheiros conduzirem as demonstrações de forma estruturadas e munidas de argumentações específica para cada barreira, permitindo-lhes ajustar a comunicação de acordo com o perfil dos participantes. Essa estratégia contribuiu efetivamente para a gestão das barreiras no momento da exposição das tecnologias, respondendo à questão de pesquisa proposta: *Como mitigar as barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas?*.

A percepção dos participantes foi favorável. A maioria considerou que as oficinas ampliaram seu conhecimento técnico e colaboraram na formação de um posicionamento mais fundamentado em relação à adoção de tecnologias industriais avançadas. Notadamente, dezenove dos vinte e um participantes afirmaram que a experiência nas oficinas teve papel relevante na tomada de decisão quanto a futuros investimentos em TIA.

Da mesma forma, os engenheiros responsáveis pelas apresentações avaliaram positivamente a iniciativa, destacando especialmente o valor do planejamento estruturado:

“Uma apresentação estruturada trouxe maior consistência ao conteúdo e isso favorece a condução da apresentação das tecnologias” (Engenheiro A).

2.5.1. Contribuições

Este estudo contribui para a literatura com a identificação e a validação (por praticantes) das barreiras de adoção das tecnologias industriais avançadas, especificamente nas interações de demonstração dessas tecnologias no ambiente dos Centros Tecnológicos, o que difere da literatura existente que se concentram em ambientes industriais tradicionais. Outra contribuição está relacionada à abordagem do planejamento das demonstrações dessas tecnologias, com objetivo de mitigar as barreiras de adoção.

2.5.2. Limitações e estudos futuros

Como limitação do estudo, destaca-se a realização de um único evento, composto por três oficinas, o que restringe a possibilidade de generalização dos resultados. Os participantes eram profissionais da área de projetos, em sua maioria com pouca experiência nas tecnologias industriais avançadas.

Para pesquisas futuras, sugere-se ampliar a aplicação do estudo, explorando como ocorre o planejamento das demonstrações dessas tecnologias em outros Centros Tecnológicos, bem como analisar as estratégias adotadas para superar barreiras de adoção nesses ambientes.

3. ESTUDO 2 – *FRAMEWORK* PARA PLANEJAMENTO DE *FRONT-END* DE PROJETOS DE PEQUENO PORTE

3.1. INTRODUÇÃO

No contexto clássico, um projeto é definido como “um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado único” (Project Management Institute, 2013, p. 3). As atividades que compõem o processo de entrega de um projeto podem ser classificadas em fases distintas, representando os estágios pelos quais o projeto progride (Faniran *et al.*, 2000). Esse processo é conhecido como ciclo de vida do projeto, sendo composto por fases geralmente sequenciais, que se estendem desde o início até o encerramento do empreendimento (Project Management Institute, 2013).

Uma definição genérica para um projeto típico compreende as seguintes fases:

- (1) **Conceito:** Planejamento do negócio, formulação do projeto e estudos de viabilidade;
- (2) **Planejamento:** Preparação prévia ao projeto, elaboração do design do produto, detalhamento de custos e cronograma, e definição das especificações contratuais;
- (3) **Execução:** Implementação das atividades previstas conforme os termos e condições contratuais; e
- (4) **Conclusão:** Encerramento formal, entrega do produto final e auditoria pós-implementação (Construction Industry Institute, 1995; Pinto & Slevin, 2018; Project Management Institute, 2013).

Nesse escopo, a fase inicial de um projeto, frequentemente denominada fase de pré-projeto (Construction Industry Institute, 1995; Gibson *et al.*, 1995) ou fase de *front-end* (Gibson *et al.*, 1995; Williams *et al.*, 2019), assume caráter estratégico e tem sido amplamente reconhecida por sua relevância para o sucesso a longo prazo (George *et al.*, 2008; Gibson *et al.*, 2006; Williams *et al.*, 2019). Apesar das diferentes nomenclaturas, não há uma definição única e consensual para essa fase (Morris, 2016; Williams *et al.*, 2019). Para os fins desta pesquisa, adota-se a definição de *front-end* como a fase inicial do projeto, abrangendo o período que se estende desde a concepção até a aprovação formal da iniciativa (Zwikael & Gilchrist, 2024).

Estudos apontam que o planejamento adequado dessa fase contribui significativamente para a qualidade da tomada de decisão (Samset & Volden, 2016), além de favorecer o desenvolvimento de ideias, ainda altamente adaptáveis nesse estágio, com potencial de impacto positivo sobre o sucesso do projeto (Bobbe *et al.*, 2021).

O sucesso em projetos constitui um constructo multidimensional, podendo ser analisado sob duas perspectivas principais: o sucesso do projeto propriamente dito (avaliado em termos dos objetivos organizacionais mais amplos) e o sucesso da gestão do projeto (mensurado com base em critérios tradicionais como custo, prazo e qualidade) (Carvalho & Rabechini, 2017; Prabhakar, 2008). No contexto deste estudo, adota-se uma concepção estratégica de sucesso, considerando aspectos como eficiência, impacto na equipe e no cliente, resultados para o negócio e a preparação da organização para desafios futuros (Shenhar & Dvir, 2007).

O planejamento ainda na fase inicial de um projeto é considerado fundamental para seu ciclo de vida, uma vez que se concentra na criação de um vínculo sólido entre a necessidade do negócio ou da missão, a estratégia do projeto, o escopo, os custos, o cronograma e a manutenção desse alinhamento ao longo de toda a execução (Gibson *et al.*, 2006). O planejamento de *front-end* (*front-end planning* – FEP) oferece oportunidades significativas para eliminar ou mitigar problemas que possam comprometer o sucesso do projeto, pois contribui para a definição clara de metas, a identificação dos recursos necessários e a minimização de riscos durante todo o ciclo do projeto (Faniran *et al.*, 2000).

Os benefícios do FEP são amplamente reconhecidos na literatura, especialmente em projetos de alta complexidade (Williams *et al.*, 2019; Zwikaël & Gilchrist, 2024), como aqueles relacionados à construção civil e infraestrutura (Gibson *et al.*, 2006; Haddadi *et al.*, 2017; Zerjav *et al.*, 2021), bem como em projetos de desenvolvimento de novos produtos (de Ana *et al.*, 2013; Lecossier *et al.*, 2019a; Martinsuo *et al.*, 2013).

Embora a literatura frequentemente relacione o FEP a projetos de grande porte e alta complexidade, projetos de pequeno porte também podem ser significativamente impactados pela ausência de um planejamento inicial estruturado. Collins *et al.* (2017) destacam que esse tipo de projeto comumente conta com um planejamento mínimo antes de seu início, o que pode comprometer suas chances de êxito.

Projetos podem ser classificados com base em diferentes critérios, entre os quais se destacam o tamanho e o grau de complexidade (Project Management Institute, 2013). Projetos de pequeno porte enfrentam desafios específicos em comparação com projetos de maior envergadura. No entanto, devido à sua natureza, é comum que gestores negligenciem fases fundamentais do planejamento, o que pode resultar em falhas significativas e custos adicionais (Larson, 2004).

A classificação de projetos desempenha um papel relevante no gerenciamento, permitindo a adequação de métodos, ferramentas e abordagens à natureza do empreendimento (Niknazar & Bourgault, 2017). Apesar dessa importância, os autores apontam que o tema tem

sido subvalorizado na literatura especializada. Para Larson (2004), um projeto é considerado de pequeno porte quando possui duração de até nove meses, orçamento de até US\$ 100 mil e nível de risco baixo ou moderado. Collins *et al.* (2017), por sua vez, classificam projetos industriais de pequeno porte como aqueles com orçamento de até US\$ 10 milhões, duração entre três e seis meses, e equipe de até nove membros.

A literatura cinzenta também apresenta critérios de classificação. Por exemplo, o Departamento de Tecnologia do Estado da Califórnia classifica projetos de Tecnologia da Informação da seguinte forma: projetos de pequeno porte têm duração de até seis meses e custo de até US\$ 500 mil; projetos de médio porte têm duração de seis meses a um ano e custo entre US\$ 500 mil e US\$ 2 milhões; e projetos grandes ou megaprojetos têm duração superior a um ano e custo acima de US\$ 2 milhões (The California Project Management Office, 2017).

Em linha semelhante, Lanz e Lanz (2013) propõem uma classificação baseada em três categorias: (i) projetos de pequeno porte – baixa complexidade, duração de até seis meses e custo de até US\$ 200 mil; (ii) projetos de médio porte – complexidade média, duração entre seis e dezoito meses e custo entre US\$ 200 mil e US\$ 2 milhões; e (iii) projetos de grande porte – alta complexidade, duração superior a dezoito meses e custo acima de US\$ 2 milhões.

Yim *et al.* (2015) afirmam que os projetos variam dentro das organizações em função da estratégia corporativa e podem ser classificados como projetos de conformidade, operacionais ou estratégicos. Dentro dessa tipologia, os projetos estratégicos são aqueles realizados com o propósito de apoiar os objetivos de longo prazo da organização, como o aumento da receita ou a criação de uma vantagem competitiva, por meio da incorporação de novas tecnologias em produtos existentes ou da renovação de processos produtivos.

Shenhar (2001) sustenta que diferentes tipos de projetos exigem abordagens de gestão distintas, propondo um modelo bidimensional para a classificação de projetos técnicos. Esse modelo baseia-se em quatro níveis de incerteza tecnológica e três níveis de complexidade de sistemas, segundo a hierarquia de sistemas e subsistemas. Assim, quanto maior a complexidade tecnológica, mais específico deve ser o estilo de gestão adotado pelos gerentes de projeto.

O *Construction Industry Institute* (2015) ressalta que é incorreto presumir que projetos de pequeno porte são, por definição, menos arriscados ou menos críticos para uma organização. Projetos pequenos, quando mal planejados, podem gerar impactos financeiros significativos, sobretudo considerando que representam entre 70% e 90% de todos os projetos concluídos no setor industrial.

No contexto do planejamento de *front-end*, Dionisi (2023) argumenta que, embora o FEP seja amplamente aplicado em projetos de grande porte e alta complexidade, ele também

pode ser implementado com êxito em projetos menores, de menor complexidade e com orçamentos reduzidos.

Diante desse cenário, o presente estudo busca responder à seguinte questão de pesquisa: Quais são os objetivos e entregáveis essenciais para o planejamento de *front-end* de projetos de pequeno porte? E tem objetivo de propor um modelo para o planejamento de *front-end* de projetos de pequeno porte.

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e foi estruturada em seis etapas: (i) revisão da literatura sobre o planejamento de *front-end* de projetos; (ii) construção teórica de um modelo de FEP aplicável a projetos de pequeno porte; (iii) validação preliminar do modelo com profissionais com baixa maturidade em gestão de projetos, por meio de entrevistas em profundidade; (iv) revisão do modelo com base nos *insights* obtidos nessas entrevistas; (v) validação do modelo revisado com especialistas em gestão de projetos; e (vi) proposição final do modelo.

O artigo está organizado em seis seções. Após a introdução, apresenta-se a fundamentação teórica, abordando os conceitos de *front-end planning* e *front-end loading*. Em seguida, descreve-se o procedimento metodológico utilizado na pesquisa, os resultados obtidos, bem como as discussões e considerações finais.

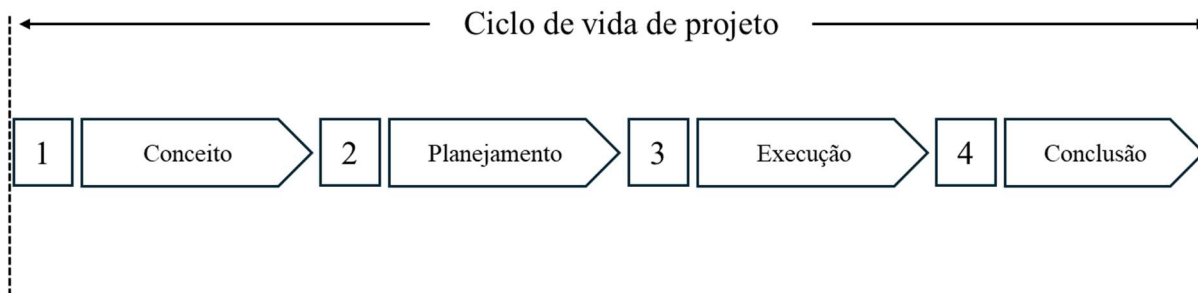
3.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção examina a estrutura teórica e os principais conceitos relacionados ao planejamento de *front-end* (FEP) de projetos, assim como ao processo de *front-end loading* (FEL).

3.2.1. Planejamento de *front-end* de projetos

O ciclo de vida de um projeto representa o percurso que este segue desde a sua concepção até a conclusão, sendo geralmente composto pelas fases de iniciação (ou conceito), planejamento, execução e encerramento (Hansen *et al.*, 2018), conforme a Figura 4.

Figura 4
Ciclo de vida de projeto



Nota. Adaptado de Pinto e Slevin (2018, p. 2).

A concepção de um projeto tem início com a tomada de decisão baseada em julgamento prévio, conhecimento, experiência e alguma avaliação de custo-benefício. Em seguida, ocorre a fase de planejamento, que, em determinados casos, pode ser estruturada por meio do planejamento de *front-end* (FEP), sendo posteriormente sucedida pelas fases de execução e encerramento (Hansen *et al.*, 2018).

Os esforços de planejamento realizados durante a fase inicial de um projeto, comumente denominada *front-end*, exercem grande impacto sobre o seu sucesso e influenciam significativamente a configuração do projeto final (Gibson *et al.*, 2023; Wang & Gibson, 2002). O planejamento inicial é amplamente reconhecido como o processo mais importante do ciclo de vida de um projeto (Gibson *et al.*, 2006). Práticas eficazes de planejamento nessa fase podem melhorar substancialmente o desempenho do projeto, desde que sejam implementadas de forma consistente e adequada (Collins *et al.*, 2017).

O papel estratégico do *front-end* consiste em definir o que o projeto pretende alcançar, avaliando sua viabilidade e moldando o sucesso do empreendimento, entendido não apenas em termos de resultados operacionais, mas também de desempenho estratégico (Williams *et al.*, 2019). Trata-se de uma fase em que há maior propensão à incorporação de erros e falhas, ou, inversamente, à agregação de valor (Edkins *et al.*, 2013). Por esse motivo, é essencial identificar os motivadores do projeto, sejam eles oportunidades (alcançar algo desejado) ou problemas (resolver uma situação prejudicial ou preocupante) (Williams *et al.*, 2019). O principal objetivo dessa fase inicial é subsidiar decisões de investimento mais qualificadas (Zwikaël & Gilchrist, 2024).

No estudo exploratório de múltiplos casos realizados por Edkins *et al.* (2013), evidenciou-se a forte influência de atores comerciais e econômicos externos ao projeto sobre o processo de *front-end*. Isso ocorre porque os patrocinadores frequentemente assumem funções críticas, buscando assegurar os melhores resultados possíveis para a organização patrocinadora,

ao garantir que os objetivos do projeto e as expectativas dos acionistas (ou proprietários) sejam atendidos.

Apesar de sua relevância para o sucesso estratégico do projeto, a fase de *front-end* ainda é pouco compreendida (Williams *et al.*, 2019). Não há uma definição única e consensual para essa fase (Edkins *et al.*, 2013; Morris, 2016; Williams *et al.*, 2019), sendo possível encontrar interpretações divergentes: enquanto alguns autores consideram que o projeto apenas se inicia após a conclusão do *front-end*, outros entendem que ele já existe enquanto entidade, mesmo que apenas como uma ideia (Morris, 2016).

Zwikael e Gilchrist (2024) definem *front-end* como a fase inicial do projeto, abrangendo o período que vai da concepção até a aprovação formal. Nessa fase, os recursos aplicados ainda não oferecem garantias de retorno (Morgan, 1987), embora decisões estratégicas cruciais sejam tomadas, como a viabilidade do projeto e as estratégias para sua execução (Faniran *et al.*, 2000; Morgan, 1987; Martinsuo *et al.*, 2019).

O processo realizado nos estágios iniciais de um projeto, denominado *front-end planning* (FEP), envolve o desenvolvimento de informações estratégicas suficientes para que os patrocinadores possam avaliar riscos e tomar decisões fundamentadas sobre o comprometimento de recursos, com o objetivo de maximizar o potencial de sucesso do projeto (Gibson *et al.*, 1995; Rahbar & Avalon, 2023). O FEP situa-se na interface entre os domínios de negócios e engenharia (Gibson *et al.*, 1995).

O termo “planejamento de *front-end*” possui diversas denominações associadas, como planejamento de pré-projeto, carregamento de *front-end* ou *front-end loading*, programação e design esquemático, entre outros (Construction Industry Institute, 2014; Gibson *et al.*, 2023; Motta *et al.*, 2014). A fase de planejamento de *front-end* é composta por fases que podem variar conforme o modelo adotado e ser adaptadas aos processos de cada área de atuação. No entanto, o processo de três portões de revisão é amplamente recomendado como estrutura mínima (Arrouj, 2017).

A literatura apresenta diversos modelos de planejamento de *front-end* (Arrouj, 2017), sendo que alguns deles são desenvolvidos internamente por grandes organizações, que estruturam métodos específicos voltados a seus próprios processos (Arrouj, 2017; Motta *et al.*, 2014). Tanto na literatura acadêmica quanto na literatura profissional (Construction Industry Institute, 2015; Gibson *et al.*, 2006; Merrow, 2024; Motta *et al.*, 2014; Rahbar & Avalon, 2023), dois modelos de FEP destacam-se pela ampla difusão:

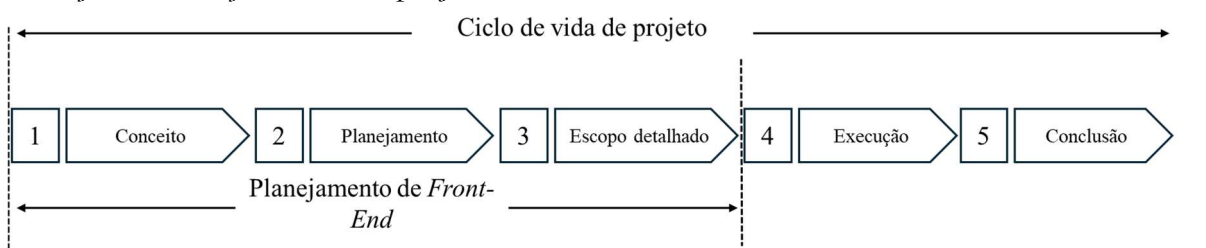
1. O modelo do *Construction Industry Institute* (CII), consórcio sem fins lucrativos sediado na Universidade do Texas, em Austin (EUA) (Construction Industry Institute, 2012b);
2. O modelo da *Independent Project Analysis* (IPA), consultoria global especializada na avaliação de projetos (Merrow, 2024).

Um modelo alternativo identificado na literatura é o *Life Cycle Canvas* (LCC), uma ferramenta visual aplicada à gestão do ciclo de vida de projetos, que visa apoiar o gerenciamento em todas as fases, incluindo o pré-projeto (Medeiros *et al.*, 2018).

O CII define o planejamento de *front-end* como “o processo por meio do qual os proprietários desenvolvem informações estratégicas suficientes para lidar com riscos e comprometer recursos a fim de maximizar o sucesso do projeto” (Construction Industry Institute, 2014). O modelo da CII compreende as seguintes etapas: viabilidade; conceito do projeto; e detalhamento do escopo (Construction Industry Institute, 2014).

Por sua vez, a IPA descreve o FEP como “o processo pelo qual uma empresa desenvolve uma definição detalhada de um projeto que foi iniciado para permitir que a organização atinja seus objetivos de negócio” (Merrow, 2024). O modelo da IPA também adota uma estrutura com três portões de revisão, organizados nas etapas: conceito do projeto; planejamento; e detalhamento do escopo (Merrow, 2024), conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5
Planejamento do front-end de projetos



Nota. Adaptado de Construction Industry Institute (2014, p. 1).

O *front-end planning* pode ser aplicado em projetos de empresas pertencentes a diversos setores, tais como óleo e gás, tecnologia da informação (infraestrutura e software), manufatura, pesquisa e desenvolvimento aeroespacial, indústria farmacêutica e construção civil (Edkins *et al.*, 2013; Morris, 2005). A nomenclatura das fases pode variar conforme o segmento de aplicação, conforme ilustrado na Tabela 12.

Tabela 12
Variações de nomenclatura nos modelos FEL

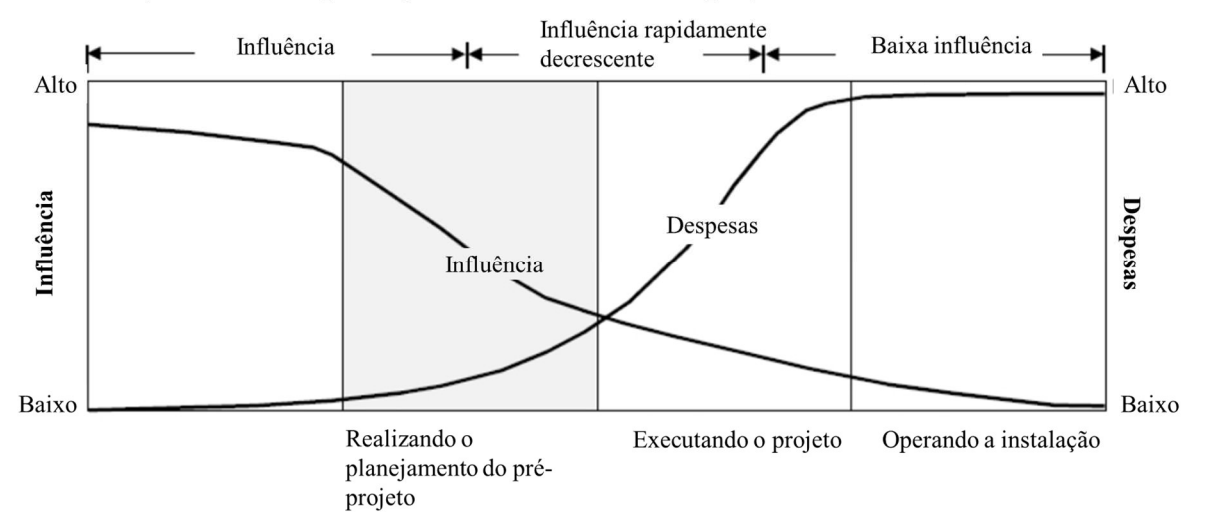
Segmento	FEL-1	FEL-2	FEL-3
Óleo e gás	Avaliação	Seleção	Projeto engenharia de <i>front-end</i>
Química	Planejamento Negócios	Planejamento de Instalações	Planejamento de Execução
Mineração	Estudo de Conceito	Estudo de Pré-viabilidade	Estudo de Viabilidade

Nota. Merrow (2024), p.26).

A capacidade de influenciar os resultados de um projeto, como custo, prazo, desempenho e valor global do produto final, é significativamente maior nas fases iniciais do seu ciclo de vida, reduzindo-se progressivamente nas fases posteriores (Faniran *et al.*, 2000). Essa constatação é corroborada pelo expressivo número de estudos na literatura voltados ao desenvolvimento de novos produtos (Cooper & Edgett, 2008; Haddadi *et al.*, 2017; Lecossier *et al.*, 2019b; Martinsuo *et al.*, 2013).

Nesse contexto, o *front-end planning* (FEP) é amplamente reconhecido como o processo mais relevante dentro do ciclo de vida de um projeto (Gibson *et al.*, 2006), uma vez que os esforços de planejamento realizados nessa fase inicial podem exercer influência decisiva sobre o sucesso do projeto, maior, inclusive, do que os esforços empreendidos após o início do detalhamento e da execução (El Asmar & Gibson, 2018), conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6
Curva de influência e despesas para o ciclo de vida do projeto



Nota. Gibson *et al.* (1995, p. 1).

O planejamento de *front-end* pode reduzir significativamente os problemas que comprometem o sucesso de um projeto (Faniran *et al.*, 2000), concentrando-se na criação de um vínculo sólido e inicial entre a necessidade do negócio ou da missão, a estratégia do projeto, o escopo, os custos e o cronograma. Esse alinhamento deve ser mantido de forma contínua ao longo de todo o ciclo de vida do projeto (Gibson *et al.*, 2006).

3.2.2. Processo de *front-end loading* (FEL)

Alguns autores utilizam os termos *front-end planning* (FEP) e *front-end loading* (FEL) como sinônimos (Construction Industry Institute, 2012a; El Asmar & Gibson, 2018; George *et al.*, 2008; Gibson *et al.*, 2006, 2023). No entanto, outros pesquisadores especificam o termo *front-end loading* como sendo mais comumente aplicado a projetos industriais (Hansen *et al.*, 2018; Williams *et al.*, 2019).

Neste estudo, entende-se que a fase de FEP é composta por fases que correspondem ao processo de FEL, sendo que cada uma delas possui objetivos específicos, atividades definidas e resultados esperados. As decisões associadas a essas fases são estruturadas por portais de decisão (*stage-gates*), que podem ser formais ou informais, dependendo das diretrizes organizacionais (Rahbar & Avalon, 2023).

O processo de FEL visa transformar oportunidades de negócio e tecnologias em projetos de capital, com o objetivo de obter uma compreensão detalhada do empreendimento e, assim, minimizar o número de alterações durante as fases subsequentes de execução (Rahbar & Avalon, 2023; Independent Project Analysis, n.d.).

As fases do *front-end loading*, denominadas pela sigla “FEL”, são geralmente organizadas em três fases específicas, cada uma com objetivos distintos dentro do processo (Edkins *et al.*, 2013; Merrow, 2024; Rahbar & Avalon, 2023):

- (1) **Fase 1 (FEL-1)** – Desenvolvimento do plano de negócios;
- (2) **Fase 2 (FEL-2)** – Desenvolvimento do escopo;
- (3) **Fase 3 (FEL-3)** – Projeto de engenharia de *front-end*, também conhecido como *Front-End Engineering Design* (FEED), responsável pela elaboração dos documentos técnicos de engenharia.

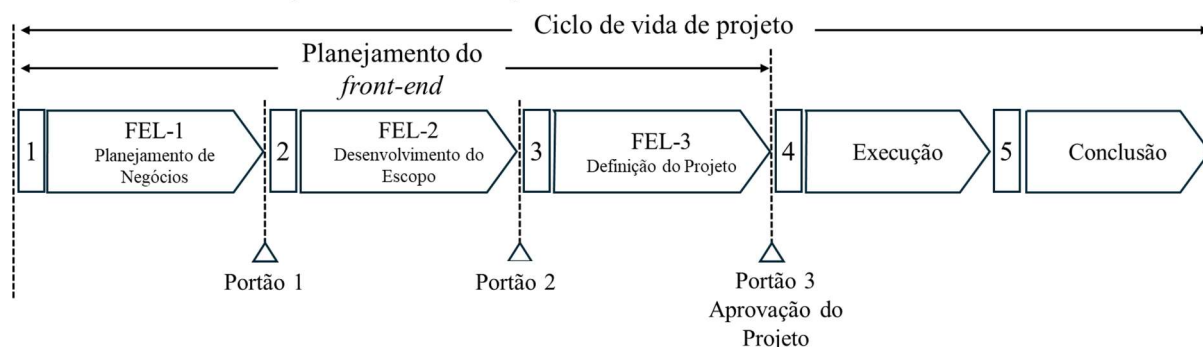
O processo é estruturado por portões de revisão (*stage-gates*), que representam pontos críticos de verificação. Nesses momentos, as entregas de cada fase devem receber aprovação formal para que o projeto avance para a fase seguinte (Edkins *et al.*, 2013; Rahbar & Avalon,

2023), conforme ilustrado na Figura 7. Esses portões funcionam também como um funil para a seleção e qualificação de projetos, até a sua aprovação final para execução (Edkins *et al.*, 2013).

Os principais desafios associados à adoção eficaz do FEL incluem: a falta de reconhecimento quanto à importância do processo, a utilização de informações pouco confiáveis nas fases iniciais, a escassez de tempo para executar integralmente o processo de *front-end loading*, a indecisão ou falta de conhecimento por parte do cliente e a ausência de uma equipe de projeto estruturada nas fases iniciais (Aghimien *et al.*, 2018).

Figura 7

Plano de execução do front-end loading



Nota. Adaptado de Merrow (2024), p.26).

A fase inicial do *front-end loading* (FEL-1) está relacionada à concepção do projeto (Gibson *et al.*, 2006), sendo dedicada ao planejamento do negócio, à definição dos objetivos estratégicos e à identificação de oportunidades (Merrow, 2024; Motta *et al.*, 2014; Rahbar & Avalon, 2023). Nessa fase, tem início o desenvolvimento do plano de negócios e a elaboração de uma estimativa preliminar do montante de investimento necessário (Motta *et al.*, 2014; Romero & Andery, 2015). A análise de viabilidade do projeto pode ser conduzida com base em indicadores financeiros, como valor presente líquido (VPL) e retorno sobre o investimento (ROI) (Romero & Andery, 2015).

O FEL-1 deve assegurar que as diretrizes de desenvolvimento do projeto estejam alinhadas às estratégias e aos objetivos de gestão do portfólio da organização (Dionisi, 2023; Romero & Andery, 2015). Alguns autores mencionam, ainda, uma fase preliminar ao FEL-1, referida como fase de viabilidade, na qual se avalia a oportunidade de negócio antes mesmo da elaboração do plano de negócios (El Asmar & Gibson, 2018; Gibson *et al.*, 2006).

A fase FEL-2 corresponde ao desenvolvimento do escopo do projeto (Rahbar & Avalon, 2023). Após a aprovação no primeiro portão de decisão, o projeto avança para uma fase de configuração da engenharia conceitual, com a definição do escopo técnico (Merrow, 2024;

Motta *et al.*, 2014). Essa fase inclui a análise das alternativas tecnológicas e construtivas associadas ao empreendimento, culminando na seleção da solução mais adequada e na elaboração das definições básicas (*briefing* do projeto). Nessa fase, a variação estimada de custos situa-se entre -15% e +25%. Além disso, são selecionadas as Práticas de Melhoria de Valor (*Value Improving Practices* – VIPs) a serem aplicadas na fase de desenvolvimento da engenharia básica (Romero & Andery, 2015).

O FEL-3 constitui a última fase do *front-end loading* e precede o início da execução do projeto (Dionisi, 2023; Rahbar & Avalon, 2023). Nessa fase, são desenvolvidos os documentos de engenharia, a especificação dos equipamentos e o plano de suprimentos (Merrow, 2024; Motta *et al.*, 2014). O foco recai sobre os requisitos técnicos do projeto, com a elaboração de uma estimativa de custo final com precisão da ordem de $\pm 10\%$ (Rahbar & Avalon, 2023; Romero & Andery, 2015).

Entre as fases do *Front-End Loading* (FEL), são realizadas seções de revisão denominadas *gate reviews*, ou portões de revisão. Os *stage-gates* são definidos como pontos formais de verificação inseridos no processo de entrega do projeto, que oferecem à alta gestão a oportunidade de revisar os méritos de um projeto de capital e decidir se os recursos financeiros devem ser investidos na exploração de uma oportunidade ou na solução de um problema (Barshop, 2016). Trata-se de um processo estruturado de aprovação, no qual as entregas de cada fase são avaliadas, e busca-se a autorização para avançar à próxima fase do FEL (Edkins *et al.*, 2013).

Esses portões são apoiados por esforços sistemáticos de planejamento, incluindo listas de verificação padronizadas que orientam a análise (Gibson *et al.*, 2006). A cada avaliação, o comitê responsável decide se o projeto deve prosseguir para a próxima fase, retornar para ajustes ou ser interrompido (Merrow, 2024). Segundo Dionisi (2023), cada organização deve desenvolver um processo próprio para os portões de revisão, adequado à sua cultura, estrutura organizacional e grau de maturidade em gestão de projetos.

Tanto o modelo da *Independent Project Analysis* (IPA) quanto o do *Construction Industry Institute* (CII) propõem processos estruturados para a revisão das fases do FEL. O modelo CII prevê três portões de decisão principais, além de um estágio intermediário, baseando-se nas avaliações do *Project Definition Rating Index* (PDRI), com as seguintes designações: PDRI-1, PDRI-2, PDRI-2i (intermediário) e PDRI-3. Essas avaliações antecedem os portões de revisão e constituem parte dos critérios utilizados para a tomada de decisão sobre o avanço do projeto às fases subsequentes (Construction Industry Institute, 2014).

A avaliação PDRI segue um processo em que cada elemento do modelo recebe uma pontuação pré-definida. Em reuniões conduzidas com os membros da equipe do projeto, discute-se coletivamente a pontuação de cada elemento, resultando em uma nota final que reflete o grau de maturidade e completude da fase avaliada (Construction Industry Institute, 2014).

No modelo IPA, a revisão de cada fase é realizada por um comitê de decisão ao final de cada fase do FEL, com quatro possibilidades de encaminhamento: (i) aprovação, (ii) reciclagem (*recycle*), (iii) manutenção em suspensão (*hold*), ou (iv) cancelamento do projeto (Barshop, 2016). As decisões são fundamentadas em uma ferramenta chamada *FEL Index*, que mede a maturidade de cada fase do projeto por meio de um *checklist* de atributos avaliados com notas de 1 a 4. A pontuação 1 representa o mais alto grau de aderência aos critérios esperados, refletindo conformidade com os requisitos definidos para o final da fase FEL-3 (Morrow, 2024).

3.2.3. Atividades e entregáveis das fases do FEL

O processo de *front-end loading* (FEL) segue modelos de sequenciamento de atividades de planejamento, organizadas conforme as fases típicas dos projetos e/ou de acordo com seu porte e grau de complexidade (Construction Industry Institute, 2012b). Na literatura, dois modelos amplamente difundidos por consultorias especializadas se destacam e são os mais citados: os modelos da *Independent Project Analysis* (IPA) e do *Construction Industry Institute* (CII), ambos respaldados por extensa pesquisa na área (Arrouj, 2017; Motta *et al.*, 2014).

O modelo desenvolvido pelo CII prevê que as atividades do FEL podem ser aplicadas a diferentes tipos de projetos: industriais, de processo, de infraestrutura ou de construção civil, desde que devidamente adaptadas às especificidades de cada caso (Construction Industry Institute, 2015). Com o objetivo de avaliar a definição do escopo do projeto durante a fase de *front-end planning* (FEP), o CII desenvolveu uma ferramenta denominada *Project Definition Rating Index* (PDRI), voltada especialmente a projetos industriais. Essa ferramenta fornece um método estruturado para medir o grau de definição do escopo, identificando e descrevendo os elementos críticos de um pacote de definição e permitindo que a equipe de projeto antecipe os principais fatores de risco (Construction Industry Institute, 2014).

O PDRI está estruturado em três estágios de avaliação, incluindo um estágio intermediário, alinhados aos portões de revisão do FEL. No total, são descritas 70 atividades de definição de escopo, organizadas em um formato de planilha de pontuação, na qual cada elemento recebe um peso proporcional à sua relevância no contexto do projeto. A aplicação do

PDRI é recomendada para projetos industriais, de construção civil e de infraestrutura (Construction Industry Institute, 2014).

Adicionalmente, o CII desenvolveu uma versão adaptada do PDRI para projetos industriais de pequeno porte, classificados como aqueles com orçamento de até US\$ 10 milhões, duração entre três e seis meses e complexidade geral inferior à de grandes projetos. Essa versão, denominada *Project Definition Rating Index – Small Industrial Projects* (PDRI-SIP), leva em consideração o menor investimento e a simplicidade relativa desses empreendimentos. O PDRI-SIP é composto por três seções principais, cada uma subdividida em oito categorias, que por sua vez contemplam um total de 41 atividades, conforme apresentado na Tabela 13 (Collins *et al.*, 2017; Construction Industry Institute, 2015).

Tabela 13
Fases FEL modelo CII – PDRI-SIP

Fase	Área foco	Atividade
Seção 1 - Base da decisão do projeto	A. Alinhamento do projeto	Declaração de objetivos do projeto
		Estratégia do projeto e escopo de trabalho
		Filosofias do projeto
		Localização
	B. Requisitos de desempenho do projeto	Produtos
		Capacidades
		Processos
		Tecnologia
		Local físico
		Escopo de trabalho do líder/disciplina
Seção 2 - Base do design	C. Orientação de projeto	Critérios de concepção do projeto
		Avaliação do local do projeto
		Especificações
		Insumo de construção
	D. Base de design de processo/produto	Gestão de segurança de processo
		Diagramas de fluxo de processos junto com equilíbrio de calor e material
		Diagramas de tubulação e instrumentação
		Análise de tensão do sistema de tubulação
		Desenhos de localização de equipamentos
		Lista de itens críticos de processo/produto
	E. Sistemas elétricos e de instrumentação	Filosofia de controle
		Descrições funcionais e controle de narrativas
		Diagramas unifilares elétricos
		Lista de itens elétricos críticos
	F. Requisitos gerais das instalações	Plano do local
		Requisitos de carga/descarga/armazenamento
		Requisitos de transporte
		Requisitos adicionais do projeto
Seção 3 - Abordagem de execução	G. Requisitos de execução	Plano de aquisições
		Requisitos de aprovação do proprietário
		Matriz de distribuição
		Plano de gestão de riscos
		Requisitos de desligamento/parada
		Requisitos de pré-comissionamento, inicialização e sequência de rotatividade
		Metodologia de engenharia/construção

H. Plano e abordagem de engenharia/construção

Estimativa de custos do projeto
Contabilidade do projeto e controle de custos
Cronograma do projeto e controle do cronograma
Controle de mudanças do projeto
Entregáveis para projeto e construção
Entregáveis para comissionamento/Encerramento do projeto

Nota. Adaptado de *Construction Industry Institute* (2015).

O *Project Definition Rating Index* (PDRI) para projetos de pequeno porte, diferentemente do modelo original, é recomendado para uso em apenas duas fases. Após a fase de viabilidade do projeto, o PDRI – *Early Review* funciona como um dos critérios para a decisão de prosseguir com o desenvolvimento detalhado do escopo. Já o PDRI – *Final Review* corresponde à avaliação final do projeto, realizada ao término do planejamento inicial, ou seja, ao final da definição do escopo detalhado (Construction Industry Institute, 2015).

No modelo proposto pela *Independent Project Analysis* (IPA), as atividades e entregáveis estão alinhados com cada fase do FEL e com os respectivos portões de revisão (Merrow, 2024; Rahbar & Avalon, 2023). Esse modelo contempla aspectos relacionados a custo, cronograma e desempenho, sendo fundamentado em uma base de dados históricos composta por milhares de projetos ao redor do mundo. A partir dessa base, são geradas análises comparativas (*benchmarking*) quantitativas, sustentadas por evidências empíricas e métodos estatísticos (Arrouj, 2017; Merrow, 2024).

O modelo da IPA organiza os processos do FEL em três estágios principais, conforme apresentado na Tabela 14, com pontos de parada para avaliação ao final de cada estágio, caracterizando os portões de revisão (Arrouj, 2017).

Tabela 14

Fases FEL modelo IPA

Fase	Área foco	Atividades
FEL-1	Plano de negócios	Experiência de mercado; Análise competitiva; Custos de matéria-prima/Material de alimentação; Investimento e vida econômica; Estrutura regulatória legal; e Completeness do plano de negócios.
	Dinâmica de equipe	Patrocínio e liderança; Processo claro de autorização e recursos; Equipe de projeto multifuncional; Metas e expectativas claras da equipe; Comunicação clara, oportuna e eficaz; Processos eficazes de tomada de decisão; e Estabilidade da equipe.
	Análise de alternativas	Seleção de tecnologia competitiva; Declaração de objetivos de negócios; Recomendação de capacidade; e

FEL-2	Fatores da planta	Plano técnico. Local determinado; Layout do bloco de equipamentos identificado; Relatório preliminar de solos e hidrologia; Requisitos de autorização ambiental identificados; Requisitos de saúde e segurança identificados; Pesquisa trabalhista; e Conteúdo local.
	Status do projeto	Dados básicos do processo; Tarefas de engenharia: Escopo, lista de equipamento etc.; Objetivos de negócios claros; e Participação e adesão de operações e negócios.
	Plano de execução do projeto	Estratégias de execução: Design, aquisições, contratações; Cronograma CPM integrado; e Objetivos claros do projeto.
FEL-3	Fatores do sítio	Mão de obra: Disponibilidade, custo, produtividade; Disponibilidade de materiais locais; Plantas e arranjos de terrenos; Requisitos ambientais; e Requisitos de saúde e segurança.
	Status do projeto	Tarefas de engenharia: Escopo detalhado; matéria-prima; diagramas elétricos; e estimativa financeira; e Acordos e contratações: Operações, manutenção, negócios.
	Plano de execução do projeto	Estratégia de contratação; Ambiente do projeto: relação com a comunidade; Organização/recursos do projeto; Participantes e funções da equipe; Plano de gerenciamento de interface e comunicação; Itens do caminho crítico: requisitos de horas extras; Planos comissionamento, operação e inicialização; e Controles de custo/cronograma.

Nota. Adaptado de Arrouj, (2017).

Diversas consultorias e autores, tanto na indústria quanto na academia, utilizam os modelos do CII e da IPA, realizando adaptações voltadas a diferentes tipos de projetos (Dionisi, 2023; Gibson *et al.*, 2023; Rahbar & Avalon, 2023). Essa prática evidencia a flexibilidade e a capacidade de adaptação desses modelos a distintos contextos organizacionais e setoriais (Construction Industry Institute, 2015; Dionisi, 2023).

Embora os modelos da CII e da IPA compartilhem fundamentos conceituais semelhantes, diferem nas abordagens adotadas para alcançar os resultados esperados. Ambos, no entanto, servem como referências amplamente reconhecidas por outras consultorias e pesquisadores acadêmicos, conforme ilustrado na Tabela 15.

Tabela 15*Objetivos e entregáveis do FEL*

Fase	Objetivo das fases do FEL & Portões	Entregáveis
FEL-1	Coletar as informações necessárias para a compreensão dos objetivos do projeto (Construction Industry Institute, 2014);	Carta do projeto; Documento de escopo do projeto;
	Desenvolvimento do planejamento e negócios e a determinação da viabilidade básica de um investimento de capital (Merrow, 2024);	Cronograma do projeto do plano de negócios; Cronograma mestre do projeto de nível I; Estimativa do plano de negócios de $\pm 50\%$ (Rahbar & Avalon, 2023).
	Desenvolvimento do planejamento de negócio e a definição dos objetivos de negócio e identificação de oportunidades (Motta <i>et al.</i> , 2014; Rahbar & Avalon, 2023).	
FEL-2	Aborda os processos e elementos de informações técnicas que devem ser avaliados para uma compreensão completa dos requisitos de engenharia/projeto necessários para o projeto (Construction Industry Institute, 2014);	Documento ou pacote de base de design; Plano de execução preliminar do projeto (PEP); Estrutura analítica do projeto (WBS); Cronograma de marcos do projeto de nível II;
	Realizado o desenvolvimento do escopo do projeto (Rahbar & Avalon, 2023);	Relatório Análise de risco de cronograma (SRA); Estimativa de orçamento de $\pm 30\%$ (Rahbar & Avalon, 2023).
	Seleção e desenvolvimento do escopo de um projeto (Merrow, 2024).	
FEL-3	Avaliação de elementos que devem ser avaliados para uma compreensão completa da estratégia do proprietário e da abordagem necessária para a execução da construção e encerramento do projeto (Construction Industry Institute, 2014);	Pacote de design <i>front-end</i> ; Documento de licitação do contrato de execução; Cronograma resumo do projeto (PSS) nível III;
	Realização do desenvolvimento básico de engenharia, especificação dos equipamentos e plano de suprimentos (Merrow, 2024; Motta <i>et al.</i> , 2014).	Plano de execução preliminar do projeto (PEP) detalhado; +/- Estimativa definitiva de 10% usada para financiamento permanente do projeto (AFE) (Rahbar & Avalon, 2023).

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

O presente estudo tem como objetivo propor um modelo sintetizado de *front-end loading* (FEL), voltado à aplicação em projetos de pequeno porte, considerando que esses projetos representam até 90% do total de projetos concluídos no setor industrial (Construction Industry Institute, 2015). Embora a CII disponha de um modelo específico para esse contexto, o PDRI-SIP, trata-se ainda de uma estrutura relativamente complexa, composta por 41 atividades. Além disso, o modelo considera como pequeno porte projetos com orçamento de até US\$ 10 milhões, duração entre três e seis meses e equipes de até nove membros (Construction Industry Institute, 2015), o que pode torná-lo de difícil aplicação, especialmente para empresas de pequeno e médio porte.

O modelo aqui proposto, apresentado na Tabela 16, tem como foco a tomada de decisão estratégica e busca promover o alinhamento entre os objetivos do projeto e os resultados esperados. Seu público-alvo são empresas de pequeno e médio porte, com ênfase em projetos de curta duração, preferencialmente até seis meses e equipes de até nove integrantes.

Um modelo pode ser compreendido também como uma descrição, ou seja, uma representação estruturada de como os fenômenos ocorrem. Assim, é fundamental que as relações entre os elementos do modelo estejam claramente definidas (Dresch *et al.*, 2020). Os elementos propostos foram concebidos com base nos objetivos essenciais para a obtenção de resultados consistentes na fase inicial de execução do projeto.

Tabela 16

Primeira versão do modelo para projetos de pequeno porte

Fase	Objetivo das fases	Principais atividades de projetos de pequeno porte	Entregáveis
Fase 1	Desenvolver o planejamento e negócios com a definição dos objetivos de negócio e determinação da viabilidade financeira.	Business case • Sumário executivo • Objetivo da unidade de negócios • Justificativa do Projeto • Escopo básico (visão geral) • Análise financeira do projeto • Riscos e plano de mitigação • Análise financeira do projeto Alinhar os objetivos do projeto com a equipe; e Destacar as expectativas das partes interessadas.	• Business case do projeto; • Cronograma básico do projeto; e • Estimativa financeira ($\pm 50\%$).
Portão de revisão Fase 1			
Fase 2	Realizar o desenvolvimento do escopo do projeto.	Desenvolver o escopo básico do projeto • Definir o escopo; • Criar a Estrutura de WBS; e • Validar o escopo.	• Estrutura analítica do projeto (WBS); e • Estimativa financeira ($\pm 30\%$)
Fase 3	Realização do detalhamento de engenharia.	Detalhamento do projeto de engenharia • Escopo completo com especificações funcionais; • Requisitos técnicos; • Lista de materiais/equipamentos necessários; • Definição de investimento (orçamentos); • Definição de parceiros (serviços).	• Documento de licitação do contrato de execução; • Estimativa financeira ($\pm 10\%$); e • Aprovação final do pré-projeto.
Portão de revisão das Fases 2 e Fase 3			

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Os objetivos do modelo proposto baseiam-se nas informações essenciais para o alinhamento prévio do projeto e para a tomada de decisão, considerando as particularidades de um projeto de pequeno porte. A seguir, são apresentados os elementos fundamentais que compõem esse modelo:

- **Business Case:** Refere-se às informações necessárias, sob a perspectiva empresarial, para determinar se o projeto justifica o investimento requerido, servindo de base para a tomada de decisão por gestores ou executivos em níveis superiores ao da equipe do projeto (Project Management Institute, 2013). A literatura indica que *business cases* bem estruturados, quando utilizados de forma consistente ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, contribuem significativamente para a governança e elevam a taxa de sucesso dos projetos (Einhorn *et al.*, 2019). Esse documento viabiliza a análise de custo-benefício, justificando e delimitando os parâmetros do projeto (Project Management Institute, 2013).
- **Escopo do Projeto:** Corresponde ao processo de elaboração de uma descrição detalhada do projeto e de seu produto. Seu principal benefício consiste na definição clara dos limites do projeto, identificando quais requisitos serão incluídos ou excluídos do escopo (Project Management Institute, 2013). A definição inadequada do escopo é amplamente reconhecida pelos profissionais da indústria como uma das principais causas de falhas em projetos, com impactos negativos significativos sobre custo, prazo e desempenho operacional (Cho & Gibson, 2001).
- **Detalhamento de Engenharia:** Refere-se ao escopo técnico detalhado do projeto, que compreende a documentação de engenharia, incluindo entregas como estimativas de custo, cronograma, estratégia de suprimentos, plano de execução e plano de gerenciamento de riscos (Yussef *et al.*, 2019). Esforços bem conduzidos nesta fase podem mitigar desafios no comissionamento e permitir a incorporação de práticas sustentáveis, como a seleção de materiais e tecnologias ambientalmente adequadas. O detalhamento de engenharia ocorre na terceira fase do FEL, que abrange os processos de trabalho necessários para preparar o projeto para a fase de execução (Morrow, 2024).

Os entregáveis de cada fase do modelo consistem em documentos que subsidiam a tomada de decisão nos portões de revisão, além de servirem de base para a execução do projeto. Na fase 1, a estimativa de custo pode apresentar uma variação de até $\pm 50\%$, acompanhada de um cronograma preliminar. Na fase 2, a estimativa de custo torna-se mais precisa, com variação em torno de 30% , e é elaborada a Estrutura Analítica do Projeto (Work Breakdown Structure – WBS). Por fim, na fase 3, são entregues a documentação final, o contrato de execução e a estimativa financeira com precisão de aproximadamente $\pm 10\%$, além do pacote completo de detalhamento de engenharia.

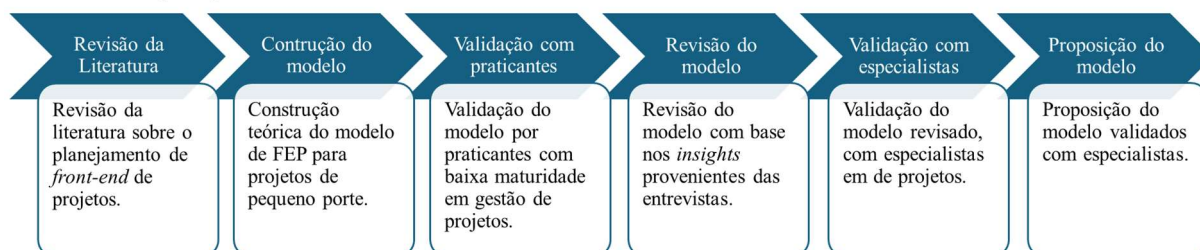
3.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este artigo adota uma abordagem metodológica qualitativa, de natureza exploratória (Creswell & Creswell, 2021; Gerring, 2017). O desenho da pesquisa foi estruturado em seis fases, conforme ilustrado na Figura 8.

Na **primeira etapa**, foi realizada a construção do referencial teórico, com base no estudo dos dois modelos de *front-end planning* (FEP) mais citados na literatura. A **segunda etapa** consistiu na elaboração do modelo inicial de FEP proposto. Na **terceira etapa**, procedeu-se à validação preliminar do modelo com profissionais atuantes na área da Indústria 4.0 (I4.0). A partir dos *insights* obtidos nas entrevistas, foi realizada a **revisão do modelo**, correspondente à quarta etapa. Em seguida, na **quinta etapa**, o modelo revisado foi submetido a uma nova validação, dessa vez com especialistas em gestão de projetos. Por fim, na **sexta etapa**, procedeu-se à consolidação do modelo, incorporando os contributos obtidos nas entrevistas com os especialistas.

Figura 8

Desenho de pesquisa estudo 2



Nota. Elaborado pelo autor (2025).

Foi desenvolvido um modelo de *front-end loading* (FEL) voltado a projetos de pequeno porte, com base nos dois modelos mais citados na literatura: o modelo do *Construction Industry Institute* (CII) e o da *Independent Project Analysis* (IPA). O modelo proposto foi construído a partir de *insights* extraídos desses referenciais, com o objetivo de simplificá-los ao mínimo necessário para viabilizar o planejamento de *front-end* em projetos de menor complexidade.

Após o desenvolvimento inicial, foram conduzidas duas rodadas de entrevistas com o intuito de validar e aprimorar o modelo. O primeiro grupo de entrevistados, denominado “Grupo A”, foi composto por profissionais com baixa maturidade em gestão de projetos. O segundo grupo, denominado “Grupo B”, foi formado por gestores com ampla experiência profissional e acadêmica na área, conforme caracterizado na Tabela 17.

O perfil dos entrevistados do Grupo A corresponde a profissionais da área de automação industrial, com experiência prévia em projetos de pequeno porte voltados à I4.0, com valores de até US\$ 1 milhão, porém com conhecimento limitado em *front-end planning*. O objetivo dessa primeira rodada de entrevistas foi obter validação do modelo junto a potenciais usuários. Foram entrevistados quatro engenheiros, todos com sólida atuação em projetos industriais no contexto da I4.0.

Com base nos *insights* e nas sugestões de melhoria propostas pelos participantes do Grupo A, o modelo passou por um processo de revisão. A versão revisada foi então submetida a uma segunda rodada de validação com o Grupo B. Esse grupo foi composto por cinco especialistas em gestão de projetos, com destacada trajetória profissional e acadêmica em projetos de diferentes portes. Entre os entrevistados, havia um mestre em gestão de projetos, três doutores em gestão de projetos e um doutor em engenharia de produção.

As entrevistas com ambos os grupos foram realizadas no formato *on-line*, com duração média de uma hora, e foram integralmente gravadas. A dinâmica das entrevistas foi estruturada em duas partes: a primeira, voltada à apresentação do modelo, sua contextualização e objetivos; e a segunda, destinada à discussão do modelo e à coleta de contribuições dos participantes. Todos os entrevistados demonstraram elevado engajamento e interesse em relação ao tema abordado. Os participantes consentiram voluntariamente em participar das entrevistas, após receberem uma Declaração de Consentimento que esclarecia o uso exclusivo acadêmico e o sigilo dos dados. A cópia dessa declaração está disponível no Apêndice B.

Tabela 17

Perfil dos entrevistados

Grupo	Entrevistado	Experiência Profissional	Experiência projetos			Experiência com FEP
			Praticante Projetos	Gestor Projetos	Acadêmica	
Grupo A	GA.E1	22 anos	X			X
	GA.E2	6 anos	X			
	GA.E3	12 anos	X			
	GA.E4	21 anos	X			
Grupo B	GB.E1	28 anos		X	X	
	GB.E2			X	X	X
	GB.E3	27 anos		X	X	X
	GB.E4	21 anos		X	X	X
	GB.E5	33 anos		X	X	

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Os entrevistados contribuíram de forma significativa para o aprimoramento do modelo, e os *insights* emergentes das entrevistas foram analisados à luz do contexto proposto, com o

objetivo de promover melhorias estruturais e conceituais. A partir dessa segunda rodada de validações, foi consolidado o modelo final, apresentado na Tabela 18.

Tabela 18

Modelo de para projetos de pequeno porte revisado.

Framework projetos de pequeno porte			
Fase	Objetivo das fases	Principais atividades	Entregáveis
Fase 1	Desenvolver o planejamento e negócios, definição dos objetivos de negócio e estimativa financeira.	Business case básico; • Sumário executivo • Objetivo da unidade de negócios • Justificativa do Projeto • Escopo básico (visão geral) • Estimativa custo do projeto • Patrocinador do projeto • Riscos * • Impacto ESG no contexto do projeto * Acordos de confidencialidade; * Identificar as partes interessadas (<i>stakeholders</i>); Alinhar os objetivos do projeto com a equipe; e Destacar as expectativas dos <i>stakeholders</i> /patrocinador.	Business case básico do projeto; Prazo estimado do projeto; Expectativas dos <i>stakeholders</i> /patrocinador; e Estimativa financeira (acurácia de $\pm 50\%$).
Portão de revisão fase 1	Avaliar a maturidade da fase 1.	Análise dos documentos; Bases e planos do projeto; Avaliação da maturidade; Decisão do comitê; e Planos de execução próxima fase	Ata de decisão do comitê da fase 1
Fase 2	Realizar o desenvolvimento do escopo do projeto.	Desenvolver o escopo do projeto • Plano de mitigação de riscos * • Conformidade ESG * • Estrutura de WBS * Validação do escopo	Escopo do projeto validado Estimativa financeira (acurácia de $\pm 30\%$)
Portão de revisão fase 2	Avaliar a maturidade da fase 2	Análise dos documentos; Bases e planos do projeto; Avaliação da maturidade; Decisão do comitê; e Planos de execução próxima fase	Ata de decisão do comitê da fase 2
Fase 3	Realização do desenvolvimento básico de engenharia, especificação dos equipamentos e plano de suprimentos.	Detalhamento do projeto de engenharia (baseado no escopo) • Especificações funcionais do escopo • Requisitos técnicos em conformidade com normas vigentes; • Lista de materiais/equipamentos; • Definição de investimento (orçamentos) • Definição de parceiros (fornecedores/serviços) Validação do pré-projeto – virtual *	Documento para licitação/compras e contrato de execução * Cronograma básico Estimativa financeira (acurácia de $\pm 10\%$) Ata de decisão do comitê da fase 3
Portão de revisão fase 3	Avaliar a maturidade da fase 3	Análise dos documentos; Bases e planos do projeto; Avaliação da maturidade; Decisão do comitê; e Planos de execução próxima fase	Ata de decisão do comitê da fase 3 Aprovação final do Planejamento de <i>front-end</i>

* Itens opcionais, conforme a demanda do projeto

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

3.4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As entrevistas confirmaram os achados da literatura ao indicarem que a gestão de pré-projetos de pequeno porte ainda recebe pouca atenção. Como consequência, esses projetos frequentemente apresentam um planejamento mínimo antes de sua implementação, o que compromete diretamente suas chances de sucesso (Collins *et al.*, 2017).

O desenvolvimento do modelo proposto seguiu uma abordagem teórica fundamentada na análise dos modelos existentes. A partir dessa revisão, foi elaborada uma primeira versão do modelo, estruturada em seis fases, sendo a primeira dedicada à revisão da literatura para identificação e análise de modelos disponíveis.

Observou-se que o tema do *front-end planning* (FEP) está fortemente presente na literatura cinzenta, por meio de modelos desenvolvidos por consultorias especializadas. Os modelos mais citados são os da *Independent Project Analysis* (IPA) e do *Construction Industry Institute* (CII). Além desses, foram identificados modelos proprietários desenvolvidos por empresas privadas, adaptados às suas necessidades e processos internos (Arrouj, 2017; Dionisi, 2023; Motta *et al.*, 2014).

No campo acadêmico, alguns autores também desempenham um papel relevante. Morgan (1987) foi um dos primeiros a discutir os benefícios da gestão de *front-end* em projetos. Morris (2005, 2016) é amplamente citado por suas reflexões teóricas sobre a gestão de projetos. Williams *et al.* (2019) apresentaram uma revisão sistemática da literatura sobre o tema, oferecendo uma compilação teórica abrangente. Destacam-se ainda autores associados aos modelos da IPA, como Barshop (2016), executiva da IPA que publicou um livro sobre a aplicação do FEL em projetos de capital, e Merrow (2024)), também executivo da IPA, autor de uma obra que trata da aplicação do FEL em megaprojetos.

Outro autor central é George Gibson (1995, 2006, 2023), referência no desenvolvimento de diversas ferramentas do *Construction Industry Institute*. Merecem destaque também seus colaboradores, como Yussef (2019, 2020) e Collins *et al.* (2017), que deram continuidade às pesquisas de Gibson, com contribuições relevantes voltadas à aplicação da teoria de FEP na gestão de projetos industriais.

A partir da revisão da literatura, ficou evidente a relevância dos modelos da IPA e do CII, os quais, por sua frequência de citação e aplicabilidade prática, foram adotados como base para o desenvolvimento do modelo proposto neste estudo. A proposta visa à criação de uma ferramenta simples, acessível e de fácil aplicação, voltada a gestores de projeto e gestores

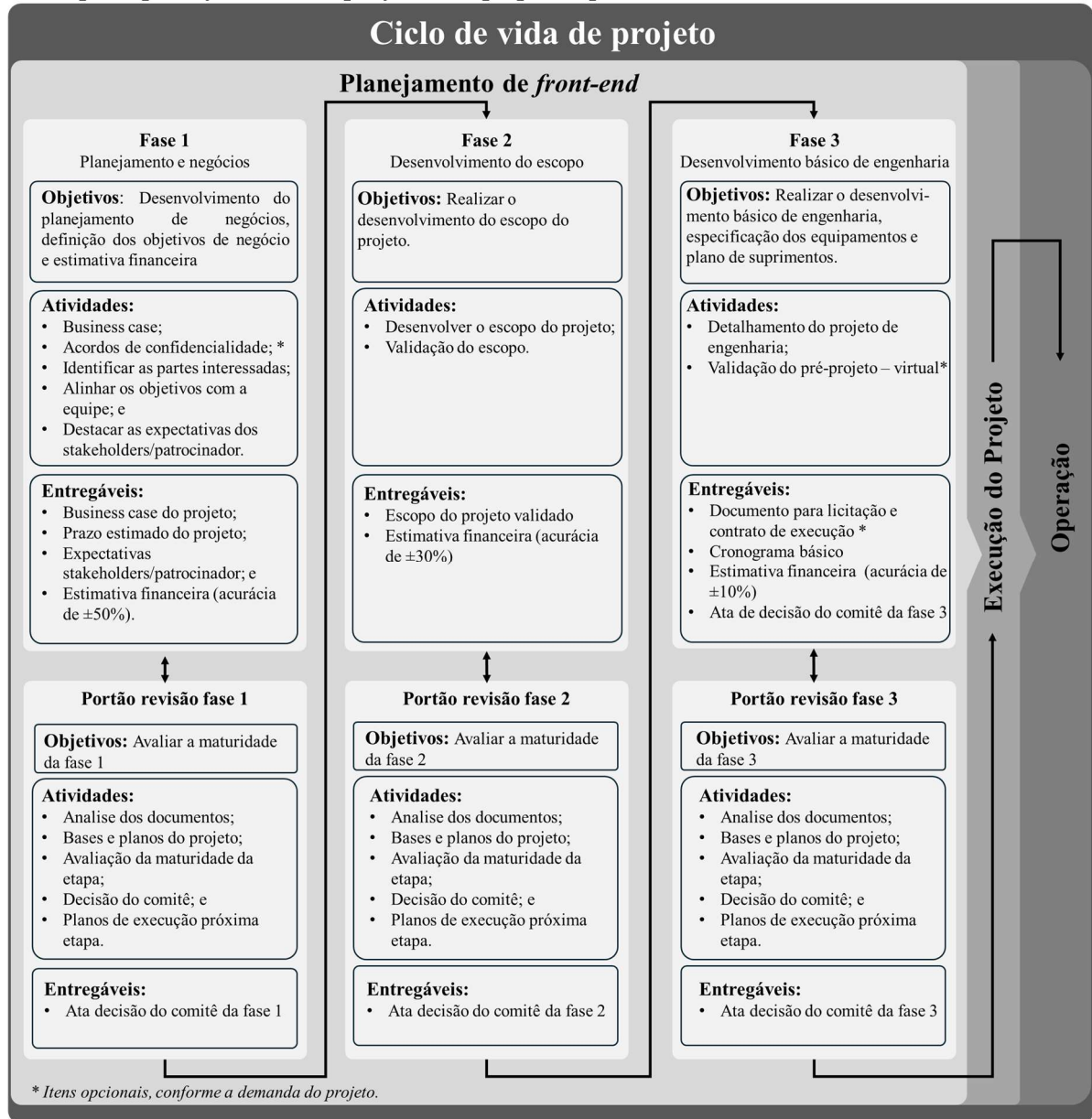
funcionais com pouca experiência em FEP, que enfrentam o desafio de conduzir projetos de pequeno porte.

O objetivo central do modelo é facilitar o planejamento da fase de *front-end*, contribuindo para a disseminação dessa prática e para o fortalecimento da maturidade na gestão de pré-projetos de pequeno porte, categoria que representa até 90% dos projetos na indústria (Construction Industry Institute, 2015).

Todos os nove entrevistados compreenderam claramente o propósito do modelo e ofereceram contribuições relevantes para o seu aprimoramento. Além disso, validaram sua aplicabilidade dentro do contexto de FEP, reconhecendo seu potencial para alinhar a fase de planejamento do pré-projeto com a execução, bem como para mitigar falhas de comunicação entre os agentes envolvidos.

Cabe destacar os estudos de Collins *et al.* (2017) e do *Construction Industry Institute* (2015), que também propõem modelos de FEP voltados a projetos de pequeno porte. No entanto, o diferencial do modelo aqui apresentado reside em sua abordagem simplificada, voltada a profissionais sem experiência prévia em FEP e focada em projetos com valor inferior a US\$ 1 milhão, muitos dos quais não contam com a atuação de um gerente de projetos experiente.

O modelo proposto não se restringe a abordagens metodológicas específicas, como as tradicionais ou ágeis. Embora incorpore elementos da gestão tradicional, sua principal ênfase está na fase de pré-projeto. O objetivo é fornecer informações robustas e consistentes que subsidiem a execução do projeto, independentemente da abordagem adotada. A Figura 9 apresenta uma representação gráfica do modelo proposto.

Figura 9*Modelo para planejamento de projetos de pequeno porte**Nota. Elaborado pelo autor (2025)*

3.4.1. Resultados das entrevistas com os praticantes

Os entrevistados contribuíram com sugestões relevantes para o aprimoramento do modelo. Durante as entrevistas, surgiram dúvidas e questionamentos relacionados à aplicação do modelo com base em experiências anteriores. Foram apresentados argumentos práticos, como o do participante GA.E1, que observou que, em projetos de grande porte, a ausência de um trabalho estruturado na fase de pré-projeto impede o gestor de sequer dar continuidade aos processos de aprovação. Por outro lado, em projetos de menor porte, a fase de pré-projeto frequentemente é negligenciada, o que resulta em deficiências na gestão que só se tornam evidentes durante a execução.

Embora o planejamento de *front-end* tenha se mostrado essencial para o sucesso estratégico do projeto, essa fase ainda é pouco compreendida (Williams *et al.*, 2019). Essa também foi a percepção de GA.E2, que destacou a importância de uma ferramenta como o modelo proposto para estruturar o planejamento do pré-projeto, considerando que é comum que os projetos sejam iniciados sem planejamento prévio e com escopo mal definido, ou seja, iniciam-se diretamente na fase de execução.

GA.E3 ressaltou a importância de realizar um alinhamento estratégico entre os *stakeholders* (internos e externos) para mitigar eventuais desalinhamentos de escopo. Os entrevistados também reconheceram os benefícios do FEP em influenciar positivamente o sucesso global do projeto e seu alinhamento estratégico (Yussef *et al.*, 2019). Nesse sentido, GA.E4 comentou sobre a relevância de compreender, ainda na fase de pré-projeto, o valor esperado do projeto pelo patrocinador.

Os participantes também foram questionados quanto à aplicabilidade do modelo em experiências anteriores e em projetos futuros. Todos afirmaram que teriam se beneficiado da aplicação do modelo em projetos passados e demonstraram disposição para utilizá-lo em iniciativas futuras, citando exemplos concretos. GA.E1 justificou sua resposta ao destacar a utilidade dos portões de revisão na obtenção de aprovações formais das áreas envolvidas, ainda na fase conceitual do projeto, promovendo o alinhamento de escopo com os *stakeholders*.

De forma semelhante, GA.E3 reforçou que esse alinhamento é fundamental para melhorar a comunicação ao longo do projeto e para mitigar problemas na fase de execução. Argumentou, ainda, que o uso de uma ferramenta de planejamento na fase de pré-projeto contribui para um alinhamento mais efetivo de escopo, resultando em cronogramas e orçamentos mais assertivos ao longo do projeto.

Para GA.E4, o modelo proposto representa uma ferramenta promissora tanto para o planejamento do pré-projeto quanto para a gestão do projeto durante sua execução. GA.E2 e GA.E4 enfatizaram que, na maioria dos projetos, especialmente em empresas de pequeno e médio porte orientadas a projetos, não há a figura formal de um gerente de projetos. Nessas situações, a gestão costuma ser conduzida por gestores funcionais em estruturas temporárias. Por essa razão, ambos ressaltaram a importância de uma ferramenta visual que possa detalhar as fases do projeto e servir de apoio especialmente para profissionais com pouca experiência em gestão, favorecendo uma maior maturidade na interpretação e condução do projeto.

3.4.2. Resultados das entrevistas com os especialistas

Na segunda rodada de entrevistas para validação do modelo, os especialistas apresentaram uma visão abrangente sobre a gestão de projetos, com contribuições relevantes para o aprimoramento da proposta, incluindo a sugestão de ferramentas complementares.

Ao serem questionados sobre a viabilidade e a contribuição do modelo, os entrevistados GB.E1 e GB.E4 destacaram sua simplicidade e facilidade de aplicação em projetos de pequeno porte. O entrevistado GB.E4, com experiência em consultoria a entidades de apoio a micro e pequenas empresas, enfatizou a importância do modelo para esse perfil organizacional. Os demais participantes também confirmaram a aplicabilidade do modelo e seus benefícios. GB.E3 observou que “a grande sacada do modelo é que ele é progressivamente elaborado”. Já GB.E2 afirmou que “o modelo proposto é, sim, aplicável, principalmente por ser uma ferramenta que orienta, passo a passo, o planejamento da fase de pré-projeto”. Ele justificou essa afirmação com base em sua experiência em projetos governamentais, relatando que, nesses contextos, “processos não documentados são considerados inexistentes, o que gera lacunas ao longo do projeto”.

Para GB.E5, o modelo é claro e aplicável a qualquer projeto com avaliação de viabilidade financeira, ressaltando que, sem orçamento aprovado, o projeto não deve avançar. O entrevistado também ressaltou o valor da estrutura progressiva do modelo: a fase 1 apresenta informações básicas para a primeira decisão, o fase 2 traz maior nível de detalhamento para continuidade e o fase 3 consolida os elementos necessários para a decisão de execução.

Os especialistas também destacaram a relevância do modelo para a gestão de projetos de pequeno porte. GB.E1 afirmou que “a proposta do modelo faz sentido, especialmente tratando-se de projetos de pequeno porte, tudo que contribua para a fase de controle e gestão é

bem-vindo”. No mesmo sentido, GB.E2 reforçou que a formalização do planejamento de *front-end* promove o desenvolvimento de competências em gestão de projetos. Como exemplo, mencionou a alta rotatividade de pessoas em projetos do setor público, o que compromete a continuidade. Nesses casos, a documentação da fase de planejamento é essencial.

O entrevistado GB.E2, com ampla experiência na gestão de pré-projetos utilizando a ferramenta *Life Cycle Canvas* (LCC), destacou o valor do modelo para análise e alinhamento entre os envolvidos. Segundo ele, a formalização do processo contribui para a redução de ruídos de comunicação, o que é fundamental para o bom andamento e a continuidade do projeto.

GB.E3 apontou a viabilidade do modelo em contextos de escalabilidade de projetos em empresas de pequeno e médio porte, especialmente aquelas com apenas um gerente de projetos. Em sua visão, “um gerente de projetos mais experiente pode apoiar diversos outros projetos conduzidos por profissionais com menor experiência, inclusive participando dos comitês de portões de aprovação”. Além disso, os entrevistados do Grupo B sugeriram ferramentas complementares para auxiliar na execução das atividades previstas no modelo. GB.E1 recomendou o uso da metodologia *Lean Inception* para apoiar a definição do escopo e o alinhamento dos *stakeholders* na fase 2. Trata-se de uma abordagem ágil, desenvolvida por Caroli (2017), que combina princípios do *Lean Startup* com *Design Thinking* (DT), e que visa, ao final do processo, obter o *Minimum Viable Product* (MVP) (Braga *et al.*, 2020). GB.E1 também destacou o caráter preventivo do modelo e sugeriu a validação do pré-projeto com o uso de ferramentas digitais de simulação, quando viável.

GB.E3 sugeriu a utilização da matriz RACI para a definição das responsabilidades na fase 1. A matriz RACI é uma ferramenta amplamente utilizada para atribuição de papéis em projetos, definindo as relações entre tarefas e responsabilidades atribuídas a cada membro da equipe. A sigla RACI refere-se a *Responsible* (Responsável), *Accountable* (Autoridade/Aprovador), *Consulted* (Consultado) e *Informed* (Informado) (Morgan, 2008; Suhandi & Pratami, 2021).

Por fim, GB.E4 apresentou uma sugestão especialmente relevante para projetos relacionados à I4.0: a inclusão de uma análise de Custo Total de Propriedade (*Total Cost of Ownership* – TCO). Esse conceito visa compreender o custo real de um projeto ou aquisição, considerando não apenas o preço de aquisição, mas todos os custos ao longo do ciclo de vida, como implementação, operação, manutenção e descarte (Ellram, 1993). No contexto da I4.0, o TCO também considera custos ocultos, como tempo de inatividade e adaptação tecnológica (Landscheidt & Kans, 2016).

3.5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A primeira versão do modelo foi desenvolvida com base nos modelos do *Construction Industry Institute* (CII) e da *Independent Project Analysis* (IPA), a partir de uma perspectiva simplificada, priorizando elementos essenciais para o alinhamento estratégico entre as partes envolvidas. O modelo busca oferecer aos patrocinadores a oportunidade de expressar os aspectos de maior valor associados aos objetivos do projeto, promovendo o alinhamento estratégico esperado ao final de sua execução. A primeira versão do modelo é composta por três fases e dois portões de revisão.

O modelo foi submetido à avaliação de quatro engenheiros atuantes em projetos de pequeno porte (com valores de até US\$ 1 milhão) e sem formação formal em gestão de projetos. Os entrevistados identificaram diversos benefícios em sua aplicação, destacando:

- (i) A relevância da formalização das sessões dos portões de revisão para obtenção da aprovação formal dos *stakeholders*;
- (ii) A importância do alinhamento de escopo, com potencial para melhorar a comunicação ao longo do projeto e mitigar falhas na execução;
- (iii) A maior robustez do projeto em termos de cronograma e orçamento mais assertivos;
- (iv) A simplicidade e clareza visual da ferramenta, facilitando seu uso por gestores com pouca experiência em *front-end planning*; e
- (v) O potencial de promover maior maturidade na interpretação do projeto e em sua condução.

A segunda rodada de validação contou com cinco gestores de projetos com ampla experiência profissional e acadêmica na área, os quais contribuíram significativamente para a validação do modelo e trouxeram *insights* valiosos, incluindo sugestões de ferramentas complementares para apoiar sua implementação. Dentre as recomendações, destacam-se:

- (i) A aplicação da metodologia *Lean Inception* para apoiar a definição do escopo e o alinhamento entre os envolvidos na fase 2;
- (ii) O uso da matriz RACI para definição clara das responsabilidades nas fases do modelo; e
- (iii) A inclusão de uma análise de *Total Cost of Ownership* (TCO).

Todos os entrevistados reconheceram o potencial de aplicação do modelo em projetos passados e manifestaram intenção de utilizá-lo em projetos futuros. Além de validarem a

estrutura proposta, também sugeriram melhorias que foram debatidas, sendo as mais viáveis, incorporadas ao modelo, o que resultou na versão final do modelo, apresentada na Figura 9.

Esse processo de construção do modelo suportou a sua viabilidade e respondeu à questão de pesquisa: Quais são os objetivos e entregáveis essenciais para o planejamento de front-end de projetos de pequeno porte? O modelo oferece uma proposta de fácil aplicação, inclusive por profissionais com baixa maturidade em gestão de projetos.

3.5.1. Contribuições

Este artigo apresenta oferece uma relevante contribuição acadêmica ao destacar a importância do planejamento durante a fase de pré-projeto, um tema ainda relativamente pouco explorado em comparação com outros na literatura de gerenciamento de projetos. Especificamente, ele aborda uma lacuna relacionada ao planejamento de pré-projetos de pequena escala, que recebeu atenção limitada em pesquisas anteriores.

Do ponto de vista prático, o modelo proposto entrega uma ferramenta simplificada que se diferencia de modelos existentes por apresentar fases bem definidas e objetivos claros. Ele incorpora elementos essenciais para identificar as bases do projeto, suas oportunidades e desafios, além de fornecer uma definição direta do escopo alinhada à estratégia organizacional. Além disso, o modelo apoia o desenvolvimento de um projeto de engenharia que facilita o início da execução do projeto. Essa abordagem permite que profissionais com pouca experiência em FEP apliquem práticas estruturadas de planejamento, ampliando a discussão sobre o tema e incentivando o engajamento com métodos vantajosos de gestão de projetos.

3.5.2. Limitações e estudos futuros

As limitações do estudo estão na ausência de aplicação prática do modelo em projetos reais, já que sua validação foi restrita a entrevistas com profissionais relevantes. Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se aprofundar o desenvolvimento das ações propostas e criar uma aplicação web que encapsule o modelo em uma plataforma digital. Isso facilitaria seu uso e disseminação, permitindo maior acesso e testes práticos. Adicionalmente, transformar o modelo em um método com atividades claramente descritas, projetado para ser facilmente utilizado por profissionais com baixa maturidade em gestão de projetos, apoiaria sua adoção em organizações onde a expertise formal em gerenciamento de projetos é limitada.

4. ESTUDO 3 - UM OLHAR SOBRE A IMPORTÂNCIA DA PERSUASÃO NA DIFUSÃO DA INOVAÇÃO NA DISSEMINAÇÃO DAS TECNOLOGIAS INDUSTRIAIS AVANÇADAS: ESTUDOS DE CASOS DE CENTROS TECNOLÓGICOS

4.1. INTRODUÇÃO

O setor de manufatura é amplamente reconhecido como um dos pilares da atividade econômica em diversos países (Ahmetoglu *et al.*, 2023; Bahrin *et al.*, 2016), desempenhando papel fundamental na geração de empregos e no crescimento econômico (Bahrin *et al.*, 2016). No entanto, as empresas do setor enfrentam desafios crescentes, incluindo maior complexidade dos produtos, redução do ciclo de vida, exigência de personalização, velocidade de lançamento no mercado e intensificação da concorrência internacional (Simões *et al.*, 2020). Para manter a competitividade diante desse cenário, torna-se necessário desenvolver estratégias capazes de promover maior flexibilidade organizacional e dinamismo tecnológico (Ahmetoglu *et al.*, 2023).

Entre as estratégias adotadas, destaca-se o investimento em tecnologias emergentes associadas à Indústria 4.0, como Internet das Coisas (IoT) e Inteligência Artificial (IA). Embora tais tecnologias apresentem elevado potencial para melhorar a produtividade e a conectividade dos processos industriais (Thames & Schaefer, 2016), sua adoção ainda é limitada por diversas barreiras (Stornelli *et al.*, 2021).

A literatura identifica, entre os principais obstáculos: escassez de mão de obra qualificada; investimentos iniciais elevados e incertezas quanto ao retorno financeiro; resistência organizacional à mudança (Cugno *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020); falta de infraestrutura adequada; ausência de parceiros tecnológicos e vínculos com universidades (Cugno *et al.*, 2021; Gonzalez *et al.*, 2021); bem como baixo nível de maturidade digital e ausência de estratégias claras de transformação tecnológica (Khan *et al.*, 2022; Raj *et al.*, 2020).

Essas barreiras também afetam as empresas fornecedoras de tecnologias industriais avançadas, que encontram dificuldades para demonstrar o valor e a aplicabilidade das soluções ofertadas. Para mitigar esses entraves e acelerar a disseminação tecnológica, tais empresas têm desenvolvido iniciativas estruturadas com fins comerciais e demonstrativos, entre as quais se destacam os Centros Tecnológicos (CTs). Esses centros constituem ambientes físicos destinados à realização de provas de conceito, demonstrações práticas e validações de soluções,

assumindo papel decisivo no processo de persuasão dos potenciais adotantes, ao facilitar a experimentação e a compreensão das tecnologias.

No campo teórico, diversas abordagens buscam explicar a aceitação de novas tecnologias por indivíduos e organizações (Venkatesh *et al.*, 2003). A Teoria da Difusão da Inovação (*Diffusion of Innovations Theory* – DoI), proposta por Rogers (2003), é uma das mais influentes nesse domínio, ao postular que a adoção depende da percepção dos usuários acerca das características da inovação (Lu, 2021). Na fase de persuasão, a DoI identifica cinco atributos que influenciam diretamente a decisão de adoção: vantagem relativa, complexidade, compatibilidade, experimentação e observabilidade (Lu, 2021). Esses atributos podem ser explorados estrategicamente nos CTs, uma vez que o modelo privilegia a percepção das características tecnológicas como fator central para a adoção (Ahmetoglu *et al.*, 2023).

Diante desse contexto, o presente estudo busca responder como os atributos da persuasão, da teoria da Difusão da Inovação, se relacionam com a demonstração de tecnologias industriais avançadas em Centros Tecnológicos? E tem objetivo de analisar como os atributos relacionados à fase de persuasão da Teoria da Difusão da Inovação são empregados nas demonstrações de tecnologias industriais avançadas em Centros Tecnológicos. Este objetivo visa compreender por que o planejamento desses atributos influencia a percepção, aceitação e decisão de adoção pelos usuários. Adota-se uma abordagem qualitativa, de natureza exploratória e descritiva, baseada em estudos de casos múltiplos realizados em sete Centros Tecnológicos pertencentes a uma empresa japonesa fornecedora de soluções da Indústria 4.0, localizados em diferentes cidades dos Estados Unidos. A coleta de dados ocorreu entre novembro de 2024 e janeiro de 2025, por meio de observações e entrevistas em profundidade com gestores, engenheiros e profissionais envolvidos no planejamento e operação dos centros.

O estudo está estruturado em seis seções: inicialmente, apresenta-se a fundamentação teórica sobre a Teoria da Difusão da Inovação e seus atributos; na sequência, descrevem-se os estudos de caso e, posteriormente, são discutidos os resultados obtidos; por fim, apresentam-se as considerações finais e as contribuições do estudo para a academia e para a indústria.

4.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta os principais conceitos relacionados ao processo de aceitação de novas tecnologias (Ajzen & Fishbein, 1975; Davis, 1989; Moore & Benbasat, 1996; Rogers, 2003; Venkatesh *et al.*, 2003), destacando os modelos e teorias predominantes na literatura.

Enfatiza-se, de maneira particular, a Teoria da Difusão da Inovação, com foco na fase de persuasão no processo de decisão de adoção e em suas aplicações analíticas.

4.2.1. Modelos de Aceitação de Tecnologias

A aceitação de novas tecnologias tem sido amplamente investigada ao longo das últimas décadas, em diferentes contextos, tais como sistemas de informação (Venkatesh *et al.*, 2003; Davis, 1989; Ajzen & Fishbein, 1975), sistemas móveis de comunicação (Scornavacca, 2010) e, mais recentemente, tecnologias associadas à Indústria 4.0 (Jain *et al.*, 2023; Molino *et al.*, 2020). Para compreender como usuários (tanto indivíduos quanto organizações) decidem utilizar determinada tecnologia, diversos modelos teóricos foram desenvolvidos ao longo do tempo (Jain *et al.*, 2023; Scornavacca, 2010).

Esses modelos partem do pressuposto de que variáveis independentes influenciam a intenção comportamental relacionada ao uso ou à adoção de tecnologia, sendo essa intenção a variável dependente comum às diferentes abordagens (Alturas, 2019; Jain *et al.*, 2023). A literatura sobre aceitação em tecnologia da informação resultou em modelos complementares e evolutivos, com distintos conjuntos de determinantes (Venkatesh *et al.*, 2003).

Entre os modelos mais influentes no domínio empresarial, destacam-se (Jain *et al.*, 2023; Alturas, 2019; Scornavacca, 2010):

- *Theory of Reasoned Action* (TRA)
- *Technology Acceptance Model* (TAM)
- *Theory of Planned Behaviour* (TPB)
- *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* (UTAUT)
- *Diffusion of Innovation* (DoI)

4.2.1.1. *Theory of Reasoned Action*

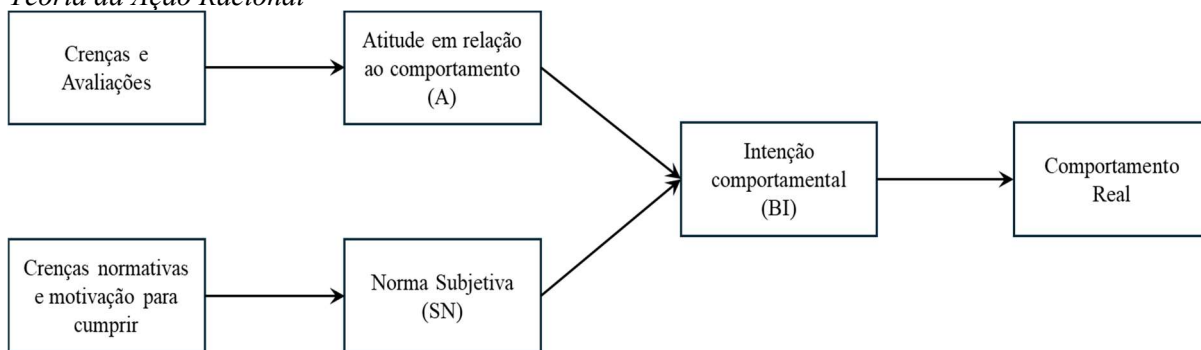
A Teoria da Ação Racionada (*Theory of Reasoned Action* – TRA), proposta por Ajzen e Fishbein (1975), é um dos modelos mais consolidados para a previsão e explicação do comportamento humano em variados domínios de pesquisa (Davis *et al.*, 1989). Originada na psicologia social, essa teoria busca elucidar a relação entre atitude e comportamento,

constituindo base conceitual fundamental nos estudos sobre intenção comportamental (Venkatesh *et al.*, 2003).

Segundo a Teoria da Ação Racionada, o comportamento é determinado pela intenção comportamental, que resulta da atitude em relação ao comportamento, entendida como a avaliação positiva ou negativa atribuída à ação, e da norma subjetiva, correspondente à percepção das expectativas de pessoas ou grupos de referência, associada à motivação para atendê-las (Jain *et al.*, 2023). Assim, quanto mais um indivíduo valoriza determinado comportamento e acredita que este é socialmente esperado, maior é a probabilidade de adotá-lo (Jain *et al.*, 2023). Os construtos centrais, atitude e norma subjetiva, são representados na Figura 10 (Davis *et al.*, 1989).

Figura 10

Teoria da Ação Racional



Nota. Davis *et al.* (1989, p. 984).

As crenças refletem a probabilidade subjetiva de que a ação resulte em determinada consequência, enquanto a avaliação corresponde à resposta valorativa atribuída a essa consequência (Davis *et al.*, 1989).

4.2.1.2. *Technology Acceptance Model*

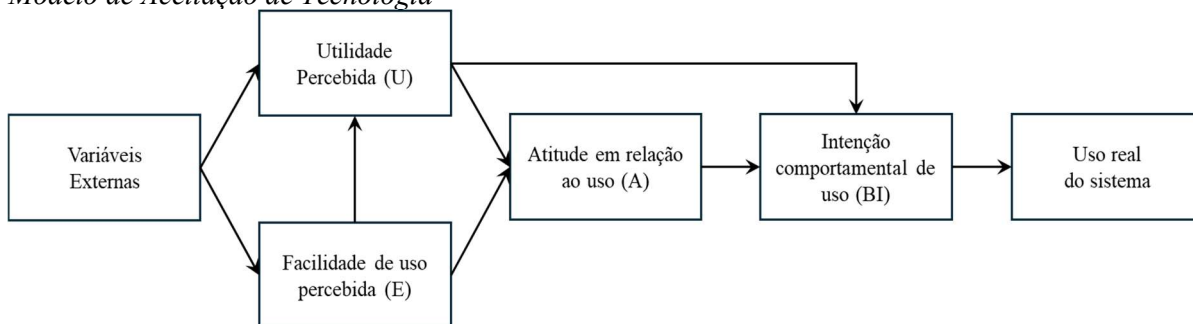
O Modelo de Aceitação de Tecnologia (*Technology Acceptance Model* – TAM) foi desenvolvido especificamente para o contexto de sistemas de informação, com o propósito de prever a aceitação e o uso de tecnologias em ambientes organizacionais (Venkatesh *et al.*, 2003). Davis (1989) propôs e validou escalas para dois construtos centrais do modelo, utilidade percebida e facilidade de uso percebida, considerados determinantes fundamentais da aceitação pelo usuário. Diferentemente da *Theory of Reasoned Action* (TRA), o TAM exclui o construto de atitude em sua formulação final, tornando o modelo mais parcimonioso na explicação da

intenção de uso. Desde então, o TAM tem sido amplamente aplicado a diferentes tecnologias, contextos organizacionais e perfis de usuários (Venkatesh *et al.*, 2003), conforme ilustrado na Figura 11.

O Modelo de Aceitação de Tecnologia postula que a intenção de uso é influenciada por dois construtos principais: a utilidade percebida, definida como o grau em que uma pessoa acredita que utilizar um sistema específico melhorará seu desempenho no trabalho, e a facilidade de uso percebida, entendida como o grau em que acredita que o uso do sistema será livre de esforço (Davis, 1989, p. 985):.

Figura 11

Modelo de Aceitação de Tecnologia



Nota. Davis *et al.* (1989, p.985).

Estudos posteriores demonstraram que a utilidade percebida apresenta maior correlação com o uso efetivo da tecnologia do que a facilidade de uso percebida. Além disso, a facilidade de uso percebida pode atuar como antecedente causal da utilidade percebida, e não apenas como determinante direto do uso (Davis, 1989). Entre as extensões do modelo, destaca-se o TAM2, que incorpora a norma subjetiva como preditor da intenção em contextos caracterizados por uso obrigatório (Venkatesh *et al.*, 2003).

4.2.1.3. *Theory of Planned Behavior*

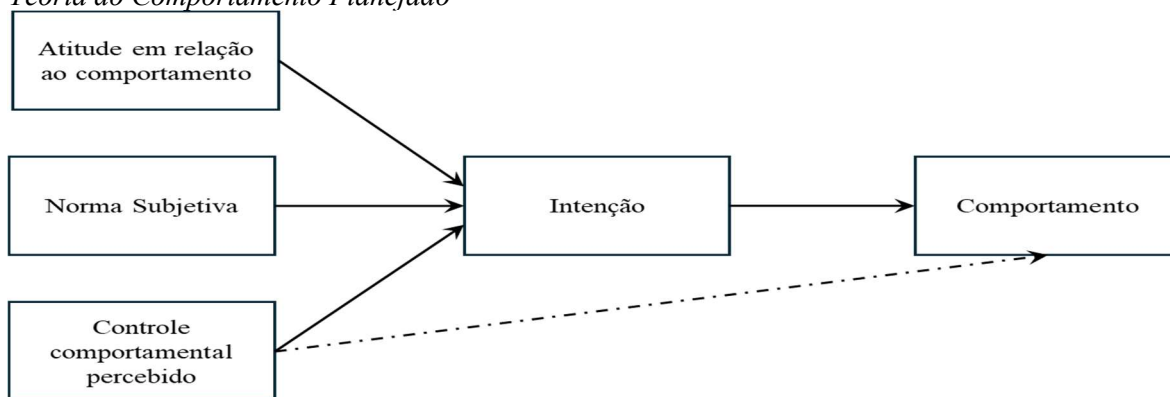
A Teoria do Comportamento Planejado (*Theory of Planned Behavior* – TPB) representa uma extensão da TRA, incorporando o construto de controle comportamental percebido como determinante adicional da intenção e do comportamento (Venkatesh *et al.*, 2003). A TPB consolidou-se como um arcabouço teórico central para explicar, prever e intervir em comportamentos sociais (Ajzen, 2012). Segundo a Teoria do Comportamento Planejado, a intenção é o antecedente imediato do comportamento e deriva de três fatores: a atitude em

relação ao comportamento, a norma subjetiva e o controle comportamental percebido (Ajzen, 2012).

Esses fatores são influenciados por três conjuntos de crenças: crenças comportamentais, relacionadas às consequências percebidas; crenças normativas, associadas às expectativas de grupos de referência; e crenças de controle, ligadas à presença de fatores que podem facilitar ou restringir a execução do comportamento (Bosnjak *et al.*, 2020).

Figura 12

Teoria do Comportamento Planejado



Nota. Ajzen (1991, p.182)

No contexto de sistemas de informação, o controle comportamental percebido se refere à percepção sobre restrições internas e externas que impactam o uso da tecnologia (Venkatesh *et al.*, 2003). Evidências empíricas demonstram a capacidade da TPB em prever intenções e comportamentos e indicam que intervenções direcionadas às crenças subjacentes podem modificar a intenção e, subsequentemente, o comportamento (Ajzen, 2012).

A Teoria Decomposta do Comportamento Planejado (*Decomposed Theory of Planned Behaviour* – DTPB) mantém a estrutura geral da TPB, porém decompõe atitude, norma subjetiva e controle comportamental percebido em suas crenças formativas, aproximando-se conceitualmente do TAM no contexto de adoção tecnológica (Venkatesh *et al.*, 2003).

4.2.1.4. *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology*

A Teoria Unificada de Aceitação e Uso da Tecnologia (*Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* – UTAUT) foi desenvolvida por Venkatesh *et al.* (2003) a partir da unificação de elementos conceituais e empíricos presentes em oito modelos de aceitação de tecnologia. Essa integração visou consolidar um arcabouço teórico capaz de explicar, de forma

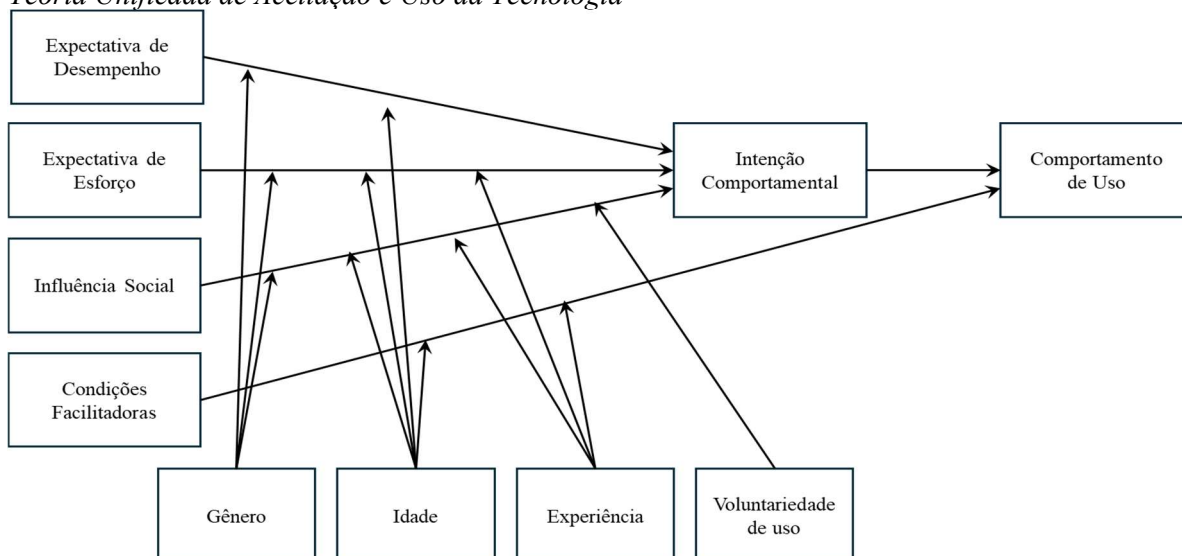
mais abrangente e consistente, os fatores que influenciam a intenção e o uso de tecnologias em contextos organizacionais. Conforme argumenta Scornavacca (2010), o UTAUT fornece uma base robusta para a compreensão da aceitação pelo usuário no domínio dos sistemas de informação.

O processo de formulação da UTAUT envolveu quatro etapas principais: revisão da literatura sobre aceitação de tecnologia e identificação de oito modelos proeminentes, comparação empírica desses modelos e suas extensões, construção de um modelo unificado que integrasse seus elementos centrais e validação empírica do modelo proposto (Venkatesh *et al.*, 2003)

A revisão resultou na identificação de oito modelos concorrentes de aceitação de tecnologia. Além da Teoria da Ação Racional (TRA), do Modelo de Aceitação de Tecnologia (TAM), da Teoria do Comportamento Planejado (TPB) e da Teoria da Difusão de Inovações (DoI), foram incluídos: o Modelo Motivacional, o TAM-TPB combinado, o Modelo de Utilização de Computadores Pessoais e a Teoria Cognitiva Social (Scornavacca, 2010; Venkatesh *et al.*, 2003).

Para comparar empiricamente esses modelos, Venkatesh et al. (2003) realizaram um estudo longitudinal com dados coletados em quatro organizações, o que permitiu avaliar o poder explicativo relativo de cada modelo. Dos sete construtos identificados como determinantes diretos da intenção ou do uso em um ou mais modelos, apenas quatro mostraram influência significativa na aceitação e no comportamento de uso da tecnologia: expectativa de desempenho, expectativa de esforço, influência social e condições facilitadoras.

Além desses determinantes, quatro variáveis moderadoras foram incorporadas ao modelo, ajustando os efeitos dos construtos principais sobre a intenção e o uso: experiência, voluntariedade, gênero e idade, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13*Teoria Unificada de Aceitação e Uso da Tecnologia*

Nota. Venkatesh *et al.* (2003, p.447).

No estudo de Venkatesh *et al.* (2003), a comparação entre os modelos indicou que o UTAUT apresenta maior capacidade explicativa na previsão da aceitação e do uso de tecnologia do que os modelos individuais. Uma síntese dos quatro construtos determinantes foi organizada na Tabela 19, conforme apresentado em Scornavacca (2010).

Tabela 19*Constructos da Teoria Unificada de Aceitação e Uso da Tecnologia*

Constructo	Definição	Origem
Expectativa de Desempenho	O grau em que um indivíduo acredita que usar o sistema ajudará a alcançar ganhos no desempenho no trabalho.	- Utilidade Percebida - Vantagem Relativa - Expectativas de Resultados
Expectativa de Esforço	O grau de facilidade associado ao uso do sistema.	- Facilidade de Uso Percebida - Facilidade de Uso
Influência Social	O grau em que um indivíduo percebe que pessoas importantes acreditam que ele ou ela deve usar o novo sistema.	- Norma Subjetiva - Fatores Sociais
Condições Facilitadoras	O grau em que um indivíduo acredita que existe uma infraestrutura organizacional e técnica para apoiar o uso do sistema.	- Controle Comportamental Percebido - Condições Facilitadoras
Intenção Comportamental	Uma medida da força da intenção de uma pessoa em realizar um comportamento específico.	- Intenção Comportamental

Nota. Adaptado de Scornavacca (2010, p.77).

A expectativa de desempenho apresentou efeito positivo sobre a intenção comportamental, sendo esse efeito mais intenso entre homens e trabalhadores mais jovens. Já a expectativa de esforço também influenciou a intenção comportamental, com maior impacto entre mulheres, indivíduos mais velhos e usuários com menor experiência no uso da tecnologia. A influência social configurou-se como determinante relevante da intenção comportamental, especialmente em contextos de uso obrigatório e entre mulheres, trabalhadores mais velhos e usuários com pouca experiência (Scornavacca, 2010; Venkatesh *et al.*, 2003).

As condições facilitadoras não exerceram influência significativa sobre a intenção comportamental, mas afetaram diretamente o uso efetivo da tecnologia, sobretudo entre trabalhadores mais experientes e mais velhos. Além disso, verificou-se que a autoeficácia no uso do computador e a atitude em relação ao uso da tecnologia não apresentaram impacto significativo na intenção comportamental, uma vez que seus efeitos já se encontravam incorporados à expectativa de esforço. Por fim, constatou-se que a intenção comportamental influencia diretamente o uso da tecnologia (Scornavacca, 2010; Venkatesh *et al.*, 2003).

4.2.1.5. *Diffusion of Innovations Theory*

A Teoria da Difusão da Inovação (*Diffusion of Innovations Theory* – DoI) foi desenvolvida por Everett M. Rogers, no campo da sociologia, em 1962, e desde então tem sido amplamente utilizada como referencial para compreender a adoção e disseminação de tecnologias (Venkatesh *et al.*, 2003). A teoria constitui uma estrutura analítica relevante para explicar por que determinadas inovações são adotadas enquanto outras não, sendo frequentemente aplicada como modelo de suporte à gestão da inovação tecnológica (MacVaugh & Schiavone, 2010).

A difusão da inovação é definida como o processo pelo qual indivíduos ou grupos passam a adotar uma nova ideia, produto ou prática (Rogers, 2003). Segundo o modelo, a adoção inicial é realizada por um grupo reduzido de usuários que, ao compartilhar suas experiências, contribuem para ampliar a aceitação da inovação até atingir um nível de massa crítica, levando à difusão e, posteriormente, à saturação do uso. Rogers (2003) também propôs cinco categorias de adotantes, inovadores, adotantes iniciais, maioria inicial, maioria tardia e retardatários, amplamente utilizadas em pesquisas de marketing para entender o comportamento do consumidor e orientar estratégias de introdução de tecnologias no mercado (Gonera *et al.*, 2021; Makkonen & Johnston, 2014; Wonglimpiyarat & Yuberk, 2005).

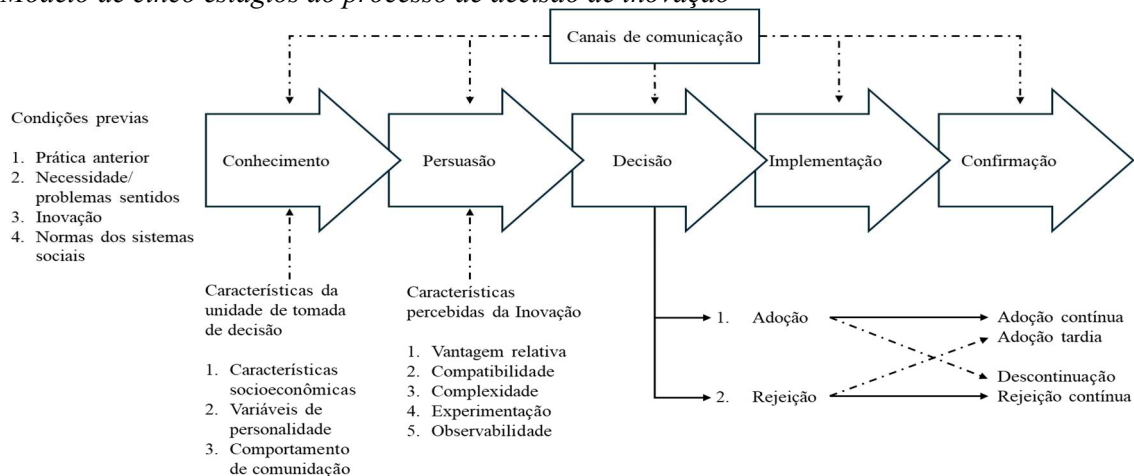
O processo de difusão envolve tomada de decisão sob condições de incerteza, uma vez que a adoção de uma inovação representa a escolha por uma alternativa nova em relação às práticas já consolidadas. Nesse sentido, a novidade percebida e o grau de incerteza associado são elementos centrais (Rogers, 2003). De acordo com o autor, o processo de decisão de inovação consiste em cinco estágios sequenciais, apresentados na Figura 14, nos quais o indivíduo passa do primeiro contato com a inovação à confirmação da adoção ou rejeição definitiva:

“O processo pelo qual um indivíduo (ou outra unidade de tomada de decisão) passa desde o conhecimento inicial da inovação, a formação de uma atitude em relação a ela, a decisão de adotar ou rejeitar, a implementação da nova ideia e a confirmação dessa decisão” (Rogers, 2003, p. 168).

O processo de decisão de inovação compreende cinco estágios sequenciais (Rogers, 2003): (i) conhecimento, quando o indivíduo (ou outra unidade decisória) toma contato com a inovação e compreende seu funcionamento; (ii) persuasão, momento em que forma uma atitude favorável ou desfavorável em relação à inovação; (iii) decisão, etapa em que se engaja em atividades que conduzem à adoção ou rejeição; (iv) implementação, quando a nova ideia é efetivamente colocada em prática; e (v) confirmação, fase na qual busca reforço para a decisão tomada, podendo, contudo, revertê-la caso seja exposto a mensagens ou evidências conflitantes (Rogers, 2003).

Figura 14

Modelo de cinco estágios do processo de decisão de inovação



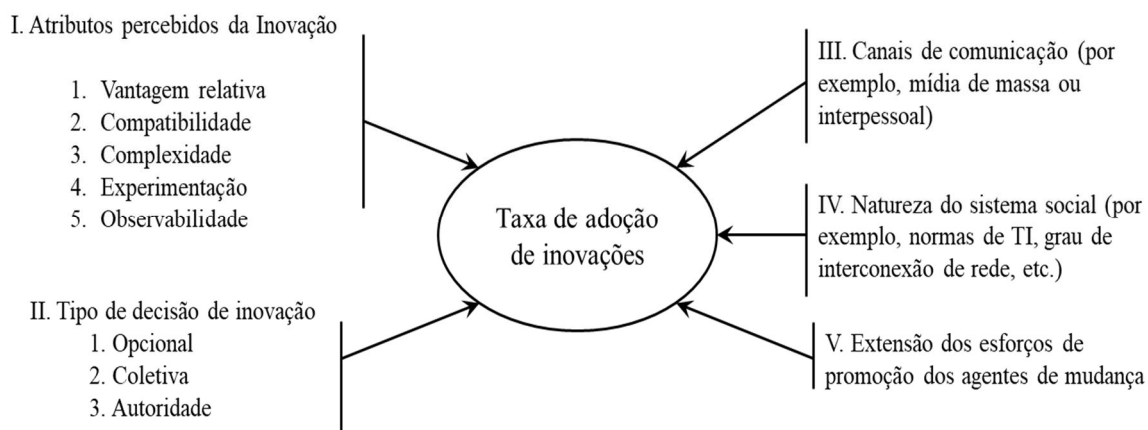
Nota. Rogers (2003, p. 170).

Rogers (2003) também propõe um indicador para mensurar a velocidade de adoção de uma inovação, a “taxa de adoção”, definida como “a velocidade relativa com que uma inovação é adotada por membros de um sistema social” (p. 221). Em geral, essa taxa é operacionalizada como o número de adotantes em um período determinado. O autor observa que decisões individuais tendem a acelerar a adoção, ao passo que decisões organizacionais, por envolverem múltiplos atores e instâncias de aprovação, tendem a reduzi-la. Em consequência, diminuir o número de agentes diretamente envolvidos no processo decisório pode acelerar a difusão (Rogers, 2003).

A taxa de adoção é influenciada por cinco atributos percebidos da inovação, vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, experimentação e observabilidade, e por variáveis contextuais que modulam a difusão (Rogers, 2003). Entre essas variáveis destacam-se: (1) tipo de decisão de inovação (individual, coletiva ou autoritária); (2) canais de comunicação utilizados ao longo dos estágios do processo decisório; (3) características do sistema social no qual a inovação se difunde; e (4) esforços de promoção empreendidos por agentes de mudança. A Figura 15 sintetiza o modelo de cinco estágios e seus determinantes.

Figura 15

Modelo de cinco estágios do processo de decisão de inovação



Nota. Rogers (2003, p. 222).

O arcabouço de Difusão de Inovações (DoI) foi ampliado e operacionalizado para o contexto de tecnologias da informação por Moore e Benbasat (1991), que desenvolveram e testaram um conjunto de escalas psicométricas voltadas a decisões de uso em nível individual (Moore & Benbasat, 1996; Rogers, 2003; Scornavacca, 2010). Além de consolidarem itens para os cinco atributos propostos por Rogers, os autores introduziram três construtos adicionais: (1) voluntariedade, grau em que o uso é percebido como opcional pelo usuário; (2) imagem, medida

em que o uso da tecnologia eleva o status do indivíduo na organização; e (3) demonstrabilidade do resultado, facilidade com que os benefícios e resultados do uso podem ser comunicados e compreendidos por outros, construto conceitualmente próximo à observabilidade (Rogers, 2003).

4.2.2. Persuasão no processo de decisão de inovação

No modelo do processo de decisão de inovação, o estágio de persuasão sucede a fase de conhecimento, na qual o indivíduo toma contato inicial com a inovação e obtém informações preliminares sobre seu funcionamento. É na etapa de persuasão que o indivíduo passa a avaliar os benefícios e as desvantagens associados à inovação, formando uma atitude favorável ou desfavorável em relação a ela (Rogers, 2003). O presente estudo concentra-se especificamente nessa etapa e nos cinco atributos percebidos da inovação propostos por Rogers.

Nessa fase, constrói-se uma atitude, entendida como uma predisposição aprendida para responder de modo consistentemente positivo ou negativo a determinado objeto, ideia ou tecnologia. O processamento cognitivo predominante é afetivo, isto é, relacionado a sentimentos e percepções subjetivas (Rogers, 2003). Embora envolva formação e mudança de atitudes, a persuasão não garante que a direção dessa mudança será aquela pretendida por um agente de mudança (Rogers, 2003).

De acordo com Padyab *et al.* (2020), na etapa de persuasão é importante comunicar de forma clara os benefícios potenciais da inovação, de modo a permitir que os usuários avaliem sua relação custo-eficácia. Nesse momento, o indivíduo torna-se psicologicamente mais engajado com a inovação, passando a buscar ativamente informações, avaliar a credibilidade das mensagens recebidas e interpretar essas informações de acordo com seus referenciais prévios (Rogers, 2003). Assim, a persuasão ocorre quando o potencial usuário desenvolve uma atitude inicial em relação à inovação e se mostra receptivo à possibilidade de considerá-la valiosa (Padyab *et al.*, 2020).

A percepção seletiva desempenha papel fundamental nessa etapa, pois é nesse momento que se consolida uma avaliação global da inovação. Nesse sentido, os atributos percebidos, como vantagem relativa, compatibilidade e complexidade, exercem influência decisiva sobre a disposição do indivíduo em prosseguir para as etapas subsequentes do processo de adoção (Rogers, 2003). Nas palavras de Rogers:

“Todas as inovações carregam algum grau de incerteza para um indivíduo, que normalmente não tem certeza do funcionamento da nova ideia e, portanto, busca reforço social de outros sobre sua atitude em relação à inovação. O indivíduo quer saber se seu pensamento está no caminho certo na opinião de seus pares. As mensagens da mídia de massa são muito gerais para fornecer o tipo específico de reforço que o indivíduo precisa para confirmar suas crenças iniciais sobre a inovação.” (Rogers, 2003, p.175)

Nos estágios de persuasão e decisão do processo de difusão da inovação, o indivíduo busca informações que permitam reduzir a incerteza acerca das consequências associadas à adoção da nova tecnologia. Nesse momento, procura-se compreender de que forma as vantagens e desvantagens da inovação se relacionam com a situação específica do potencial adotante (Rogers, 2003). O principal resultado da etapa de persuasão é, portanto, a formação de uma atitude favorável ou desfavorável em relação à inovação (Rogers, 2003).

Para que tal atitude se traduza em uma decisão favorável de adoção, é necessário que o usuário perceba valor, benefícios claros e retorno esperado sobre o investimento (Padyab *et al.*, 2020). Contudo, Rogers (2003) destaca que a formação de uma atitude positiva não garante necessariamente a adesão, uma vez que fatores contextuais, organizacionais e cognitivos podem interferir na decisão final. Assim, a etapa de persuasão representa um momento crítico de avaliação, no qual o indivíduo se torna mais envolvido com a inovação, interpreta informações recebidas e desenvolve uma percepção integrada de seu valor.

Nesse contexto, cinco atributos percebidos da inovação influenciam diretamente a probabilidade de adoção da inovação (Rogers, 2003). As subseções a seguir analisam tais atributos, articulando suas definições conceituais e manifestações empíricas em estudos relacionados à adoção de tecnologias industriais avançadas.

4.2.2.1. Vantagem Relativa

A vantagem relativa refere-se ao “grau em que uma inovação é percebida como sendo melhor do que sua precursora” (Moore & Benbasat, 1991, p. 195). Essa vantagem pode manifestar-se em termos de lucratividade econômica, prestígio social (Rogers, 2003), custo-benefício (Simões *et al.*, 2020) ou benefícios percebidos (Ahmetoglu *et al.*, 2023). A importância atribuída a cada dimensão depende tanto das características da inovação quanto do perfil dos adotantes (Rogers, 2003).

Em estudos sobre a adoção de tecnologias industriais avançadas, a vantagem relativa aparece como aspecto central. Simões *et al.* (2020), ao investigarem robôs colaborativos, identificaram que empresas avaliam cuidadosamente o custo-benefício, comparando-os a robôs industriais tradicionais. Entretanto, os autores observam que determinados benefícios, sobretudo aqueles relacionados à ergonomia e segurança do trabalho, são de difícil mensuração em termos monetários, o que pode dificultar a avaliação objetiva da vantagem relativa.

4.2.2.2. Compatibilidade

A compatibilidade diz respeito ao “grau em que uma inovação é percebida como consistente com valores, necessidades e experiências anteriores dos potenciais adotantes” (Moore & Benbasat, 1991, p. 195). Uma inovação percebida como mais compatível tende a ser considerada menos incerta e, portanto, mais facilmente assimilável (Rogers, 2003). A compatibilidade pode estar relacionada: (1) a valores socioculturais, (2) a práticas previamente estabelecidas ou (3) às necessidades específicas da organização (Rogers, 2003).

Em contextos de adoção de tecnologias industriais avançadas, a compatibilidade revela-se decisiva. Ahmetoglu *et al.* (2023) demonstram que a integração de Internet das Coisas (IoT) à manufatura, embora percebida como vantajosa, frequentemente exige esforços adicionais de infraestrutura, adequação de sistemas e mudanças culturais, o que pode reduzir a percepção de valor inicial e retardar a decisão de adoção.

4.2.2.3. Complexidade

A complexidade é definida como “o grau em que uma inovação é percebida como difícil de usar” (Moore & Benbasat, 1991, p. 195). Inovações podem ser situadas em um contínuo que vai da simplicidade à complexidade, variando conforme o grau de clareza com que são compreendidas pelos potenciais adotantes. Quanto maior a percepção de dificuldade operacional, maior a tendência de redução da taxa de adoção (Rogers, 2003). Escalas utilizadas para mensuração da complexidade frequentemente avaliam a simplicidade percebida, expressa, por exemplo, em afirmações como: “aprender a usar uma estação de trabalho pessoal é fácil para mim” (Moore & Benbasat, 1991). Embora a complexidade nem sempre seja o fator preponderante no processo decisório, em determinadas inovações ela se apresenta como barreira central à adoção (Rogers, 2003).

No contexto da Indústria 4.0, tecnologias percebidas como de baixa complexidade, como robôs colaborativos, tendem a gerar maior aceitação, conforme observado por Simões *et al.* (2020). Já tecnologias cuja implementação envolve integração sistêmica complexa, como Internet das Coisas (IoT), podem gerar resistência, especialmente quando associadas à falta de padronização, protocolos técnicos pouco consolidados e heterogeneidade de dispositivos conectados (Ahmetoglu *et al.*, 2023; Padyab *et al.*, 2020). Nessas situações, a percepção de complexidade se torna um obstáculo direto à adoção, sobretudo durante a fase de implementação, quando o usuário final interage efetivamente com a tecnologia.

4.2.2.4. Observabilidade

A observabilidade corresponde ao “grau em que os resultados de uma inovação são visíveis para outros” (Moore & Benbasat, 1991, p. 195). Inovações cujos benefícios podem ser facilmente observados, demonstrados e comunicados tendem a apresentar taxas de adoção mais elevadas (Rogers, 2003). A observabilidade pode ser mensurada por itens como: “na minha organização, vemos estações de trabalho pessoal em muitas mesas” (Rogers, 2003, p. 225).

No campo da Indústria 4.0, relatos e demonstrações práticas desempenham papel decisivo para tornar tangíveis os resultados de uma tecnologia. Simões *et al.* (2020) destacam que experiências de implementação bem-sucedidas compartilhadas entre empresas contribuem positivamente para a decisão de adoção. De modo complementar, Tortorella *et al.* (2021) enfatizam que abordagens personalizadas de implantação reforçam a observabilidade ao evidenciar ganhos concretos, elevando a confiança dos potenciais adotantes e acelerando a difusão tecnológica.

4.2.2.5. Experimentação

A experimentação refere-se ao “grau em que uma inovação pode ser testada antes da adoção” (Moore & Benbasat, 1991, p. 195). Inovações que permitem experimentação direta tendem a reduzir incertezas e a facilitar o processo de tomada de decisão, especialmente ao permitir que o potencial adotante observe como a tecnologia se comporta em suas próprias condições operacionais (Rogers, 2003). A experimentação pessoal desempenha, portanto, papel central na construção de sentido sobre a inovação e na consolidação de confiança em seu uso.

Quando a inovação é projetada para permitir testes, prototipagens ou pilotos, sua taxa de adoção tende a aumentar significativamente (Rogers, 2003). Tortorella *et al.* (2021) evidenciam que a adoção incremental, baseada em ciclos progressivos de experimentação, contribui para reduzir resistência e facilitar aprendizagem organizacional. Simões *et al.* (2020) observam que empresas de manufatura acessam centros tecnológicos para realizar testes piloto e avaliações práticas de robôs colaborativos, o que permite vivenciar benefícios, adaptar processos e reduzir incertezas antes da adoção definitiva.

4.2.3. Teoria da Difusão da Inovação aplicada em tecnologias industriais avançadas

Nos últimos cinco anos, observa-se um crescimento significativo de estudos que articulam a Teoria da Difusão da Inovação (Rogers, 2003) com a adoção de tecnologias associadas à Indústria 4.0. Tais estudos concentram-se, sobretudo, nos cinco atributos percebidos da inovação, e em como esses atributos influenciam o processo decisório de adoção tecnológica no setor industrial.

Para compreender essa articulação, foi conduzida uma revisão de literatura na base Scopus, utilizando a seguinte estratégia de busca: *("diffusion of innovations" OR "persuasion stage" OR "relative advantage" OR trialability) AND ("industry 4.0" OR iot OR iiot OR robot OR amr)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Spanish") OR LIMIT-TO (LANGUAGE, "Portuguese")) AND (LIMIT-TO (PUBSTAGE, "final"))*.

A busca resultou em 171 artigos. Após leitura de títulos e resumos, foram excluídos estudos relativos a setores fora do escopo industrial (como saúde, *smart homes* e construção civil), restando 24 artigos, dos quais 14 estavam disponíveis integralmente. Em uma análise mais aprofundada, oito estudos apresentaram alinhamento direto com o objetivo desta revisão, sendo quatro qualitativos e quatro quantitativos.

Optou-se por atribuir maior peso às pesquisas qualitativas (Ahmetoglu *et al.*, 2023; Simões *et al.*, 2020; Padyab *et al.*, 2020; Tortorella *et al.*, 2021), uma vez que permitem interpretar de forma mais profunda as percepções, significados e racionalidades que orientam a decisão de adoção ou rejeição tecnológica.

No estudo de Padyab *et al.* (2020), que investigou barreiras à adoção de tecnologias IoT em contextos como cidades inteligentes, agricultura e *wearables*, observou-se que os atributos perceptivos da inovação interagem entre si e influenciam diferentes estágios da adoção. Os

autores argumentam que a organização precisa, inicialmente, ser persuadida sobre a complexidade e a possibilidade de experimentação da inovação para, posteriormente, decidir pela sua implementação. Assim, a comunicação clara do valor e da utilidade da tecnologia, incluindo retornos econômicos e situacionais, torna-se essencial.

Simões *et al.* (2020) analisaram fatores que influenciam a intenção de adoção de robôs colaborativos (*cobots*) em seis empresas multinacionais dos setores automotivo, embalagens e segurança. A vantagem relativa, expressa sobretudo na relação custo-benefício, emergiu como um dos principais determinantes da intenção de adoção. Características como portabilidade, flexibilidade operacional e menor necessidade de infraestrutura física reforçaram atributos de experimentação e observabilidade, contribuindo para reduzir incertezas.

Tortorella *et al.* (2021), por sua vez, examinaram a integração de tecnologias industriais avançadas com práticas de manutenção produtiva total (TPM). Os resultados indicaram que benefícios e barreiras percebidos durante essa integração se alinham diretamente aos cinco atributos de Rogers (2003), condicionando o ritmo e o sucesso da adoção tecnológica.

Entre os estudos quantitativos, Shao *et al.* (2024) identificaram que vantagem relativa, experimentação e observabilidade exercem efeito positivo significativo na adoção da IoT em pequenas e médias empresas chinesas, enquanto compatibilidade e complexidade atuam como barreiras. A vantagem relativa foi o motivador mais robusto, ao passo que a compatibilidade se apresentou como o maior obstáculo.

Handoko *et al.* (2023) examinaram a adoção do metaverso por auditores e concluíram que compatibilidade, observabilidade e experimentação impactam positivamente a intenção de uso, enquanto vantagem relativa e complexidade não apresentaram efeitos significativos. O estudo reforça a importância das demonstrações práticas e da influência de pares nas decisões de aceitação tecnológica.

No trabalho de Lu (2021), utilidade percebida, facilidade de uso percebida, compatibilidade e visibilidade afetaram positivamente a intenção de uso da IoT, enquanto demonstrabilidade e experimentação não apresentaram efeitos significativos. Já Ali *et al.* (2022), ao analisarem adoção de tecnologia *fog computing*, observaram impacto positivo de vantagem relativa e compatibilidade, e ausência de efeito significativo da complexidade na decisão de adoção.

A Tabela 20, apresentada na sequência, sintetiza os principais achados dos estudos qualitativos e quantitativos revisados, destacando as relações entre os atributos percebidos da inovação e a adoção de tecnologias industriais avançadas.

Tabela 20

Adoção das tecnologias industriais avançadas em empresas de manufatura.

Tecnologias	Metodologia do estudo	VR	CP	CX	EX	OB	Autores
IoT	Qualitativo	P	N	P	P	X	Padyab <i>et al.</i> , (2020)
		P	P	P	--	--	Ahmetoglu <i>et al.</i> , (2023)
Cobot	Quantitativo	P	P	P	P	P	Simões <i>et al.</i> , (2020)
TIA		P	N	N	P	P	Tortorella <i>et al.</i> , (2021)
IoT		--	P	N	X	-	Lu, (2021)
		P	N	N	P	P	Shao <i>et al.</i> , (2024)
Metaverso		X	P	X	P	P	Handoko <i>et al.</i> , (2023)
Fog computing		P	P	--	--	--	Ali et al., (2022)

Legendas:

P – Há evidências de efeito positivo

N – Há evidências de efeito negativo

X – Não há evidências

-- - Não há citação

Nota. Os títulos dos atributos foram abreviados para melhor ajuste da tabela

VR – Vantagem Relativa

EX – Experimentação

CP – Compatibilidade

OB – Observabilidade

CX – Complexidade

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

4.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo adota uma abordagem qualitativa de natureza exploratória e descritiva, sustentada pelo método de estudos de caso, conforme orientam Creswell e Creswell (2021). O desenho metodológico foi organizado em cinco etapas sequenciais, ilustradas na Figura 16:

- (1) revisão da literatura sobre aceitação de novas tecnologias;
- (2) coleta de dados em campo em sete Centros Tecnológicos (CT);
- (3) sistematização e organização do material empírico;
- (4) análise dos processos de planejamento de *front-end* dos CT e das interações realizadas durante as demonstrações das tecnologias industriais avançadas (TIA); e
- (5) comparação e interpretação dos dados entre os diferentes casos.

Figura 16

Desenho de pesquisa do estudo 3



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

A utilização de múltiplos casos permitiu examinar, em maior profundidade, a dinâmica das demonstrações tecnológicas realizadas nos Centros Tecnológicos da Indústria 4.0, bem como os procedimentos empregados para persuadir potenciais adotantes. O objetivo central consistiu em analisar como os atributos da etapa de persuasão da Teoria da Difusão da Inovação (Rogers, 2003) são mobilizados nesses ambientes, e de que forma o planejamento dessas demonstrações pode influenciar percepções, aceitação e decisões de adoção tecnológica por parte dos visitantes.

Do ponto de vista epistemológico, o estudo está ancorado no paradigma interpretativista, que reconhece os fenômenos sociais como construções dotadas de significados simbólicos e situados em contextos socioculturais específicos (Walsham, 1995). Assim, a pesquisa considera a influência das experiências, expectativas e referenciais dos indivíduos na atribuição de sentido às interações observadas (Saunders *et al.*, 2019).

O método de estudo de caso é particularmente adequado para investigar fenômenos organizacionais complexos inseridos em seus contextos naturais (Benbasat *et al.*, 1987). Para Yin (2015), o estudo de caso configura-se como investigação empírica aprofundada de um fenômeno contemporâneo, especialmente quando as fronteiras entre fenômeno e contexto não são claramente delimitáveis. Em abordagens interpretativistas, esse tipo de estudo envolve a realização de visitas sucessivas ao campo, coleta de múltiplas fontes de evidência e interação direta com os sujeitos, a fim de captar interpretações, significados e práticas (Walsham, 1995), possibilitando descrições densas e contextualizadas (Godoi *et al.*, 2017).

Neste estudo, adotou-se o modelo de estudos de casos múltiplos, que, conforme Yin (2015), segue a mesma lógica do estudo de caso único, porém acrescenta procedimentos de replicação teórica entre diferentes casos. Esse formato fortalece a validade analítica dos resultados, na medida em que permite identificar padrões convergentes e divergentes entre os contextos analisados (Godoi *et al.*, 2017).

4.3.1. Forma da coleta de dados

A coleta de dados foi realizada em sete Centros Tecnológicos pertencentes a uma empresa multinacional de origem japonesa, fornecedora de soluções associadas à Indústria 4.0, localizados em diferentes cidades dos Estados Unidos. Esses centros, comercialmente denominados *Automation Centers* (ATC) ou *Proof of Concept Centers* (PoCC), são instalações

físicas destinadas à demonstração de tecnologias de automação industrial e à realização de provas de conceito. As unidades geralmente integram áreas de escritório, salas de treinamento, espaços de demonstração, laboratórios e, em alguns casos, linhas produtivas ou setores de desenvolvimento de produtos.

Para fins analíticos, ambos os tipos de unidades foram padronizados neste estudo sob o termo Centros Tecnológicos (CT). A Tabela 21 apresenta a identificação dos CT visitados, suas respectivas localizações e o período de permanência do pesquisador em cada unidade.

Tabela 21

Centros Tecnológicos estudados

Estudo de caso	Nome comercial	Cidade/Estado	Período da coleta de dados
Centro Tecnológico A (CT-A)	PoCC de Cincinnati	Cincinnati, OH	04 até 07/nov/24
Centro Tecnológico B (CT-B)	PoCC de Novi	Novi, MI	11 até 14/nov/24
Centro Tecnológico C (CT-C)	ATC de Chicago	Hoffman Estates, IL	18 até 22/nov/24
Centro Tecnológico D (CT-D)	PoCC de New England	Amherst, NH	25 até 27/nov/24
Centro Tecnológico E (CT-E)	ATC de Dallas	Dallas, TX	02 até 06/dez/24
Centro Tecnológico F (CT-F)	PoCC da Carolina do Sul	Greer, SC	06 até 09/jan/25
Centro Tecnológico G (CT-G)	PoCC de Pleasanton	Pleasanton, CA	13 até 17/jan/25

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

O pesquisador acompanhou a rotina dos Centros Tecnológicos (CT) por meio de visitas diárias, com duração variável entre três e cinco dias em cada unidade, dependendo da disponibilidade dos espaços e dos participantes. A coleta de dados ocorreu entre 1º de novembro de 2024 e 19 de janeiro de 2025. A realização do trabalho de campo foi viabilizada por uma bolsa concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no âmbito do Programa Institucional de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE), edital nº 6/2024.

As principais atividades de coleta realizadas nos CT incluíram:

- (1) Entrevistas em profundidade com colaboradores responsáveis pela condução de demonstrações técnicas e com gestores envolvidos no planejamento prévio dos CT;
- (2) Observações diretas do ambiente, com foco na descrição das tecnologias, na configuração dos espaços e nos elementos que compõem a experiência dos visitantes;
- (3) Observações não participativas de atendimentos realizados para clientes, quando autorizadas e conforme disponibilidade das agendas.

Foram coletadas diversas evidências empíricas, tais como registros fotográficos, documentos internos, vídeos, áudios e transcrições de entrevistas, complementadas por anotações em diário de campo, no qual foram registradas observações relevantes e *insights* provenientes de interações informais.

4.3.1.1. Entrevistas

As entrevistas foram conduzidas com apoio de um protocolo de pesquisa, que orientou a padronização da coleta de dados e contribuiu para a confiabilidade e rastreabilidade do estudo (Yin, 2015). O objetivo central das entrevistas foi compreender, na perspectiva da empresa provedora das tecnologias industriais avançadas, o processo de planejamento e implantação dos Centros Tecnológicos, o racional estratégico das demonstrações, os mecanismos utilizados para contornar barreiras de adoção tecnológica e as ferramentas disponíveis para engajamento de potenciais clientes.

Foram definidos dois perfis de entrevistados:

- Líderes dos Centros Tecnológicos: gestores envolvidos na fase de pré-projeto dos CT e responsáveis pela coordenação das equipes que executam demonstrações, validações e provas de conceito.
- Colaboradores técnicos (engenheiros/demonstradores): profissionais diretamente responsáveis pela condução das demonstrações e interação com clientes durante visitas e provas de conceito.

O roteiro de entrevistas foi estruturado de modo diferenciado para cada perfil. Para os líderes, as questões assumiram caráter amplo e estratégico, abordando os processos de planejamento de pré-projeto. As perguntas foram fundamentadas na literatura de *front-end planning*, que compreende as etapas formais de definição de escopo, objetivos e maturidade do projeto (Barshop, 2009; Construction Industry Institute, 2012b; Dionisi, 2023). O roteiro dirigido aos engenheiros teve como foco a dinâmica operacional das demonstrações e o comportamento dos visitantes, buscando compreender como são enfrentadas as barreiras à adoção da Indústria 4.0 (Attiany *et al.*, 2023; Govindan & Arampatzis, 2023; Raj *et al.*, 2020; Stornelli *et al.*, 2021) e em que medida são utilizadas estratégias proativas de engajamento (Sidekerskienė & Damaševičius, 2023).

O roteiro final foi composto por 25 questões, organizadas em sete categorias temáticas, conforme apresentado na Tabela 22.

Tabela 22

Questões do roteiro de entrevista

Categoria da pergunta	Questões do protocolo de pesquisa	Líder	Engenheiro
Objetivo e motivação do Projeto	Você participou do planejamento de front-end dos Centros Tecnológicos?	X	-
	Qual foi a motivação para desenvolver este Centro Tecnológico?	X	-
	Qual é o objetivo do Centro Tecnológico?	X	-
Engajamento e gestão de barreiras	Como são gerenciadas as barreiras de adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no Centro Tecnológico?	X	-
	Como os clientes são engajados no CT?	X	-
Perspectiva de tamanho do projeto e execução	Qual foi o orçamento investido no CT?	X	-
	Qual foi o tempo de execução do CT?	X	-
	Quantas pessoas foram envolvidas na execução deste projeto?	X	-
	O projeto foi executado pela empresa ou por empresas terceiras?	X	-
	Quantas pessoas são qualificadas atualmente para realizar as demonstrações no CT?	X	-
Plano atual de demonstração das tecnologias	Qual o tamanho deste Centro Tecnológico?	X	-
	Você realizou demonstrações neste Centro Tecnológico?	X	X
	Como é o processo de demonstração das tecnologias nestes Centros Tecnológicos?	X	X
Engajamento e gestão de barreiras	Há algum processo formal, por exemplo um roteiro, para as demonstrações?	X	X
	Os clientes demonstram barreiras ou falta de conhecimento sobre as tecnologias industriais avançadas apresentadas no CT?	X	X
	Como lida com estas barreiras?	X	X
	Na sua opinião, os clientes/visitantes se engajam ao longo das demonstrações?	X	X
	Como você pensa que os clientes/visitantes podem ser engajados?	X	X
	São utilizados outros elementos para realizar as demonstrações, como vídeos, atividades de hands-on ou material impresso?	X	X

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

No total, foram conduzidas 18 entrevistas em profundidade, sendo sete realizadas com líderes dos Centros Tecnológicos e onze com colaboradores engenheiros, conforme a disponibilidade de cada unidade. As entrevistas foram desenvolvidas em duas etapas: inicialmente, procedeu-se à apresentação do pesquisador e dos objetivos da pesquisa, com duração aproximada de 10 a 15 minutos; em seguida, deu-se início ao conjunto de questões do roteiro semiestruturado. Os participantes consentiram voluntariamente em participar das entrevistas, ao início de cada entrevista o pesquisador lia um Termo de Consentimento que

esclarecia o uso exclusivo acadêmico e o sigilo dos dados e solicitava a autorização para gravação das entrevistas. A cópia dessa declaração está disponível no Apêndice C.

A duração total das entrevistas variou entre 33 minutos e 1 hora e 30 minutos, dependendo do nível de detalhamento das respostas, da dinâmica da interação e da experiência prévia do entrevistado com as tecnologias demonstradas nos Centros Tecnológicos.

Para registro e posterior transcrição, foram utilizados diferentes recursos de captação. Do total de entrevistas, 12 foram gravadas em vídeo por meio da plataforma *Microsoft Teams*; 4 foram gravadas apenas em áudio; e, em 2 entrevistas, devido a falhas técnicas, foi possível registrar apenas as anotações realizadas em tempo real pelo pesquisador. As anotações serviram tanto para complementar as gravações quanto para registrar impressões contextuais e observações interpretativas relevantes ao estudo. As entrevistas foram conduzidas em língua inglesa, o pesquisador realizou tradução livre simultânea e, posteriormente, procedeu a uma apuração minuciosa dos textos, comparando-os com os áudios originais para garantir a preservação fiel dos significados contextuais e semânticos. As traduções foram revisadas com o auxílio da ferramenta de IA generativa ChatGPT 5.0, assegurando precisão linguística e consistência.

A Tabela 23 apresenta a lista dos entrevistados por Centro Tecnológico, especificando o cargo/área, o formato de registro da entrevista e sua respectiva duração.

Tabela 23

Atividades de coleta de dados nos Estudos de Casos

Estudo Caso	Local	Entrevistado	Posição	Ação	Evidências	Data
Caso 1	CT-A	-	-	Análise ambiente	Anotações	4-nov-24
		-	Cliente	Observação Não-participativa	Anotações	4-nov-24
		C1.E1	Lider CT	Entrevista	Vídeo	5-nov-24
		C1.E2	Engenheiro	Entrevista	Áudio	6-nov-24
		C1.E3	Engenheiro	Entrevista	Áudio	7-nov-24
Caso 2	CT-B	-	-	Análise ambiente	Anotações	12-nov-24
		C2.E1	Lider CT	Entrevista	Vídeo	12-nov-24
		C2.E2	Engenheiro	Entrevista	Vídeo	14-nov-24
		C2.E3	Engenheiro	Entrevista	Vídeo	14-nov-24
Caso 3	CT-C	-	-	Análise ambiente	Anotações	18-nov-24
		C3.E1	Lider CT	Entrevista	Vídeo	5-dez-24
		C3.E2	Engenheiro	Entrevista	Anotações	20-nov-24
		C3.E3	Engenheiro	Entrevista	Áudio	20-nov-24
		C3.E4	Engenheiro	Entrevista	Áudio	20-nov-24
Caso 4	CT-D	-	-	Análise ambiente	Anotações	26-nov-24
		C4.E1	Lider CT	Entrevista	Vídeo	27-nov-24

Caso 5	CT-E	C4.E2	Engenheiro	Entrevista	Vídeo	25-nov-24
		C4.E3	Engenheiro	Entrevista	Vídeo	6-dez-24
		-	-	Análise ambiente	Anotações	4-dez-24
		-	Cliente	Observação Não-participativa	Anotações	5-dez-24
Caso 6	CT-F	C5.E1	Lider CT	Entrevista	Vídeo	6-dez-24
		C5.E2	Engenheiro	Entrevista	Anotações	4-dez-24
		-	-	Análise ambiente	Anotações	8-jan-25
		C6.E1	Lider CT	Entrevista	Vídeo	7-jan-25
Caso 7	CT-G	C6.E2	Engenheiro	Entrevista	Vídeo	7-jan-25
		-	-	Análise ambiente	Anotações	14-jan-25
		C7.E1	Lider CT	Entrevista	Vídeo	15-jan-25

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

4.3.1.2. Observações

Foram realizadas observações diretas nos Centros Tecnológicos (CTs), com análise sistemática dos ambientes e registro detalhado das tecnologias disponíveis, da disposição física dos dispositivos, da iluminação e da organização geral dos espaços. O objetivo dessa etapa foi reunir evidências empíricas que contribuíssem para a compreensão do fenômeno investigado, identificando não apenas quais tecnologias estavam presentes, mas também elementos sutis de planejamento voltados à demonstração, tais como escolhas de iluminação voltadas ao conforto visual ou ao destaque de equipamentos específicos.

Além disso, foram conduzidas observações não participativas durante o acompanhamento de duas visitas técnicas de clientes aos CTs. A primeira visita ocorreu no CT-A, em 04 de novembro de 2024, com duração de 52 minutos, e envolveu uma empresa multinacional japonesa do setor de autopeças, especializada na fabricação de componentes de injeção. O objetivo da visita era conhecer as tecnologias disponíveis e identificar oportunidades para soluções relacionadas a problemas industriais.

Participaram dois engenheiros responsáveis por projetos de manufatura. A segunda visita ocorreu no CT-E, em 03 de dezembro de 2024, com duração de 45 minutos, envolvendo outra empresa multinacional japonesa da indústria de autopeças, fabricante de sistemas de transmissão. Nesse caso, o objetivo específico era compreender o funcionamento e o potencial de aplicação de robôs móveis autônomos, uma vez que a empresa avaliava a possibilidade de utilizá-los em processos de movimentação interna, mas ainda não possuía conhecimento suficiente sobre a tecnologia.

Após a demonstração, o pesquisador acompanhou uma reunião técnico-comercial com uma empresa integradora, na qual foi apresentada uma proposta de solução. Todos os dados

foram registrados no diário de bordo do pesquisador, compondo o material de análise dos estudos de caso.

4.3.1.3. Documentos coletados

A pesquisa de campo incluiu a coleta de diferentes documentos, em conformidade com a orientação de Walsham (1995) quanto à importância do uso de múltiplas fontes de evidências para ampliar a robustez interpretativa em estudos de caso. Tal estratégia possibilita apreender nuances contextuais, interações e sentidos atribuídos pelos participantes ao fenômeno estudado.

Foram coletados vídeos das entrevistas, cujas transcrições em inglês foram geradas automaticamente pela plataforma Microsoft Teams; gravações de áudio realizadas por meio de dispositivo móvel; além de fotografias e vídeos dos CTs, incluindo registros de equipamentos, ambientes, fluxos de atendimento e demonstrações tecnológicas. O pesquisador também teve acesso a materiais institucionais, tais como documentos promocionais, projetos de concepção arquitetônica e funcional dos Centros Tecnológicos, agendas operacionais e um documento interno de planejamento de atendimentos (“*points plan*”).

Cabe destacar que todas as entrevistas foram conduzidas em língua inglesa, assim como a maior parte dos documentos coletados encontra-se nesse idioma. As transcrições, bem como observações do pesquisador e registros de conversas informais com clientes e colaboradores, foram sistematicamente anotadas em diário de campo. Esses materiais fundamentam a análise descritiva e interpretativa apresentada na seção seguinte.

4.4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Esta seção apresenta os estudos de caso conduzidos nos Centros Tecnológicos, etapa que fundamenta a análise interpretativa dos resultados. A interpretação seguiu o paradigma interpretativista, o qual, conforme Saccol (2009), assume uma perspectiva construtivista, segundo a qual o conhecimento é produzido a partir das práticas humanas e das interações entre sujeitos e contexto.

Optou-se por não utilizar softwares de análise qualitativa, dada a natureza altamente contextual e densa dos dados coletados. Conforme argumenta Yin (2015), em estudos de caso qualitativos, o uso de ferramentas automatizadas pode reduzir a sensibilidade analítica a nuances emergentes das falas, observações e interações informais. Assim, considera-se que a

análise manual oferece maior capacidade de apreender significados implícitos e interpretações situadas. As subseções a seguir descrevem, individualmente, os sete estudos de caso realizados.

4.4.1. Descrição dos estudos de caso

Cada estudo foi elaborado a partir da coleta direta em campo, incluindo observação da rotina dos Centros Tecnológicos, realização de entrevistas e análise de documentos internos. Essa triangulação metodológica permitiu compreender tanto a materialidade dos ambientes e tecnologias disponíveis quanto os processos sociais envolvidos na demonstração, negociação e tomada de decisão tecnológica.

4.4.1.1. Caso de estudo 1 – Centro Tecnológico A

O presente estudo de caso foi realizado no Centro Tecnológico A (CT-A), sediado na cidade de Cincinnati no estado de Ohio nos Estados Unidos, uma região composta por indústrias de manufatura dos segmentos automotivo, autopeças, alimentos e bebidas⁵. O CT-A foi concebido com o objetivo de oferecer suporte técnico e demonstrações de soluções industriais aos clientes da região, em especial às empresas do setor automotivo, tradicionalmente relevantes no contexto produtivo local.

Antes da aquisição da empresa atual, existia na região um centro voltado principalmente à realização de provas de conceito, operado por uma companhia especializada em robótica. Esse centro foi posteriormente desativado. O atual gestor do CT-A atuou naquela estrutura anterior e participou diretamente do planejamento e implantação do novo Centro Tecnológico, contribuindo para a continuidade de conhecimento e práticas acumuladas ao longo do tempo.

O CT-A integra, em uma mesma instalação, espaços administrativos e operacionais: escritório comercial de apoio ao time da região, salas de reunião, área de treinamento, setor de armazenamento e expedição e uma área dedicada à demonstração prática de tecnologias. No total, a instalação ocupa aproximadamente 600m².

As demonstrações e provas de conceito constituem o principal uso do CT-A. Elas consistem em testar e validar aplicações das tecnologias industriais avançadas utilizando peças ou amostras fornecidas pelos clientes, permitindo avaliar a viabilidade técnica da solução em um contexto próximo ao real.

⁵ Fonte: <https://reshoringinstitute.org/ohio-economic-profile/>

A área destinada às demonstrações organiza-se em três segmentos principais:

- Robôs móveis autônomos (*Autonomous Mobile Robots – AMR*): Essa área ocupa cerca de metade do espaço total, permitindo a circulação livre dos equipamentos. Estão disponíveis dez AMRs com diferentes capacidades de carga (de 90kg a 850kg), configurados para demonstrar distintos fluxos de movimentação e manipulação de materiais.
- Sala de visão computacional: Sala isolada de aproximadamente 20m², projetada para provas de conceito com sistemas de visão computacional e medição a *laser*. O controle preciso da iluminação é fator crítico para a realização de testes, o que explica a separação física desse ambiente.
- Células robotizadas e automação fixa: Área composta por sete células robotizadas plenamente operacionais, com *layout* modular que facilita a adaptação a diferentes cenários de demonstração. Também há um painel de controladores industriais e um painel central de integração de sistemas, este último protegido por tampa transparente e equipado com iluminação interna para destacar sua arquitetura funcional.

A Figura 17 ilustra a configuração espacial e os equipamentos disponíveis no CT-A.

Figura 17

Imagens do CT-A e equipamentos disponíveis



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Durante o período de coleta de dados, foram realizadas três entrevistas em profundidade com colaboradores diretamente envolvidos nas atividades de demonstração e prova de conceito, além do registro sistemático de conversas e análise de documentos internos. O gestor responsável pelo CT-A, que participou ativamente do planejamento e implantação do Centro, foi entrevistado, assim como dois engenheiros que atuam na rotina de atendimento aos clientes.

Adicionalmente, foi conduzida uma observação não participativa de uma visita técnica realizada por uma empresa multinacional japonesa do setor de autopeças. Conforme registrado no documento comercial de agendamento, o objetivo da visita era fortalecer o relacionamento institucional e explorar soluções potenciais para desafios industriais específicos.

A análise integrada das evidências coletadas permitiu identificar que o processo de demonstração das tecnologias no CT-A é altamente centralizado na figura do gestor do Centro, que atua como principal referência técnica e conduz a maior parte das apresentações. Os demais engenheiros desempenham papel complementar, oferecendo suporte especializado em tecnologias específicas e conduzindo as provas de conceito quando necessário.

A organização das visitas segue um processo interno padronizado de agendamento, no qual é anexado um documento denominado “*points plan*”. Esse documento apresenta a oportunidade de negócio, descreve as necessidades e dificuldades do cliente e propõe uma visão preliminar de solução. A partir dessas informações, a equipe responsável pela demonstração adapta o discurso técnico, seleciona as tecnologias a serem destacadas e, quando pertinente, solicita suporte adicional de outros especialistas.

Os entrevistados relataram que existe um roteiro informal de condução das demonstrações, construído ao longo do tempo com base na experiência acumulada em diversas apresentações. No entanto, esse roteiro não foi planejado previamente nem documentado formalmente, tampouco há um procedimento estruturado de capacitação interna para novos colaboradores. Segundo o gestor (C1.E1), “o roteiro emergiu da prática cotidiana e consolidou-se por repetição”. Um dos engenheiros (C1.E3) reforçou essa percepção, argumentando que “a formalização de um roteiro poderia comprometer a espontaneidade e a capacidade de adaptar a demonstração ao perfil e aos interesses específicos de cada cliente”.

A equipe, de modo geral, enfatizou a flexibilidade como elemento central do processo de apresentação, destacando que a efetividade da demonstração depende da habilidade de ajustar o discurso e a seleção tecnológica em tempo real, conforme as reações, questionamentos e objetivos explícitos ou implícitos do visitante, conforme descrição do entrevistado.

“... vejo benefícios de seguir um procedimento, porém eu tenho receio de quanto isso é natural para os clientes e quando podemos perder o foco do que o cliente realmente precisa, perdendo o ritmo natural da apresentação”. (C1.E3)

Observou-se um consenso entre os entrevistados quanto à presença de barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas durante o processo de demonstração junto aos clientes. Os participantes relataram que, embora o interesse inicial seja frequentemente evidente, obstáculos emergem no decorrer das interações, influenciando a disposição dos clientes em avançar para etapas de validação ou implementação.

Entre as barreiras identificadas, destacam-se principalmente restrições financeiras relacionadas aos custos de aquisição, integração e manutenção das tecnologias, bem como barreiras de natureza tecnológica, sobretudo aquelas vinculadas à escassez de mão de obra qualificada para operar, programar e sustentar sistemas avançados de automação e digitalização industrial.

Tais barreiras não apenas dificultam o avanço do processo decisório, como também influenciam a percepção de risco associada à adoção das soluções, reforçando a necessidade de estratégias de demonstração e engajamento que abordem explicitamente essas inquietações, conforme observado na descrição dos entrevistados.

“Quando o cliente apresenta alguma questão relacionada a custo, nós passamos diretamente para o time comercial, se for uma barreira tecnológica, então tentamos compreender a necessidade do e oferecer treinamento.” (C1.E1)

“... aparecem barreiras, como custo, mas sempre busco usar um vendedor para ajudar com alguma dúvida. Se for mais complexa, como sobre a falta de conhecimento de uma nova tecnologia, indicamos integradores terceiros para as soluções ou treinamentos, por exemplo, tecnologias de IO-Link (*Industrial Internet of Things* - IIoT) são complexas e os clientes têm dúvidas de como pôr em prática, principalmente porque é uma tecnologia nova.” (C1.E3)

A análise também contemplou a percepção dos entrevistados acerca do engajamento dos clientes ao longo das demonstrações. Adota-se a definição de engajamento proposta por Pansari e Kumar (2017), segundo a qual esse construto é entendido como um relacionamento

caracterizado por satisfação e vínculo emocional entre cliente e organização.

Embora cada entrevistado tenha apresentado interpretações particulares, identificou-se consenso de que o nível de engajamento varia sobretudo em função do interesse demonstrado pelos visitantes e do tamanho do grupo presente na demonstração, sendo os grupos maiores percebidos como mais difíceis de envolver. Como exemplificado, C1.E1 observou que “grupos menores, de até três pessoas, tendem a demonstrar maior engajamento”. De forma complementar, C1.E2 destacou que “o interesse depende do conhecimento prévio de cada indivíduo” e C1.E3 apontou que “demonstrações excessivamente longas podem reduzir o nível de engajamento”.

Apesar de reconhecerem a relevância do engajamento no processo persuasivo, os colaboradores utilizam recursos limitados para fortalecê-lo. Todos relataram recorrer, principalmente, a vídeos de casos reais e materiais promocionais para ilustrar aplicações práticas das tecnologias. No entanto, verificou-se ausência de padronização: os vídeos utilizados correspondem aos arquivos disponíveis nos computadores pessoais dos engenheiros, sem qualquer curadoria, alinhamento narrativo ou estratégia de comunicação visual. O conteúdo é exibido em uma televisão instalada em área central do CT-A, porém sem diretrizes formais de uso.

Além disso, observou-se que atividades de experimentação (*hands-on*) podem exercer papel relevante no aumento do engajamento. Um dos entrevistados (C1.E2) relatou que, “ao permitir que um cliente manipulasse diretamente um robô colaborativo, o visitante demonstrou elevado interesse, retornando posteriormente ao Centro para realizar um treinamento prático de um dia”. Esse episódio reforça o papel da experiência sensorial e participativa como facilitadora de envolvimento cognitivo e emocional, aspecto alinhado aos atributos de experimentação e observabilidade discutidos por Rogers (2003).

4.4.1.2. Caso de estudo 2 – Centro Tecnológico B

O segundo estudo de caso foi conduzido no Centro Tecnológico B (CT-B), localizado na cidade de Novi, no estado de Michigan, Estados Unidos, inserido na região metropolitana de Detroit. Essa região é reconhecida internacionalmente como um dos principais polos industriais automotivos, concentrando empresas globais de manufatura, tecnologia e cadeias de suprimentos associadas. Detroit abriga montadoras de referência mundial, como General Motors, Ford Motor Company e Stellantis, além de uma extensa rede de fornecedores, centros

de engenharia e laboratórios de mobilidade avançada. Assim, o CT-B está inserido em um ambiente industrial altamente dinâmico e competitivo, no qual a demonstração de tecnologias emergentes possui elevado potencial estratégico e comercial.

A decisão de estabelecer o CT-B foi motivada pela oportunidade de atender indústrias de grande porte e desenvolver soluções tecnológicas com potencial de replicação em outras regiões. O Centro está localizado em um edifício térreo de aproximadamente 560m², integrando áreas administrativas, salas de reunião, sala de treinamento, área de recebimento e expedição e estacionamento privativo. Deste total, cerca de 125m² são destinados ao espaço físico do CT-B.

O ambiente do CT-B apresenta *layout* organizado, limpo e bem iluminado, com forte presença da identidade visual corporativa desde a entrada, complementada por elementos culturais locais, como referências a clubes esportivos regionais. Os equipamentos estão distribuídos nas extremidades do espaço, mantendo a área central livre para circulação. Parte das células robotizadas e dispositivos é utilizada para provas de conceito, enquanto outra parte é destinada a demonstrações estruturadas. As apresentações seguem um roteiro previamente planejado, no qual os visitantes são conduzidos por uma experiência sequencial que simula um processo de manufatura avançada com tecnologias industriais avançadas.

A Figura 18 ilustra a disposição dos equipamentos no CT-B.

Figura 18

Imagens do CT-B e equipamentos disponíveis



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Durante o trabalho de campo, foram conduzidas três entrevistas em profundidade com colaboradores do Centro Tecnológico B (CT-B), complementadas por anotações de conversas informais e coleta de documentos institucionais. As entrevistas incluíram dois colaboradores diretamente envolvidos nas demonstrações e provas de conceito, além do líder do CT-B, que desempenha papel central na condução das apresentações e atuou como gestor do projeto de implantação do Centro. Adicionalmente, o pesquisador realizou observações diretas, tendo acompanhado integralmente uma demonstração do CT-B e interagido com sua dinâmica operacional.

A análise dos dados revelou que o processo de demonstração é fortemente centralizado na figura do líder do CT-B, que participa da maior parte das apresentações realizadas no local. Contudo, diferentemente dos demais líderes observados nos outros Centros Tecnológicos analisados, o líder do CT-B possui perfil predominantemente comercial, atuando como gerente global de contas automotivas e acumulando mais de 24 anos de experiência no setor de automação industrial. Apesar dessa trajetória, o entrevistado demonstrou domínio técnico elevado, sendo capaz de conduzir discussões aprofundadas sobre as características das tecnologias apresentadas e suas aplicações práticas.

Assim como nos demais Centros Tecnológicos, o processo de agendamento das visitas envolve o preenchimento do documento *points plan*, no qual a equipe comercial descreve a oportunidade, as necessidades e desafios do cliente, bem como a proposta preliminar de valor. Com base nessas informações, o time do CT-B planeja a condução da demonstração.

Entretanto, em contraste com os demais casos analisados, o CT-B adota um roteiro estruturado e formalizado, desenvolvido após a implantação do Centro. Esse roteiro organiza a demonstração em uma sequência lógica, articulando todas as tecnologias disponíveis no ambiente em um contexto de solução integrada. Dessa forma, cada etapa da apresentação complementa a anterior, construindo uma narrativa que reforça a capacidade da empresa de fornecer sistemas completos e interoperáveis, e não apenas equipamentos isolados. Esse formato também permite demonstrar, de maneira coerente, como diferentes tecnologias industriais avançadas se conectam para compor fluxos produtivos avançados, conforme pode ser observado pelos entrevistados.

“...foi pensado uma forma de integrar as soluções e buscar mostrar o que a plataforma da empresa pode entregar de melhor em termos de tecnologia de controle de dados da indústria. Da forma que está atualmente é possível incluir novas tecnologias na

demonstração já existente.” (C2.E1).

“Quando a demonstração é realizada de forma estruturada é possível apresentar de forma mais consistente as tecnologias e explorar o valor de cada tecnologia envolvida.” (C2.E2).

“Nós temos um processo muito bem estruturado, que começa com a história da empresa e depois segue com o tour para demonstrar as tecnologias.” (C2.E3).

Antes do início do *tour* para demonstração, os clientes passam por uma área onde é apresentada a história da empresa e as demais unidades de negócio, conforme descreveu o entrevistado.

“Eu penso que a história precisa sempre ser apresentada, além disso, foi pensado nos perfis dos clientes que sempre pedem informações de estrutura global da empresa” (C2.E1).

O roteiro de demonstração do CT-B integra seis estações de trabalho que simulam um processo completo de montagem de peças. No início da apresentação, o visitante é convidado a selecionar o tipo de peça que deseja montar e a inserir dados personalizados, por exemplo, seu nome. A partir desse ponto, um robô móvel autônomo (*Autonomous Mobile Robot – AMR*) transporta a peça por seis etapas sucessivas, cada uma correspondendo a uma tecnologia distinta, incluindo robôs industriais, robôs colaborativos, sistemas de inspeção de qualidade, dispositivos de rastreabilidade e marcação a laser.

Durante a demonstração, o cliente pode interagir diretamente com o processo, realizando, por exemplo, a simulação da etapa de parafusamento com uma ferramenta industrial utilizada em linhas de produção. Ao final do percurso, a peça personalizada é entregue como brinde, reforçando o caráter experiencial da atividade.

No encerramento, os colaboradores apresentam em um monitor um *dashboard* com indicadores de eficiência operacional (*Overall Equipment Effectiveness – OEE*), exibindo tempos de deslocamento do AMR, tempos de processamento em cada estação e o tempo total do ciclo. Os valores acima dos parâmetros de referência são destacados visualmente, enfatizando a importância da análise de desempenho em tempo real.

Os entrevistados relataram a presença de barreiras de adoção percebidas por parte dos clientes ao longo das demonstrações, especialmente relacionadas a custos, justificativa de retorno sobre investimento e complexidade operacional das tecnologias industriais avançadas. Entretanto, não foi identificado um procedimento formalizado de gestão dessas barreiras. A abordagem adotada varia conforme o perfil do demonstrador.

O entrevistado C2.E1, por exemplo, afirmou que tenta “evitar aprofundar temas associados às barreiras, direcionando a conversa para outras tecnologias potencialmente mais aderentes ao contexto do cliente”, com a justificativa de que “a empresa possui diversas tecnologias disponíveis e busca a melhor oportunidade de abrir a porta do cliente”. Por outro lado, C2.E2 enfatizou a importância de “compreender as prioridades do cliente e evitar discussões prematuras sobre preço, concentrando-se na proposição de valor e na demonstração de benefícios concretos”.

No que se refere ao engajamento dos clientes, os entrevistados reconheceram que o envolvimento durante a demonstração varia significativamente conforme o interesse prévio do visitante, o perfil profissional dos participantes e o tamanho do grupo. Demonstradores verificaram que grupos menores tendem a apresentar maior envolvimento, enquanto apresentações mais longas podem reduzir a atenção e a interação. Assim, o engajamento é compreendido como um fenômeno dinâmico e dependente tanto das características do público quanto da condução da narrativa da demonstração, conforme observado pelos entrevistados.

“Na minha opinião conseguimos engajar os clientes, especialmente em turmas reduzidas, com até três pessoas, pois fica mais fácil de dar atenção e engajar, por exemplo, quando ao final do tour se houver a necessidade de fazer muitos brindes, pode atrapalhar a rotina.” (C2.E2)

“Quando o cliente tira uma foto do *dashboard* final, com o resultado do OEE, é porque ele de fato compreendeu e foi atingido o objetivo”. (C2.E2)

“... os clientes se impressionam com o que veem e em muitos casos as perguntas são respondidas na hora. Por isso, os clientes acabam se interessando por outros temas que inicialmente não haviam se interessado.” (C2.E3)

“... é possível ver pelo “body language” e pela quantidade de questões que os clientes

fazem, gralmente engenheiros fazem muitas perguntas de como fazer “more questions means more engajemente”. (C2.E3)

As contribuições dos entrevistados indicam que o engajamento dos clientes durante as demonstrações está fortemente associado à apresentação de soluções reais estruturadas a partir de conceitos técnicos acessíveis. A demonstração integrada do processo produtivo, desde a movimentação da peça pelo AMR até a visualização dos indicadores no *dashboard*, fornece aos visitantes uma compreensão concreta de como as tecnologias industriais avançadas podem ser aplicadas em seus próprios contextos operacionais.

Esse aspecto foi destacado como um elemento central para o engajamento, uma vez que a integração entre sistemas e a visualização dos resultados de desempenho chamam a atenção por demonstrar potencial de replicabilidade em diversos ambientes industriais. Em outras palavras, os clientes podem visualizar, de forma imediata, como a solução apresentada pode ser transferida para suas realidades produtivas, o que contribui para reduzir incertezas e aumentar a percepção de valor.

Além disso, o pesquisador identificou ações deliberadamente planejadas para favorecer a imersão dos visitantes e sustentar o engajamento ao longo da demonstração. Tais ações envolvem desde elementos de ambientação e narrativa expositiva até oportunidades de interação direta com os equipamentos. A Tabela 24 sintetiza esses elementos, destacando como cada um deles contribui para reforçar a experiência demonstrativa e, consequentemente, para favorecer a etapa de persuasão no processo de adoção da inovação.

Tabela 24

Elementos de engajamento dos clientes no CT-B

Elementos	Descrição das ações
Ambientação	Tratamento acústico do local para reduzir o ruído das máquinas e facilitar a conversação; Símbolos de clubes esportivos da região, de diferentes modalidades, instalados na entrada do CT; e Área dedicada para apresentação do histórico da empresa, sua visão e valores.
Personalização	Brinde personalizado, o processo de demonstração simula um processo industrial de manufatura, que no final se transforma num brinde (abridor de garrafa, <i>tag</i> de identificação animal ou pen drive).
Interação	Perzonalização, os clientes e visitantes podem interagir como processo e inserir dados personalizados (por exemplo um nome), que são utilizados no decorrer da demonstração; e Interação com as tecnologias, os clientes e visitantes são convidados a interagir com robôs colaborativos, com a personalização no início do processo e também na simulação de um processo de parafusamento semi-automático, interagendo com diferentes tecnologias.

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

O CT-B apresenta uma condição distintiva em relação aos demais centros analisados. Observou-se que, além do gestor, a equipe de colaboradores demonstra uma compreensão mais ampla acerca do papel estratégico das tecnologias industriais avançadas. Em vez de concebê-las somente como artefatos técnicos ou soluções de engenharia, os profissionais do CT-B enfatizam a proposta de valor associada à aplicação integrada dessas tecnologias nos processos produtivos dos clientes.

Essa orientação manifesta-se na condução das demonstrações: prioriza-se inicialmente a realização completa do roteiro estruturado, que apresenta o fluxo da solução integrada, para somente então aprofundar-se nas discussões técnicas. Tal abordagem reforça a narrativa de que o benefício não reside na tecnologia isolada, mas na interconexão entre sistemas, na melhoria de desempenho operacional e na capacidade de adaptação às necessidades específicas dos clientes. Assim, o discurso adotado pelo CT-B coloca em evidência a utilidade prática e o potencial de geração de valor, favorecendo a construção de sentido pelos visitantes durante a experiência demonstrativa, conforme descreveu um entrevistado.

“... quanto apresentamos, todas as máquinas estão ligadas e funcionando, para dar uma boa impressão ao cliente e puxar a sua atenção!” (C2.E1)

4.4.1.3. Caso de estudo 3 – Centro Tecnológico C

O estudo de caso referente ao Centro Tecnológico C (CT-C) foi conduzido na matriz da empresa, localizada em Hoffman Estates, Illinois, a aproximadamente 50km de Chicago. Inaugurado em setembro de 2014, o CT-C foi o primeiro Centro Tecnológico estabelecido nas Américas, sob a denominação *Automation Technology Center* (ATC) Chicago, com o propósito de oferecer aos clientes acesso centralizado a recursos técnicos e de engenharia.

Desde sua criação, o CT-C também assumiu uma função de laboratório com orientação acadêmica, aproximando-se de um ambiente universitário, ao possibilitar a colaboração, experimentação e exploração prática de soluções integradas. Na ocasião de sua abertura, a empresa já mantinha Centros Tecnológicos no Japão, Europa, Índia e China.

O CT-C integra-se ao edifício da sede corporativa, compartilhando espaço com as divisões de automação industrial, componentes eletrônicos e escritório executivo. A área dedicada ao CT-C possui cerca de 600m², com salas de treinamento anexas. O ambiente é

projetado para proporcionar uma experiência acolhedora, com iluminação indireta e acabamento em carpete, conferindo sofisticação e favorecendo a imersão nas demonstrações. Seu *layout* é estruturado em quatro áreas distintas:

- Área de entrada: apresenta a história, missão e valores da empresa;
- Área de componentes e produtos discretos: demonstra elementos isolados, associados ao conceito ILOR+S (*Input, Logic, Output, Robot and Safety*), que sintetiza a oferta integrada da empresa;
- Painel “*Sysmac-wall*”: expõe a plataforma de integração voltada à Indústria 4.0, destacando conectividade, controle e gestão de dados;
- Área de soluções robóticas: inclui robôs fixos, robôs colaborativos e robôs móveis (AMR), evidenciando a amplitude tecnológica da empresa.

A Figura 19 representa as áreas descritas no CT-C.

Figura 19

Imagens do CT-C e equipamentos disponíveis



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

A coleta de dados foi realizada em dois períodos. No primeiro, entre 18 e 22 de novembro de 2024, o pesquisador acompanhou a rotina do CT-C e realizou entrevistas sem, no entanto, ocorrer visitas de clientes naquele intervalo. Foram conduzidas entrevistas em profundidade com três colaboradores, complementadas por anotações de conversas informais e

coleta documental. Em 5 de dezembro de 2024, foi realizada nova entrevista com o líder do CT-E, responsável pelo gerenciamento do projeto de implantação do CT-C.

Um aspecto distintivo identificado refere-se à forma de condução das demonstrações: elas são segmentadas conforme a tecnologia apresentada e executadas por diferentes engenheiros. A área de componentes discretos é conduzida pelo entrevistado C3.E3; a plataforma *Sysmac*, por C3.E4 ou C3.E2; enquanto as soluções robóticas são apresentadas exclusivamente por C3.E2. Quando necessário demonstrar todas as tecnologias, os três profissionais atuam de maneira sequencial. Observou-se, adicionalmente, que dois dos três engenheiros apresentam perfil predominantemente técnico, com menor desenvoltura comunicacional, o que impacta diretamente a fluidez das interações com os clientes.

Assim como nos demais centros, o processo de demonstração inicia-se com o preenchimento do documento *points plan* pela equipe comercial, contendo o diagnóstico preliminar da demanda do cliente. Com base nesse material, a equipe técnica estrutura a apresentação. Segundo o entrevistado C3.E4, “existe um roteiro padrão informal que se inicia com a apresentação institucional e, em seguida, a exposição das tecnologias, avançando posteriormente para discussões específicas das necessidades do cliente”. O entrevistado C3.E3 complementa que, “quando necessário, exemplos práticos são demonstrados em tempo real, diretamente nas plataformas e aplicativos utilizados pelas soluções”.

No que se refere às barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas, todos os entrevistados relataram desafios recorrentes durante as demonstrações. Entre esses desafios, destacam-se resistência ao investimento, desconhecimento técnico e cultura organizacional conservadora. Como exemplificado por C3.E3, ao apresentar sensores *IO-Link* (IIoT) baseados em *IO-Link*, alguns clientes afirmam “não querer pagar mais por isso”. Nesses casos, o entrevistado busca demonstrar o valor agregado ao processo, como a capacidade de reduzir paradas de máquina e, conseqüentemente, custos produtivos. Essa abordagem evidencia a necessidade de associar a apresentação técnica ao discurso de valor percebido, aspecto central ao processo de persuasão descrito por Rogers (2003) e observado pelo entrevistado.

“... estes conceitos (manutenção preditiva com relés de IIoT) têm mais de 20 anos, porém agora dentro da Indústria 4.0 e os clientes compreendem melhor o valor da manutenção preventiva. Por exemplo, nas empresas japonesas, a organização dos processos de manutenção preventiva é rigorosa, diferente de outras empresas, ou seja, a cultura empresarial pode mudar, inclusive pelo segmento de atuação” C3.E3.

Entretanto, não foram identificadas ações estruturadas ou sistematizadas para lidar com essas barreiras durante o processo de demonstração. Conforme relatado por C3.E2, “a principal estratégia consiste na utilização do *points plan* como base de preparação, de modo a direcionar o discurso para os interesses específicos do cliente e reforçar atributos percebidos como vantajosos, tais como o suporte técnico especializado sem custo adicional, a disponibilidade de programas de treinamento e a existência de uma rede de parceiros qualificados para a execução de serviços”. Essa abordagem, ainda que relevante, é adotada de forma individualizada e situacional, dependendo da experiência e julgamento do demonstrador, não configurando um processo formalizado de gestão de barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas, conforme descreveu um dos entrevistados.

“Não temos a expectativa de solucionar todas as demandas do cliente e, caso ainda haja alguma questão pendente (barreira), buscamos ajuda com profissionais especializados. Por exemplo, para questões comerciais e preços de vendas, buscamos ajuda do time comercial.” C3.E4

No que se refere ao engajamento dos clientes durante o processo de demonstração, os entrevistados convergiram na percepção de que o nível de envolvimento varia de acordo com o interesse prévio do cliente pelas tecnologias apresentadas e com o número de participantes na visita. Grupos maiores tendem a ser mais difíceis de engajar de forma equilibrada, enquanto grupos menores favorecem interações mais direcionadas e dinâmicas. Conforme ressaltado por C3.E4, “visitas com poucos participantes possibilitam ao demonstrador dedicar maior atenção individual, aumentando a qualidade da experiência”.

O entrevistado C3.E3 enfatizou ainda a relevância do alinhamento prévio com a equipe comercial, destacando que, por vezes, “informações técnicas transmitidas na etapa de prospecção não refletem adequadamente o contexto ou as necessidades reais do cliente”. Nesses casos, a demonstração no CT desempenha um papel importante na correção dessas distorções, permitindo o ajuste das expectativas e o direcionamento da conversa para uma proposta tecnicamente viável e aderente ao cenário operacional do cliente, conforme descrito por ele.

“... é importante ganhar a confiança do cliente com respostas diretas, mesmo que isso traga conflitos com a equipe comercial”. C3.E3

Todos os entrevistados relataram não dispor de ferramentas estruturadas ou padronizadas no CT-C especificamente voltadas para o engajamento dos clientes durante as demonstrações. Assim, cada profissional adota estratégias próprias, selecionadas conforme o perfil da visita, como a utilização de vídeos disponíveis no canal oficial da empresa no YouTube ou de materiais impressos, tais como fichas técnicas e catálogos de produtos.

Nesse contexto, o entrevistado C3.E3 destacou a importância de considerar a cultura local na comunicação e na apresentação das tecnologias. Ele observou que “parte dos materiais técnicos e comerciais fornecidos pela matriz japonesa não se adapta de maneira eficaz ao público norte-americano”, uma vez que refletem estilos de narrativa e estética típicos do contexto cultural oriental. Como exemplo, citou materiais impressos contendo histórias em quadrinhos, nos quais personagens dialogam sobre soluções de automação, formato incomum e pouco aderente às preferências comunicacionais do mercado ocidental. Esse descompasso, segundo o entrevistado, “pode comprometer o impacto da mensagem e, consequentemente, o engajamento do cliente”.

4.4.1.4. Caso de estudo 4 – Centro Tecnológico D

O prédio atualmente ocupado pelo CT-D originalmente abrigava a unidade de desenvolvimento de robôs móveis autônomos (AMRs). Em 2017, com a aquisição de uma empresa especializada em tecnologias de leitura de códigos e visão computacional, houve a integração das operações, reunindo, em um único local, as áreas de pesquisa e desenvolvimento de AMRs e de sistemas de visão.

Ainda em 2017, foi criado o primeiro Centro Tecnológico da região. Contudo, conforme relatado pelo líder do CT, o espaço apresentava um perfil pouco profissional. Em razão disso, o CT-D passou por uma ampla reestruturação e foi reinaugurado em 2021 no formato observado durante a coleta de dados. O investimento no novo projeto foi de aproximadamente US\$650 mil, para uma área total de 200m², com execução estimada em sete meses.

A organização espacial das tecnologias no CT-D segue um fluxo sequencial planejado pelo entrevistado C4.E1, responsável pela definição do layout. Segundo ele, “o ambiente foi concebido como um roteiro de visita, guiando os visitantes em um percurso que apresenta, de forma progressiva, as soluções disponíveis, culminando na demonstração dos robôs posicionados na área central”. Essa abordagem, além de facilitar a compreensão, permite que o

expositor aprofunde a apresentação conforme o interesse específico de cada visitante. O líder também destacou que tal estrutura contribui para que novos clientes identifiquem tecnologias que não sabiam que a empresa oferecia.

As principais tecnologias demonstradas no CT-D incluem robôs industriais, robôs móveis autônomos (AMRs) e robôs colaborativos. O conceito de IIoT também é explorado por meio de uma bancada integrada, inspirada no design do CT-B, que utiliza *dashboards* exibidos em monitor para apresentação de dados operacionais.

Ademais, uma tecnologia de visão computacional dedicada à inspeção de qualidade e leitura de códigos 1D e 2D (*Data Matrix*) é demonstrada em uma máquina projetada pelo entrevistado C4.E2, especialista na área. Essa solução foi posteriormente replicada nos CT-E e CT-F, justificada pelo elevado número de empresas do setor farmacêutico presentes na região.

A Figura 20 demonstra o layout do CT-D e os equipamentos existentes.

Figura 20

Imagens do CT-D e equipamentos disponíveis



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Embora exista um roteiro informal para a realização das demonstrações, os entrevistados divergem quanto à sua aplicação. C4.E2 relatou que, “em visitas convencionais, todas as tecnologias são apresentadas seguindo uma sequência padrão”. Já o entrevistado C4.E3 argumentou que “adapta o roteiro conforme o número de participantes e suas necessidades específicas”, afirmando: “o roteiro está na minha cabeça, pois não há um procedimento padrão”.

Assim como nos demais Centros Tecnológicos, o documento *points plan*, preenchido previamente pelo setor comercial, é utilizado como base para orientar o planejamento das visitas.

A coleta de dados no CT-D ocorreu entre 25 e 27 de novembro de 2024, período no qual o pesquisador acompanhou integralmente a rotina do Centro. Como não houve visitas de clientes nesse intervalo, a interação foi conduzida exclusivamente com os colaboradores, por meio de entrevistas em profundidade, conversas informais e análise documental. A entrevista com o terceiro participante (C4.E3) ocorreu posteriormente, de forma *on-line*, em 13 de dezembro.

Observou-se que, apesar do perfil técnico dos engenheiros responsáveis pelas demonstrações, todos apresentam comunicação clara e postura receptiva. Essa característica foi evidenciada durante o acompanhamento de uma visita conduzida por C4.E2 com o objetivo de demonstrar os resultados de uma prova de conceito aplicada a um sistema de rastreabilidade laboratorial. O engenheiro conduziu a apresentação de forma didática, incentivando a participação ativa do cliente.

Quando questionados sobre barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas, os entrevistados demonstraram confiança em sua capacidade técnica para lidar com resistências, priorizando a explicação aprofundada das características e benefícios das soluções. C4.E1 afirmou que “sua estratégia consiste em modular o nível de detalhamento técnico conforme o perfil do visitante”.

O entrevistado C4.E2 destacou que “a principal barreira observada se refere ao conhecimento técnico dos clientes” e argumentou que “o CT desempenha papel essencial ao permitir a experimentação prática das soluções”. Segundo ele, “sem o CT, não vejo possibilidade de promover adequadamente as tecnologias industriais avançadas”. Ele acrescentou que busca utilizar linguagem acessível, adaptando-se ao perfil e ao nível de familiaridade de cada visitante com as tecnologias, conforme descreveu.

“... busco sempre fazer uma introdução sobre a tecnologia e como pode beneficiar na aplicação do dia a dia, evitando falar de códigos.” C4.E2

Para o entrevistado C4.E3, “as barreiras de adoção estão relacionadas sobretudo à complexidade de uso das tecnologias e aos custos iniciais de investimento”. Ele exemplificou essa questão ao citar o caso de soluções de *IO-Link* (IIoT), nas quais sensores conectados em

rede podem ser entre 20% e 30% mais caros do que sensores discretos convencionais.

Nesses casos, seu esforço concentra-se em demonstrar verbalmente os benefícios da adoção, destacando o impacto potencial na eficiência do processo produtivo. Entretanto, ele reconhece não dispor de materiais específicos que auxiliem na apresentação desses argumentos, conduzindo a explicação de forma essencialmente oral.

Outro aspecto levantado pelo pesquisador refere-se ao engajamento dos clientes durante as sessões de demonstração. Os entrevistados novamente convergiram na percepção de que o número de participantes influencia significativamente o nível de engajamento. Esse ponto revelou-se recorrente nos diferentes Centros Tecnológicos analisados: grupos maiores dificultam a interação e o acompanhamento adequado das demandas individuais.

O entrevistado C4.E1 observou que “o número ideal de visitantes por sessão não deveria exceder três participantes, pois grupos reduzidos tendem a favorecer o diálogo e o esclarecimento de dúvidas”. Além disso, o C4.E3 destacou que “o engajamento também varia conforme o estágio de maturidade ou interesse do cliente”. Clientes que já possuem uma demanda concreta de projeto demonstram maior envolvimento e predisposição à interação. Em contrapartida, aqueles que enfrentam restrições orçamentárias tendem a apresentar mais resistência, o que pode resultar em menor abertura à exploração das tecnologias apresentadas.

4.4.1.5. Caso de estudo 5 – Centro Tecnológico E

O quinto estudo de caso foi conduzido no Centro Tecnológico E (CT-E), localizado na cidade de Dallas, no estado do Texas. O estado representa aproximadamente 9,2% do Produto Interno Bruto dos Estados Unidos, sendo que a região metropolitana de Dallas/Fort Worth responde por cerca de 31% desse total. O CT-E está situado nas proximidades do Aeroporto Internacional de Dallas/Fort Worth (DFW), em uma zona franca que oferece incentivos fiscais e aduaneiros para empresas instaladas no local, com o objetivo de estimular o desenvolvimento econômico e comercial da região. Integrado ao CT-E, encontra-se o principal centro logístico da empresa nas Américas, responsável por receber produtos provenientes de fábricas internacionais e redistribuí-los para os mercados canadense e mexicano.

Inaugurado em novembro de 2021, o CT-E ocupa um edifício comercial que também abriga o centro logístico e um escritório regional de suporte às equipes locais. O espaço dispõe de salas de treinamento, um centro de reparo de produtos de automação e robótica, além de áreas destinadas à recepção de clientes (*welcome area*) e à exposição de tecnologias. As áreas

de exposição encontram-se divididas em dois ambientes: um dedicado exclusivamente aos robôs móveis autônomos (AMR) e outro voltado às demais soluções, incluindo robôs industriais e colaborativos, sistemas de controle de máquinas e tecnologias de sensoriamento, entre outras.

A área total destinada ao CT-E é de aproximadamente 1.500m², configurando-o como o maior Centro Tecnológico da empresa nas Américas. O projeto contou com um orçamento estimado em US\$2 milhões e um cronograma de execução de cerca de um ano e meio.

Durante a cerimônia de inauguração, o então CEO da empresa para as Américas destacou, em entrevista à imprensa, o papel estratégico do CT-E no fortalecimento da presença da companhia no continente, enfatizando seu potencial para acelerar o desenvolvimento de soluções tecnológicas em parceria com clientes da região. Na ocasião da inauguração, o então CEO das Américas da empresa concedeu uma entrevista, na qual afirmou:

“... a empresa está empenhada em melhorar a eficiência e o desempenho geral, permitindo que os clientes experimentem e testem tecnologia de automação de fábrica de última geração antes da implementação. Os CTs fornecem demonstrações práticas de tecnologia, treinamento técnico, experiência no setor/aplicação e estudos de viabilidade para tecnologias avançadas de detecção, robótica e automação”. “Os CTs são o local onde os nossos clientes podem testar soluções em ambientes realistas e ver como tornam as máquinas, as linhas de produção e até as empresas inteiras mais seguras e eficientes. Mas, o mais importante, é onde os nossos engenheiros, clientes e integradores se reúnem localmente para colaborar, debater e inovar.”

O CT-D conta com duas áreas principais destinadas às demonstrações. A primeira consiste em um salão amplo que abriga nove células de manufatura, distribuídas da seguinte forma: uma célula composta por robô colaborativo integrado a um sistema de seleção de peças por visão computacional; duas células com robôs do tipo SCARA, também integrados a câmeras; três células com robôs do tipo Delta, igualmente equipadas com sistemas de visão; uma máquina com eixo cartesiano XYZ; e uma máquina dedicada à inspeção de qualidade e leitura de códigos de barras (1D) e *Data Matrix* (2D), replicada posteriormente nos CT-E e CT-F. Todas essas máquinas estão posicionadas na área central do salão.

Nas paredes laterais, encontram-se bancadas expositivas contendo painéis para demonstração de sensores em *IO-Link (IoT)*, componentes de automação, controladores de máquinas, dispositivos de segurança e uma máquina que simula o processo de selagem de

embalagens. Ressalta-se que, embora essas tecnologias estejam fisicamente dispostas no mesmo ambiente, elas não se encontram integradas, sendo operadas de forma individualizada.

Não há um roteiro padrão para as demonstrações realizadas neste espaço. As apresentações são conduzidas de forma adaptativa, a partir das demandas e interesses específicos dos visitantes, de modo que nem todas as tecnologias são necessariamente demonstradas em cada atendimento. Essa flexibilidade também se aplica aos robôs móveis, que não são incluídos automaticamente no percurso de visita.

A segunda área de demonstração é dedicada exclusivamente aos robôs móveis autônomos (AMRs) e está separada da primeira por uma porta industrial automática. Trata-se de um espaço amplo, projetado para permitir a movimentação dos robôs em diferentes trajetórias. O ambiente contém blocos plásticos utilizados para simulação de obstáculos e uma estação central de controle, a partir da qual é demonstrado o software de gestão de frota, exibindo rotas, status e coordenação dos robôs, projetados simultaneamente em dois televisores de 60 polegadas.

Ao todo, seis modelos de AMRs estão disponíveis para demonstração, com capacidades de carga variando entre 90kg, 250kg, 650kg e 1.500kg, possibilitando a apresentação de diferentes cenários de movimentação de materiais industriais. Além disso, essa área inclui uma máquina que simula um portal de identificação automática de embalagens por meio de sistemas de visão, recurso comumente empregado em operações logísticas para classificação e rastreamento de volumes com diferentes formatos.

A Figura 21 apresenta imagens das duas áreas de demonstração do CT-D.

Figura 21*Imagens do CT-E e equipamentos disponíveis**Nota. Elaborado pelo autor (2025)*

No CT-D, não há um roteiro pré-definido para a condução das demonstrações. A apresentação das tecnologias é ajustada conforme as demandas e expectativas dos visitantes, de modo que os dispositivos são demonstrados individualmente e nem sempre todas as soluções disponíveis são exibidas, incluindo os robôs móveis autônomos.

As demonstrações são conduzidas por diferentes equipes técnicas, embora o processo de agendamento dos atendimentos siga o mesmo protocolo adotado nos demais Centros Tecnológicos, com o uso do *points plan* para registrar as necessidades, expectativas e desafios dos clientes.

A coleta de dados ocorreu entre 2 e 6 de dezembro, período em que o pesquisador acompanhou a rotina dos colaboradores e realizou três entrevistas em profundidade. Também foi conduzida uma observação não participativa durante uma visita com cliente, além do registro de anotações de campo e conversas informais. O colaborador C5.E1, líder do CT-E, foi entrevistado duas vezes devido ao seu papel estratégico como gestor operacional dos Centros Tecnológicos da América do Norte, tendo atuado diretamente ou indiretamente no desenvolvimento dos projetos de todos os CTs da região, incluindo como gerente de projeto dos CT-C e CT-E.

Ao tratar da gestão de barreiras à adoção das tecnologias demonstradas, o entrevistado C5.E1 observou que “alguns clientes apresentam resistência devido à familiaridade prévia com

marcas específicas ou por seguirem diretrizes corporativas padronizadas, que restringem a substituição de determinados fornecedores”. Nessas situações, ele relatou que “evita insistir na apresentação de controladores de máquinas, concentrando-se em tecnologias com menor resistência percebida, como robótica e visão computacional”.

O entrevistado C5.E2, responsável pelas demonstrações dos AMRs, destacou que “busca reduzir barreiras relacionadas à complexidade técnica convidando os visitantes a interagir diretamente com o software de programação e executar atividades práticas (*hands-on*)”. Segundo ele, essa abordagem contribui para desmistificar a tecnologia, ainda pouco difundida no mercado. Apesar disso, ambos reconheceram que não existe um processo estruturado para a identificação e gestão sistemática dessas barreiras, conforme observou.

“Precisamos identificar qual é a dor do cliente e entender o que podemos oferecer de valor para atender essas necessidades, sem ultrapassar limites ou causar desconforto”. (C5.E1).

Quando questionados sobre a existência de um plano estruturado para o engajamento dos clientes durante as visitas, os entrevistados afirmaram que não há um processo formalizado com essa finalidade. As ações adotadas para estimular o engajamento são, portanto, individuais e variam conforme o colaborador responsável pela demonstração. Nesse sentido, o entrevistado C5.E1 enfatizou que:

“... se o cliente não demonstra interesse por determinado tema, entende-se que o ideal é seguir adiante. Insistir em abordar todos os tópicos, mesmo quando não há interesse, é um erro que pode comprometer a efetividade da apresentação.”

No que se refere à atuação do entrevistado C5.E2, observou-se que ele “busca mitigar barreiras técnicas e de complexidade por meio da apresentação prática do software de programação, complementada por atividades de *hands-on*, com o objetivo de demonstrar a facilidade operacional e reduzir percepções de dificuldade por parte dos visitantes”.

4.4.1.6. Caso de estudo 6 – Centro Tecnológico F

O sexto estudo de caso apresenta uma configuração distinta dos demais, pois, no momento da coleta de dados, o Centro Tecnológico F (CT-F) ainda não havia sido inaugurado, encontrando-se em fase final de implementação. Dessa forma, não havia histórico de visitas de clientes, motivo pelo qual a análise concentrou-se na avaliação dos documentos preliminares, no planejamento projetual e nas perspectivas de atendimento e engajamento dos visitantes.

O CT-F está localizado na cidade de Greer, no estado da Carolina do Sul, em uma região caracterizada pela presença de centros de manufatura de segmentos como têxtil, automotivo, químico e plástico, aviação, farmacêutico, biotecnologia e dispositivos médicos. O complexo empresarial no qual o CT-F está inserido abriga, adicionalmente, uma planta de manufatura de produtos eletrônicos para automação, um centro logístico e escritórios corporativos.

Durante a coleta de dados, observou-se que, embora o CT-F já dispusesse de equipamentos e dispositivos para demonstrações, muitos deles ainda demandavam programação e ajustes técnicos. Ademais, o ambiente físico encontrava-se em fase de organização, incluindo a necessidade de instalação de elementos de comunicação visual e identidade corporativa. Entre os dispositivos disponíveis destacam-se: três células robotizadas; equipamentos para demonstração de visão computacional; um sistema de Inteligência Artificial Industrial; uma célula com robô colaborativo e sensor tridimensional; um painel destinado à tecnologia de IIoT e redes industriais; além de dispositivos complementares para demonstrações de controle de máquinas, movimentação e segurança.

As entrevistas foram conduzidas com o líder do CT-F (C6.E1) e um engenheiro responsável pela operacionalização técnica da infraestrutura (C6.E2). Segundo ambos, um roteiro preliminar de demonstrações foi desenvolvido ainda na fase de projeto, servindo como base para definição do *layout* e para a seleção das tecnologias que compõem o ambiente. Assim como nos demais Centros Tecnológicos analisados, está prevista a adoção do procedimento de agendamento fundamentado no documento “*points plan*”. A Figura 22 ilustra a configuração física do CT-F.

demonstrações. Os entrevistados confirmaram a existência de um roteiro previamente definido; contudo, ressaltaram a ausência de uma estratégia estruturada para a condução das demonstrações, limitando-se a uma sequência pré-estabelecida de apresentação das tecnologias.

O líder identificado como C6.E1 afirmou: “temos um plano básico, mas acredito que haverá customizações conforme o interesse dos clientes”. O roteiro, estruturado em quatro etapas, inicia-se com a apresentação de soluções industriais voltadas aos setores de alimentos e bebidas, veículos elétricos e operações logísticas. A segunda etapa corresponde à demonstração da tecnologia *Sysmac-Wall*, plataforma de integração tecnológica da empresa. Nessa fase, apresenta-se o conceito da solução, justificando a escolha das redes industriais utilizadas e destacando os diferenciais da plataforma frente aos concorrentes.

Na terceira etapa, são demonstradas soluções baseadas em robôs industriais e colaborativos. Por fim, a quarta etapa contempla tecnologias associadas à visão computacional, ao controle avançado de movimento de eixos sincronizados e à segurança de máquinas. O roteiro prevê, ainda, o uso de uma mesa de reuniões para discussão de oportunidades e aprofundamento técnico das demandas identificadas, bem como a utilização de televisores ao longo do percurso para apoio visual. No entanto, não há padronização quanto ao conteúdo audiovisual empregado, cuja seleção fica sob responsabilidade da equipe de marketing.

Ambos os entrevistados enfatizaram a importância de manter flexibilidade no roteiro, evitando a apresentação de tecnologias que não despertem interesse nos visitantes, o que poderia gerar desengajamento. O entrevistado C6.E2 destacou que: “não devemos ter receio de improvisar e ajustar o roteiro conforme o interesse do cliente”. Ele argumenta que aprofundar a exposição de tecnologias que suscitem maior curiosidade contribui para uma experiência mais significativa. Como referência, citou o Centro Tecnológico de Dallas, que prioriza as tecnologias de interesse direto do visitante, tornando o roteiro mais dinâmico e reduzindo o risco de perda de engajamento ao longo da visita.

Por fim, ambos os entrevistados relataram a inexistência de processos formais ou estruturados para a gestão das barreiras à adoção das tecnologias demonstradas, indicando que a abordagem para lidar com essas resistências permanece dependente de iniciativas individuais dos colaboradores envolvidos.

4.4.1.7. Caso de estudo 7 – Centro Tecnológico G

O sétimo e último estudo de caso foi conduzido no Centro Tecnológico G (CT-G), na cidade de Pleasanton, estado da Califórnia. O CT-G faz parte da unidade robótica e no período o qual foi realizada a coleta de dados, o CT ainda se encontrava em fase de planejamento dos projetos. O estado da Califórnia tem o maior produto interno dos Estados Unidos, que representa 14,2% do país⁶. O local destinado à instalação do CT-G corresponde à unidade de robótica da empresa, onde estão alocados os times de serviços, marketing e vendas, bem como as equipes de desenvolvimento e validação de novos produtos. Essa unidade também abriga uma planta fabril responsável pela montagem de equipamentos voltados à segurança de máquinas, como *scanners* de área e cortinas de luz, além de robôs móveis autônomos e as respectivas baterias. A área inicialmente aprovada para o CT-G é de 272 m², embora o orçamento estimado para o projeto não tenha sido divulgado. O entrevistado C7.E1 foi designado como responsável pela elaboração do pré-projeto do CT-G e conduzia o planejamento em conjunto com outras áreas da empresa.

A coleta de dados ocorreu entre os dias 13 e 17 de janeiro de 2025. Durante esse período, o pesquisador acompanhou o gerente de projetos, visitou a área reservada para construção do CT-G e analisou o plano de desenvolvimento do projeto. O foco principal da coleta foi compreender como a etapa de planejamento estava sendo conduzida e verificar se aspectos relacionados à gestão de barreiras de adoção tecnológica e ao engajamento dos clientes estavam sendo considerados desde o pré-projeto. O entrevistado apresentou detalhadamente a primeira versão do plano do CT-G, bem como o espaço físico destinado ao centro.

Segundo o entrevistado C7.E1, sua proposta para o planejamento do CT incluiu a incorporação de funcionalidades demonstrativas baseadas em sua experiência prévia com aplicações reais. Embora ainda não houvesse um roteiro formal de apresentação definido, o projeto contemplava a realização de demonstrações funcionais voltadas à facilitação da compreensão das tecnologias.

Entre os exemplos previstos estavam interações entre robôs utilizando comunicação máquina a máquina (*machine-to-machine* – M2M), permitindo que dispositivos trocassem informações automaticamente e executassem ações sem intervenção humana. Essas interações envolviam robôs móveis autônomos integrados a elevadores, sistemas de abertura automática de portas, sistemas de paletização, esteiras transportadoras e softwares de gerenciamento e

⁶ <https://geopoliticalfutures.com/u-s-gross-domestic-product-by-region-as-of-q1-2016/>

monitoramento de produção (*Enterprise Resource Planning* – ERP). As aplicações foram concebidas para atender demandas de distintos segmentos industriais e centros logísticos, incorporando diferentes tecnologias de robótica.

“Essa é uma forma de chamar a atenção dos clientes e apresentar funções que nem sempre são devidamente exploradas pelos times de vendas e marketing. Explorar essas tecnologias aumenta a confiança do cliente na marca, pois ele tem acesso a uma demonstração funcional, e não apenas a uma explicação verbal, vídeo ou catálogo.” (C7.E1).

Durante a visita à área destinada à construção do CT-G, o pesquisador registrou em diário de campo os detalhes apresentados pelo entrevistado. Nesse contexto, C7.E1 relatou uma situação que o deixou insatisfeito: ao submeter a primeira versão do projeto para aprovação, “o orçamento referente à instalação de um elevador funcional não foi autorizado”. Segundo o entrevistado, “um dos diretores envolvidos no processo de aprovação sugeriu substituir a funcionalidade real por um vídeo demonstrativo”.

Para C7.E1, tal decisão foi considerada inadequada, pois o propósito do Centro Tecnológico é viabilizar demonstrações práticas e a realização de provas de conceito. Assim, “a ausência de um elevador operacional reduziria significativamente o potencial de experimentação e de validação de soluções integradas, especialmente no que se refere à comunicação máquina a máquina (M2M) entre robôs móveis e sistemas de movimentação vertical”.

4.4.2. Planejamento de *front-end* dos Centros Tecnológicos

A coleta de dados em campo sobre o planejamento de *front-end* dos projetos dos Centros Tecnológicos constituiu um elemento central para esta pesquisa. O planejamento de *front-end* (*front-end planning* – FEP) corresponde ao processo realizado nos estágios iniciais de um projeto e envolve o desenvolvimento de informações estratégicas suficientes para que os responsáveis pela iniciativa possam antecipar riscos e tomar decisões fundamentadas sobre a alocação de recursos, visando maximizar o potencial de sucesso do empreendimento (Gibson *et al.*, 1995; Rahbar & Avalon, 2023). Nesse sentido, o Construction Industry Institute (2014) define o FEP como “o processo por meio do qual os proprietários desenvolvem informações

estratégicas suficientes para lidar com riscos e comprometer recursos a fim de maximizar o sucesso do projeto”. A literatura também utiliza o termo pré-projeto para se referir a essa fase (Gibson *et al.*, 1995).

O roteiro de entrevistas aplicado aos líderes dos projetos dos Centros Tecnológicos incluiu questões sobre o planejamento de pré-projeto, com o propósito de compreender como ocorreram o planejamento dos CTs e a seleção das tecnologias incorporadas.

Entre os achados, identificou-se a ausência de um processo estruturado de planejamento de *front-end*, bem como um tratamento negligente desta etapa por parte de alguns líderes de projeto. Outro achado relevante foi a atuação de um gestor que contribuiu diretamente em seis dos sete CTs analisados. Esse profissional participou da concepção, execução e operação do primeiro CT desenvolvido pela empresa nas Américas e, em razão dessa experiência e de sua *expertise* técnica, foi promovido a uma posição estratégica de gestão dos Centros Tecnológicos. Sua atuação abrangeu desde a idealização até a aprovação financeira, o pré-projeto e a operação de seis CTs. No período da coleta de dados, ele atuava como líder do CT-E, localizado em Dallas.

4.4.2.1. Planejamento de *front-end* CT-A

A principal motivação para a implantação do CT-A originou-se da área comercial, com o objetivo de atender demandas de clientes da região e apoiar as vendas de tecnologias relacionadas à Indústria 4.0 por meio de demonstrações e provas de conceito, mitigando riscos associados a projetos complexos de automação industrial. O processo decisório foi centralizado em nível executivo, que designou o atual líder do CT-A como responsável pela condução do projeto.

Na etapa de planejamento de *front-end*, foi desenvolvido um estudo preliminar contendo estimativas de orçamento e cronograma de execução. Após a aprovação financeira, procedeu-se ao detalhamento do escopo de engenharia, incluindo a definição das máquinas e tecnologias destinadas às demonstrações. Não foram identificadas, entretanto, evidências de incorporação dos atributos de persuasão do *Diffusion of Innovations* (DoI) no planejamento de *front-end* do projeto, conforme observado pelo entrevistado.

“...para ser justo, tivemos algumas considerações sobre a experiência do cliente dentro deste ambiente, mas não muitas. Consideramos as tecnologias conforme a

disponibilidade, telas com vídeos de soluções e, principalmente, uma identidade visual da marca”. (C1.E1)

O processo de seleção das tecnologias considerou o perfil dos clientes, majoritariamente empresas automotivas. O gestor do projeto influenciou fortemente as decisões técnicas e escopo do projeto, que teve nível baixo de formalização das etapas, conforme pode ser observado.

“... o CT tem objetivo de realizar provas de conceito e não apenas para demonstrações, por isso é mais feio e bagunçado”. (C1.E1)

4.4.2.2. Planejamento de *front-end* CT-B

A motivação para a implantação do CT-B originou-se de demandas comerciais relacionadas ao suporte a clientes da região, especialmente por meio de provas de conceito e demonstrações de tecnologias associadas à Indústria 4.0. O CT-B está localizado na região metropolitana de Detroit, reconhecida como o principal pólo mundial da cadeia automotiva e de mobilidade.

Esse contexto justificou o investimento na localidade e orientou o perfil tecnológico do Centro, uma vez que a seleção das soluções de automação foi direcionada para atender às necessidades do público-alvo. Em razão disso, priorizaram-se robôs do tipo Scara e *cobots*, amplamente empregados no setor automotivo, em detrimento de robôs Delta, mais utilizados nos segmentos de alimentos, bebidas e farmacêutico.

O processo decisório do projeto foi centralizado em nível executivo, incluindo a participação do gerente regional de vendas, responsável pela solicitação do orçamento. O atual líder do CT-B, que anteriormente atuava como gerente global de contas automotivas, foi designado como gestor do projeto. Sua influência estendeu-se de forma significativa ao longo de toda a execução, incluindo atividades operacionais, como a instalação de infraestrutura e a aquisição de equipamentos. Assim como observado nos demais Centros Tecnológicos analisados, o gestor detinha autonomia para a seleção das tecnologias, adotando como principal critério a adequação às demandas da indústria automotiva, ainda que tais tecnologias também fossem aplicáveis a outros segmentos industriais.

Não foram identificadas evidências de uma fase formal de planejamento de *front-end*. Essa ausência pode estar associada, entre outros fatores, ao baixo nível de maturidade do gestor do projeto no que se refere à condução de processos estruturados de pré-projeto. Constatou-se

que, após a aprovação financeira, o gestor desenvolveu o escopo de engenharia com o apoio de engenheiros de automação, realizando, então, a seleção das máquinas e tecnologias destinadas às demonstrações, conforme observado.

“Entender seu mercado e ter seu CT centrado no mercado, eu achei que era muito importante. Como eu disse, não é dinheiro infinito, então você tem que escolher suas batalhas ou escolher seu nicho e dizer de qual preciso mais.” (C2.E1)

“...o panorama geral é entender o que seu mercado precisa, o que você está vendo no mercado.” (C2.E1).

4.4.2.3. Planejamento de *front-end* CT-C

O CT-C foi o primeiro Centro Tecnológico implantado nas Américas, concebido a partir de modelos europeus, inclusive no que se refere à adoção das tecnologias utilizadas nessas unidades. Sua criação foi motivada pela necessidade de atender clientes da América do Norte, promover as tecnologias da empresa por meio de provas de conceito e demonstrações, além de capacitar equipes técnicas nas soluções desenvolvidas corporativamente.

O processo de planejamento de pré-projeto, identificado pelo pesquisador, foi descrito pelo entrevistado C3.E1. Segundo seu relato, “a ideia inicial de construção do CT-C emergiu após o presidente da companhia, sediado no Japão, destacar a necessidade de criar centros tecnológicos globais e formar equipes de engenheiros altamente capacitados nas tecnologias existentes”.

A partir dessa orientação estratégica, os CEOs da Europa e das Américas decidiram investir na implantação dos Centros Tecnológicos. Com base nessa decisão, o entrevistado C5.E1 elaborou um plano de negócios contendo a proposta orçamentária do novo CT, que foi aprovada pelo CEO das Américas. Após a aprovação, C3.E1 foi nomeado gerente do projeto e iniciou o detalhamento técnico, incluindo a definição de escopo e especificações de engenharia.

A implementação envolveu a montagem e a programação de sistemas realizada integralmente por engenheiros da própria empresa, sendo adquiridos de terceiros apenas documentos de detalhamento de engenharia, esquemas elétricos e estruturas mecânicas das máquinas. As primeiras tecnologias incorporadas ao CT-C foram voltadas à automação

industrial, tais como visão computacional, controladores programáveis e controladores cinemáticos, empregados na operação de robôs do tipo paralelo.

Dez meses após a inauguração, a empresa adquiriu uma companhia especializada em robótica, reconhecida por suas soluções em robôs móveis autônomos (AMR) e robôs industriais fixos de alta performance. Com essa aquisição, o CT-C foi atualizado para incorporar as novas tecnologias. O entrevistado ressaltou, entretanto, que não houve planejamento prévio quanto ao modelo de demonstração das tecnologias nem à integração entre elas.

4.4.2.4. Planejamento de *front-end* CT-D

A motivação para a construção do CT-D decorreu da decisão de integrar duas unidades localizadas em cidades vizinhas, pertencentes a empresas adquiridas entre 2015 e 2017. Com a unificação em uma única instalação, foi reservado um espaço para a criação do CT-D, inaugurado no início de 2020, pouco antes da pandemia de COVID-19.

O entrevistado C4.E1 relatou que, durante a inauguração, “o CEO expressou insatisfação com o resultado obtido”. A primeira versão do CT-D foi considerada simples e pouco profissional, não atendendo às expectativas estratégicas da alta gestão. Diante disso, decidiu-se realizar uma reforma e atualização da unidade. Nesse contexto, C4.E1 foi designado gerente do projeto de renovação. As obras ocorreram durante o período pandêmico, e o centro foi reinaugurado em março de 2023.

O projeto de renovação incluiu a modernização de áreas corporativas, visando criar um ambiente visualmente contemporâneo e adequado para recepção de clientes e parceiros. O entrevistado, que possui experiência em gestão de projetos, afirmou ter conduzido o planejamento do pré-projeto; contudo, o pesquisador não identificou evidências documentais ou metodológicas que caracterizassem um processo estruturado. A estimativa orçamentária foi elaborada com base em experiência prévia do gestor em projetos similares e posteriormente aprovada pelo CEO.

Após a aprovação, o gerente envolveu a equipe de marketing para desenvolver a comunicação visual do espaço. Foram planejadas intervenções como tratamento acústico para melhoria da sonoridade e a criação de uma área de recepção com monitores exibindo vídeos institucionais, incluindo a história, missão e valores da empresa.

Observou-se planejamento específico para a demonstração da tecnologia de IIoT, inspirado no modelo adotado no CT-B, com um painel integrado de sensores conectados em rede, cujos dados são apresentados em *dashboard online* desenvolvido no Microsoft Power BI.

4.4.2.5. Planejamento de *front-end* CT-E

O Centro Tecnológico de Dallas (CT-E) é o maior da empresa nos Estados Unidos. Sua criação foi impulsionada por uma decisão estratégica de estabelecer um centro de distribuição único para atender ao mercado norte-americano. A partir dessa definição, discutida pela equipe executiva, propôs-se a implantação de um Centro Tecnológico de referência.

Foi elaborado um plano de negócios e apresentado ao CEO, identificado pelos entrevistados como o principal patrocinador estratégico dos Centros Tecnológicos. Todos os CTs atualmente existentes nas Américas foram implementados após sua entrada na empresa. O entrevistado C5.E1, gerente do projeto do CT-E, explicou que “o CEO exige que os planos de negócio incluam estimativas de orçamento, cronograma, área construída, justificativas estratégicas, proposta de valor para os clientes e projeções para o crescimento das vendas”.

Após a aprovação orçamentária, o entrevistado desenvolveu o escopo técnico, realizou o detalhamento de engenharia e buscou otimizar recursos por meio da transferência de máquinas de outros Centros Tecnológicos. O pesquisador identificou elementos de planejamento de pré-projeto, embora não estruturados. Contudo, não foram observadas práticas sistematizadas para o planejamento das demonstrações das tecnologias. O entrevistado destacou: “Eu, como engenheiro, vejo como maior valor do CT treinar engenheiros e realizar provas de conceito, enquanto o diretor comercial está focado em vender mais”.

As demonstrações passaram a ser organizadas em sete categorias correspondentes às linhas de soluções da empresa: sensores, componentes industriais, componentes de segurança de máquinas, visão computacional, robótica e robótica móvel. Para clientes novos ou em primeiras visitas, a apresentação inicia-se pela história, missão e presença global da empresa, devido à necessidade de reforçar sua reputação frente à concorrência.

O entrevistado também relatou a adoção do processo de agendamento baseado na ferramenta LEAD (*Listen, Evaluate, Answer, Deliver*), centrada na abordagem consultiva. Em 2022, a empresa treinou sua força de vendas nesse modelo, resultando na adoção do formulário *points plan* como preparação prévia às visitas, incluindo objetivo da reunião e diagnóstico preliminar das necessidades do cliente.

4.4.2.6. Planejamento de *front-end* CT-F

A decisão de implantação do CT-F foi fundamentada na necessidade de atender empresas de manufatura da região Sul dos Estados Unidos, especialmente nos estados da Geórgia, Carolina do Norte, Carolina do Sul e Flórida. Até então, quando havia demanda por demonstrações tecnológicas ou realização de provas de conceito, os clientes eram encaminhados ao Centro Tecnológico localizado em Cincinnati, Ohio, o que implicava deslocamentos variando entre 700 e 1.800 km. A decisão também convergiu com a estratégia corporativa de realocar uma fábrica situada em Renton, Washington, para a cidade de Greer, na Carolina do Sul, o que facilitou a aprovação do projeto.

A realocação da fábrica ocorreu entre janeiro e maio de 2024, voltada à produção de controladores de máquinas e leitores de códigos 1D/2D. A inauguração do CT-F havia sido inicialmente prevista para abril de 2025, porém o cronograma foi postergado devido ao desligamento de *stakeholders* envolvidos no desenvolvimento de dispositivos de demonstração. O líder do projeto, que também será responsável pela operação do CT-F, possui mais de 26 anos de experiência em automação industrial e formação em engenharia. Sua escolha deveu-se à residência na cidade de Charlotte (cerca de 150 km do CT) e à liderança de uma equipe de engenheiros com experiência em projetos de campo e suporte técnico às soluções corporativas.

O gestor do projeto foi envolvido apenas após a decisão executiva de construção e aprovação orçamentária. A ele coube operacionalizar a seleção e movimentação de máquinas e dispositivos provenientes exclusivamente de outros Centros Tecnológicos, sem investimento em novos equipamentos. Assim, o CT-F foi configurado por meio de realocação de ativos internos, com o objetivo de atender à demanda regional.

No desenvolvimento do pré-projeto, não foram observadas ações coordenadas de planejamento, tampouco o planejamento das demonstrações das tecnologias. Apenas foi elaborado o roteiro de atendimento ao visitante, sem definição da interação planejada entre clientes e as soluções em exposição. Instalaram-se treze televisores distribuídos pelo espaço, porém não havia estratégia definida para seu uso.

Ao ser questionado, o líder afirmou que “a exibição seria composta por vídeos promocionais, cuja seleção seria alinhada posteriormente com a equipe de marketing”. De modo semelhante, a identidade visual do espaço ainda não havia sido planejada ou concebida em conjunto com essa equipe.

4.4.2.7. Planejamento de *front-end* CT-G

No momento da coleta de dados, o CT-G encontrava-se em fase de planejamento de pré-projeto. Sua construção estava prevista para ocorrer na unidade de robótica localizada em Pleasanton, Califórnia. A motivação para sua criação baseou-se na decisão estratégica de separar as unidades de automação e robótica, estabelecendo um Centro Tecnológico dedicado exclusivamente às soluções robóticas. A unidade de Pleasanton abriga uma planta fabril de robôs móveis autônomos (AMR), além do escritório central das operações de robótica nas Américas, reunindo equipes de desenvolvimento, serviços, marketing e vendas.

O processo de pré-projeto incluiu a elaboração de uma primeira versão da proposta, acompanhada de estimativa orçamentária. Essa versão foi analisada pela equipe executiva responsável, que aprovou o empreendimento, porém rejeitou parcialmente algumas funcionalidades previstas. O orçamento aprovado não foi divulgado pelo entrevistado.

Diante dessa decisão, o gerente de projeto (entrevistado C7.E1) iniciou a revisão do escopo, a fim de adequá-lo ao orçamento autorizado, com a previsão de reapresentar a proposta ao conselho executivo. Após a aprovação final, seriam conduzidos o detalhamento de engenharia, a contratação de fornecedores e a execução do projeto. O prazo estimado para conclusão variava entre seis e oito meses após a aprovação definitiva.

O pré-projeto contemplava áreas para demonstrações e provas de conceito envolvendo diferentes robôs. Embora não tenham sido identificadas iniciativas formais de integração interdepartamental para apoiar o desenvolvimento das soluções, observou-se um esforço deliberado do gerente de projeto em planejar a apresentação das tecnologias, buscando ressaltar funcionalidades que frequentemente não são plenamente exploradas pelas equipes de vendas e marketing. Segundo o entrevistado, demonstrações funcionais fortalecem a percepção de valor e aumentam a confiança do cliente na marca, superando abordagens baseadas apenas em explicações verbais, catálogos ou vídeos.

4.4.3. Interações das tecnologias industriais avançadas nos Centros Tecnológicos

Esta seção tem como objetivo analisar a interação dos visitantes com as tecnologias industriais avançadas nos CTs. Fundamentada na etapa de persuasão do modelo *Diffusion of Innovations* (DoI) (Rogers, 2003), busca-se compreender como essas tecnologias são apresentadas, percebidas e utilizadas durante visitas, demonstrações e provas de conceito, bem como identificar os benefícios, relacionando-os aos atributos de persuasão.

Os processos de demonstração e prova de conceito observados nos CTs estão diretamente associados aos atributos percebidos da inovação, característicos da etapa de persuasão do DoI. Nessa etapa, o indivíduo responsável pela decisão de adoção busca informações que reduzam incertezas sobre a tecnologia e permitam avaliar suas vantagens e limitações (Rogers, 2003). Esse processo envolve a análise de benefícios, custos e potencial retorno do investimento, influenciando a decisão de adoção ou rejeição (Padyab *et al.*, 2020).

Durante as demonstrações observadas, verificou-se que os atributos de persuasão emergem de diferentes modos, tais como:

- (a) a apresentação das vantagens relativas da tecnologia e seu grau de inovação;
- (b) a mediação da complexidade, muitas vezes por meio de explicações simplificadas ou demonstrações práticas; e
- (c) a possibilidade de interação direta do visitante com a tecnologia, favorecendo a construção de significado e confiança no uso.

Os dados empíricos analisados, provenientes de observações não participativas e entrevistas, corroboram a presença desses elementos na interação dos visitantes com as tecnologias demonstradas nos CTs.

4.4.3.1. Vantagem relativa

A demonstração da vantagem relativa variou entre os CTs. No CT-B, observou-se um processo estruturado baseado em um roteiro de visita que simula um processo de manufatura dividido em etapas sequenciais. Ao final, um *dashboard* apresenta indicadores de eficiência operacional (*Overall Equipment Effectiveness* - OEE), permitindo ao visitante visualizar o funcionamento integrado das tecnologias demonstradas e compreender os benefícios decorrentes dessa integração. Essa abordagem facilita a identificação de ganhos potenciais e auxilia na reflexão sobre o impacto da adoção tecnológica.

No CT-D, há uma solução de IIoT apresentada por meio de um painel conectado a um *dashboard*, ilustrando a coleta e análise de dados em tempo real. Essa demonstração possibilita discussões sobre ganhos operacionais e financeiros em comparação a alternativas de sensoriamento discreto. Um processo semelhante estava planejado para o CT-F, que também previa a instalação de um painel de IIoT com finalidade demonstrativa.

4.4.3.2. Complexidade

No CT-A, durante uma visita observada, foi demonstrada a tecnologia de robôs móveis autônomos (AMR). O engenheiro responsável explicou o funcionamento da solução e apresentou um exemplo prático simplificado, comparando o controle do robô ao de um brinquedo de controle remoto. A estratégia permitiu reduzir a percepção de complexidade e tornar o entendimento mais acessível ao cliente.

Situação semelhante foi observada no CT-E, onde o visitante foi convidado a realizar pessoalmente a programação do robô, com suporte do engenheiro responsável. A atividade prática aumentou o engajamento e facilitou a compreensão da lógica operacional da tecnologia, reduzindo percepções de dificuldade.

No CT-B, identificou-se um processo estruturado de demonstração no qual diferentes tecnologias estão integradas e interagem entre si. Tal prática reforça a compreensão da viabilidade da integração industrial, além de favorecer a experimentação direta pelo visitante. Essas abordagens configuram estratégias eficazes para lidar com a percepção de complexidade tecnológica.

4.4.3.3. Compatibilidade

A compatibilidade foi observada principalmente na adequação das demonstrações às necessidades específicas dos clientes. No CT-A, por exemplo, durante a demonstração de AMRs, um cliente relatou desafios decorrentes de mudanças frequentes no layout de fábrica. A resposta do engenheiro, apoiada em recursos audiovisuais, destacou a capacidade do sistema de atualização dinâmica de mapas, o que levou o cliente a reconhecer a aplicabilidade da solução à sua realidade operacional.

No CT-G, o pré-projeto contemplava soluções de robótica alinhadas a demandas recorrentes da indústria manufatureira, tais como paletização, movimentação autônoma e seleção automática de peças, evidenciando preocupação com a compatibilidade das tecnologias ofertadas.

Por fim, observou-se como prática comum entre os CTs o pré-agendamento das visitas, que envolve o preenchimento de um formulário contendo informações sobre necessidades, desafios e objetivos do cliente. Quando utilizado de forma estratégica, esse instrumento orienta demonstrações mais alinhadas às expectativas e ao contexto organizacional do visitante, reforçando a percepção de compatibilidade entre a tecnologia e seu ambiente de aplicação.

4.4.3.4. Observabilidade

As ações de demonstração das tecnologias nos Centros Tecnológicos contribuem de maneira significativa para a observabilidade, uma vez que permitem aos visitantes testemunharem o funcionamento prático das soluções apresentadas. Um exemplo positivo é o CT-B, que conduz um tour simulado de um processo de manufatura industrial, integrando diferentes tecnologias. Essa abordagem pode acelerar a decisão de adoção, pois possibilita ao cliente explorar a solução em um ambiente guiado por especialistas, evitando a necessidade de realizar pesquisas de *benchmarking* no mercado.

Situação semelhante foi identificada no CT-D, onde um demonstrador de visão computacional simula aplicações destinadas à verificação de rastreabilidade e ao controle de qualidade de insumos farmacêuticos, como blisters, frascos e embalagens de medicamentos. No CT-G, destacam-se as demonstrações de aplicações robotizadas, que seguem lógica análoga. Essas práticas podem ser consideradas alinhadas às boas práticas de mercado, especialmente quando acompanhadas da indicação de organizações que já adotam as tecnologias, reforçando sua credibilidade e aplicabilidade.

4.4.3.5. Experimentação

Na indústria, processos de experimentação, como provas de conceito, são amplamente utilizados com o objetivo de mitigar riscos de implantação e reduzir incertezas, contribuindo para maior segurança na tomada de decisão (Ramos *et al.*, 2023). Em todos os CTs analisados, foram identificadas práticas associadas à experimentação, embora com diferentes graus de profundidade e intencionalidade.

No CT-B, observou-se um exemplo robusto de experimentação, que inclui atividades práticas (*hands-on*) com robôs colaborativos. Nessa atividade, os visitantes simulam um processo de parafusamento, seguindo as instruções de um sistema de controle que monitora a sequência, a posição e o torque aplicado. Tal prática aumenta o engajamento e favorece a compreensão da tecnologia em uso real.

Em contraste, no CT-A, observou-se que o atributo da experimentação poderia ser mais bem explorado. Durante uma visita, o cliente demonstrou interesse em compreender a complexidade da programação de um AMR, mas a demonstração limitou-se a explicações verbais e à exibição do programa em tela, sem proporcionar interação direta. De modo

semelhante, ao demonstrar as funções de segurança do robô, o apresentador o provocou a parada automática do equipamento, quando poderia ter convidado o cliente a realizá-la, favorecendo uma experiência mais significativa.

Esses casos indicam que o planejamento cuidadoso das oportunidades de experimentação é essencial para ampliar o entendimento e o envolvimento do cliente, potenciando a percepção de valor da tecnologia.

4.4.3.6. Visão geral centros tecnológicos

Embora todos os Centros Tecnológicos pertençam à mesma organização, foram identificados poucos processos padronizados, tanto na fase de planejamento quanto na dinâmica de demonstração diária e no tratamento de barreiras à adoção tecnológica. Em geral, a motivação para a criação dos CTs decorre de demandas comerciais regionais, como nos casos dos CT-A, CT-B e CT-C, ou de decisões estratégicas relacionadas à integração com unidades fabris e centros de pesquisa, como nos CT-D, CT-F e CT-G. Apesar dessas variações, todos os centros são concebidos como instrumentos de promoção de tecnologias industriais avançadas, entendidas como soluções que exigem processos de convencimento técnico estruturado.

Líderes com perfil orientado à gestão de projetos, como os responsáveis pelos CT-D e CT-G, demonstraram maior preocupação com o detalhamento das etapas de pré-projeto. Nos demais CTs, o desenvolvimento seguiu etapas fragmentadas, sem planejamento formal em termos de definição de escopo, orçamento, seleção tecnológica e estratégia de demonstração.

A maioria dos líderes não demonstrou interesse em planejar a apresentação das tecnologias de forma a facilitar a compreensão e antecipar barreiras de adoção. Exceções foram observadas nos CTs B e G, nos quais houve esforços deliberados para estruturar o processo de demonstração e explorar o potencial das tecnologias.

Ainda assim, foi possível identificar, nas demonstrações realizadas, atributos da fase de persuasão do modelo de Difusão de Inovações, especialmente relacionados à vantagem relativa e à complexidade tecnológica, frequentemente apoiados em exemplos práticos.

O CT-B se destacou por apresentar integração entre diferentes tecnologias e demonstrar preocupação explícita com a compreensão do cliente acerca dos benefícios para a produtividade. Esse centro é liderado por um gestor com perfil comercial, enquanto os demais CTs são majoritariamente liderados por engenheiros com abordagem técnica, marcadamente orientada aos aspectos operacionais das soluções. A Tabela 25 sintetiza os estudos de caso,

apresentando informações gerais sobre os centros, atividades conduzidas e elementos associados à liderança, ao planejamento prévio e às estratégias de demonstração tecnológica.

Tabela 25*Compilação dos Resumo Centros Tecnológicos*

Grupo dados	Principais itens compilados	Centro Tecnológico A	Centro Tecnológico B	Centro Tecnológico C	Centro Tecnológico D	Centro Tecnológico E	Centro Tecnológico F	Centro Tecnológico G
Geral	Cidade, Estado	Cincinnati, OH	Novi, MI	Hoffman Estates, IL	Amherst, NH	Dallas, TX	Greer, SC	Pleasanton, CA
Informações do Projeto	Área de demonstração	600m²	560m²	600m²	200m²	1500m²	372m²	272m²
	Orçamento projeto (aprox.)	US\$ 2 milhões	US\$ 1 milhões	US\$ 1 milhões	US\$ 650 mil	US\$ 2 milhões	US\$ 1 milhões	-
	Duração projeto	1 ano (primeira fase), 2 anos completo	6 meses (primeira fase), 1 ano completo	1 ano	7 meses	1 ano e meio	6 meses (em execução)	até 8 meses
	Ano de inauguração do CT	2018	2020	2014	2023	2021	TBD	2025
	Pleejamento de <i>fron-end</i> formal	Não houve planejamento do pré-projeto	Não houve planejamento do pré-projeto	Não houve planejamento do pré-projeto	Sim, porém informal	Não houve planejamento do pré-projeto	Não houve planejamento do pré-projeto	Sim, porém informal
Atividades realizadas pelo pesquisador	Entrevistas	3	3	4	3	2	2	1
	Observação direta das atividades	1	1	1	1	1	1	1
	Observação Não-participativa	1	0	0	1	1	0	0
Influência dos líderes	Perfil do líder	Engenheiro (experiencia de campo)	Comercial (experiência gestão contas globais)	Engenheiro (experiencia de campo)	Engenheiro (experiencia em gestão de projetos)	Engenheiro (experiencia de campo)	Engenheiro (experiencia de campo)	Engenheiro (experiencia em gestão de projetos)
Planejamento da exploração das tecnologias	Roteiro de demonstrações	Roteiro informal	Roteiro informal	Não há um roteiro definido.			Roteiro planejado	Não há um roteiro definido.
	Gestão de barreiras	Não há planos para gestão de barreiras da Indústria 4.0.						
Exploração das tecnologias	Gestão do engajamento ao longo das demonstrações.	Não há plano de engajamento	Demonstrações integradas e interação com clientes	Não há plano de engajamento dos clientes ao longo das demonstrações.				Demonstrações integradas e interação com clientes

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

4.5. DISCUSSÃO

Os achados da pesquisa revelaram elementos que extrapolam os atributos da fase de persuasão da Teoria da Difusão da Inovação (DoI), contribuindo para ampliar a compreensão dos fatores que influenciam a forma como as demonstrações das tecnologias industriais avançadas são conduzidas nos Centros Tecnológicos (CTs) analisados. A partir dos dados coletados, identificou-se um tripé que afeta diretamente a exploração dessas tecnologias junto aos visitantes:

- (i) o perfil e a influência do líder do CT;
- (ii) o planejamento das demonstrações; e
- (iii) a utilização estratégica dos atributos da persuasão durante as interações com os clientes.

4.5.1. Perfil dos líderes

Foram identificados três perfis distintos de liderança entre os CTs analisados. O perfil predominante é composto por engenheiros com longa experiência em automação industrial e tecnologias associadas à Indústria 4.0, caracterizados por uma abordagem pragmática e fortemente orientada aos aspectos técnicos. Em dois casos, observou-se uma variação desse perfil, marcada pela presença de competências consolidadas em gestão de projetos, com práticas de execução organizadas por etapas e foco em coordenação de equipes. Apenas um caso apresentou liderança com perfil comercial, orientada à compreensão das necessidades dos clientes e à articulação de soluções alinhadas às demandas específicas do mercado automotivo.

Esse resultado converge com estudos que destacam a evolução do papel dos gerentes de projetos na Indústria 4.0, exigindo competências técnicas, contextuais e comportamentais mais amplas (Ribeiro *et al.*, 2021). Os achados também corroboram Malach-Pines *et al.* (2007), ao demonstrar que a aderência entre o perfil do gerente e o tipo de projeto está associada a melhores resultados em termos de satisfação do cliente e desempenho geral. Além disso, as evidências reforçam a perspectiva de Gasemagha e Kowang (2021), segundo a qual competências de liderança, planejamento, gestão de equipes e habilidade para lidar com fatores contextuais constituem elementos-chave para o sucesso dos projetos.

Diante disso, este estudo adota uma concepção ampliada de sucesso de projeto, incorporando não apenas escopo, prazo e orçamento, mas também impacto no cliente, contribuição para o desempenho organizacional e preparação para o futuro, conforme

argumentado por Shenhar e Dvir (2007). Esses critérios revelam-se mais aderentes aos objetivos estratégicos dos CTs, cuja função é promover, difundir e sustentar a adoção de tecnologias industriais avançadas no longo prazo.

4.5.2. Planejamento de pré-projeto

Entre os sete CTs investigados, apenas o CT-D e o CT-G realizaram atividades associadas ao planejamento de pré-projeto, embora de forma não estruturada. A literatura indica que essa etapa, compreendida entre a concepção e a aprovação do investimento (Zwikael & Gilchrist, 2024), é determinante para reduzir obstáculos de execução (Faniran *et al.*, 2000) e estabelecer desde o início a coerência entre necessidades estratégicas, escopo, custos e cronograma (Gibson *et al.*, 2006).

O resultado central do pré-projeto é a decisão fundamentada de investimento, evitando retrabalhos e desperdícios de recursos (Hansen *et al.*, 2018). Por isso, a investigação do pesquisador buscou identificar se os líderes consideravam, já nessa fase, o modo de demonstração das tecnologias como parte integrante do escopo estratégico dos CTs. De modo geral, isso não ocorreu.

A única exceção significativa foi o CT-G, em que houve planejamento prévio da forma de demonstração, baseado na compreensão de que demonstrações práticas ampliam a confiança e reduzem incertezas técnicas, como relatado pelo entrevistado C7.E1

4.5.3. Planejamento dos atributos da persuasão

De forma consistente com o diagnóstico anterior, constatou-se ausência de planejamento estruturado das demonstrações nos CTs, particularmente no que se refere à articulação intencional dos atributos de persuasão do DoI. Na fase de persuasão, a comunicação de benefícios, limitações e custos da inovação é determinante para a formação de atitude favorável ou não à adoção (Rogers, 2003; Padyab *et al.*, 2020).

Apesar disso, foram observados, em todos os CTs, elementos da vantagem relativa, da experimentação, da complexidade e da compatibilidade emergindo espontaneamente durante as demonstrações. O CT-B se destacou por integrar esses atributos de maneira mais articulada, evidenciando benefícios operacionais e financeiros por meio de simulações realistas e oportunidades práticas de interação.

Essas evidências corroboram estudos que apontam que a experimentação, a observabilidade e a demonstração de vantagem relativa são fatores críticos para a adoção de tecnologias industriais avançadas (Padyab *et al.*, 2020; Simões *et al.*, 2020; Tortorella *et al.*, 2021).

Assim, conclui-se que integrar os atributos da persuasão de forma planejada ao escopo dos CTs, desde a seleção das tecnologias até o desenho das demonstrações, representa uma oportunidade concreta para ampliar a efetividade da difusão e adoção da Indústria 4.0, especialmente em contextos nos quais as decisões de investimento dependem de redução de incertezas técnicas e econômicas.

4.6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos resultados demonstrou que a questão central da pesquisa (Como os atributos de persuasão da Teoria da Difusão da Inovação se relacionam com a demonstração de tecnologias industriais avançadas em Centros Tecnológicos?) foi respondida a partir da interpretação dos processos de demonstração observados nos CTs estudados. O CT-B destacou-se por apresentar demonstrações que ultrapassam a dimensão estritamente técnica, ao evidenciar a viabilidade técnica e financeira das soluções, promovendo interações e simulações que facilitam a compreensão dos benefícios das tecnologias industriais avançadas por parte dos visitantes. Ainda que de forma não planejada, os cinco atributos da persuasão, estiveram presentes nas demonstrações analisadas.

Em relação ao objetivo específico de analisar como os atributos da persuasão influenciam a percepção, aceitação e decisão de adoção das tecnologias, verificou-se que esses elementos emergem mesmo na ausência de planejamento formal, indicando seu potencial para orientar estratégias estruturadas de demonstração. Esse achado reforça a relevância da incorporação consciente dos princípios da Teoria da Difusão da Inovação nos processos de apresentação de tecnologias, com vistas a reduzir barreiras de adoção e a ampliar o impacto das iniciativas de difusão. Nesse sentido, o planejamento de pré-projeto desempenha papel estratégico, por favorecer definições claras de escopo e fornecer informações que permitem identificar riscos e incertezas, aumentando as chances de sucesso (Bingham & Gibson, 2017).

Além desses resultados, identificou-se que o perfil dos líderes influencia diretamente a forma como as demonstrações são conduzidas. Gestores com perfil predominantemente técnicos tendem a enfatizar características funcionais, o que pode limitar a compreensão da

perspectiva do cliente e reduzir o potencial de convencimento.

Já líderes com perfil comercial demonstraram maior capacidade de articular o valor da solução em termos de benefícios percebidos, promovendo maior engajamento e aproximação com os usuários. A predominância de perfis técnicos entre os líderes dos CTs analisados implica menor incorporação da “voz do cliente” nas demonstrações, reduzindo seu potencial persuasivo.

Outro elemento crítico identificado foi a ausência de práticas estruturadas de planejamento de pré-projeto, que, conforme Bingham e Gibson (2017), é essencial para a definição adequada do escopo e para a preparação de condições que favoreçam o sucesso futuro. Considerando que o sucesso de projetos de inovação envolve dimensões que vão além de prazo, custo e escopo, incluindo impacto no cliente e sustentação comercial de longo prazo (Shenhar & Dvir, 2007), a integração dos atributos da persuasão ao planejamento das demonstrações constitui uma oportunidade concreta de aprimoramento.

Assim, conclui-se que o planejamento das demonstrações das tecnologias industriais avançadas, orientado pelos atributos de vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, experimentação e observabilidade, pode favorecer significativamente a adoção dessas soluções. Recomenda-se que esse planejamento seja incorporado à fase de pré-projeto e envolva *stakeholders* com perfis complementares, técnicos, comerciais e orientados aos clientes, a fim de assegurar uma abordagem mais abrangente e eficaz.

4.6.1. Contribuições

Do ponto de vista teórico, o estudo contribui ao articular os atributos da persuasão da Teoria da Difusão da Inovação com os processos de demonstração de tecnologias industriais avançadas, propondo uma perspectiva interpretativa que orienta o planejamento estratégico da difusão tecnológica. A pesquisa também avança na discussão sobre o papel do planejamento de demonstrações como estratégia para mitigar barreiras de adoção, bem como sobre a influência do perfil dos líderes na condução de processos de convencimento tecnológico.

4.6.2. Limitações e estudos futuros

A principal limitação do estudo consiste em ter considerado apenas Centros Tecnológicos de uma única organização, o que pode refletir características culturais e

estruturais específicas da empresa analisada, limitando a generalização dos resultados. Outra limitação refere-se ao baixo volume de visitas aos CTs durante o período de coleta de dados, o que reduziu a diversidade de percepções dos clientes sobre as demonstrações das tecnologias.

Para pesquisas futuras, recomenda-se ampliar a investigação para CTs de diferentes organizações e setores, possibilitando uma análise mais abrangente e comparativa. Além disso, sugere-se o desenvolvimento de um método prescritivo que integre atributos da persuasão às etapas de planejamento e execução das demonstrações nos CTs, com o objetivo de fortalecer a adoção das tecnologias industriais avançadas e mitigar barreiras culturais, técnicas e comportamentais associadas ao processo decisório.

5. ESTUDO 4 – PROPOSIÇÃO DE MÉTODO PARA PLANEJAMENTO DE PROJETOS PARA DEMONSTRAÇÃO DE TECNOLOGIAS INDUSTRIAIS AVANÇADAS

5.1. INTRODUÇÃO

Reconhecido como um pilar estratégico para o crescimento econômico, o setor de manufatura desempenha papel central na geração de empregos de qualidade, conforme destacado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, (2025). Neste cenário, as empresas do setor enfrentam desafios como ciclos de vida mais curtos, demanda por personalização, necessidade de agilidade no lançamento de produtos e intensificação da concorrência global (Simões *et al.*, 2020). E para manter a sua competitividade, diante das pressões econômicas globais, essas empresas buscam inovações em seus processos produtivos (Ahmetoglu *et al.*, 2023).

Diante desse contexto, a Indústria 4.0 (I4.0) ganha uma dimensão de destaque, com potencial para impactar a produtividade (Guimarães *et al.*, 2025), estimular a inovação e apoiar a sustentabilidade, fortalecendo as cadeias de suprimentos e promovendo o uso eficiente de recursos (Hammad *et al.*, 2025). Nesse cenário, as Tecnologias Industriais Avançadas (TIA) se consolidam como pilares habilitadores da I4.0, sustentando a modernização dos processos produtivos e ampliando a capacidade de transformação digital nas empresas. Entretanto, apesar dos benefícios associados às TIA, a indústria de manufatura ainda enfrenta barreiras significativas à sua adoção (Chouhan *et al.*, 2025; Sharma *et al.*, 2025), especialmente em países com economias em desenvolvimento, onde desafios estruturais, limitações tecnológicas e restrições financeiras dificultam a incorporação plena dessas inovações (Hammad *et al.*, 2025; Sarreal *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2025).

Entre as barreiras de adoção descritas na literatura estão as restrições financeiras; a falta de habilidades adequadas na força de trabalho; e resistência dos funcionários à mudança (Rahman *et al.*, 2025). Na perspectiva das empresas que fornecem as TIA, essas mesmas barreiras de adoção podem afetar seus resultados comerciais, pois dificultam a adoção das TIA pelas empresas de manufatura em seus processos. E de forma proativa, para tentar superar esses desafios e facilitar a adoção das tecnologias, as empresas fornecedoras das TIA buscam soluções para promover as suas tecnologias por meio de demonstrações em *showrooms*, feiras de negócios e/ou Centros Tecnológicos (CTs), que são espaços físicos destinados à realização de provas de conceito, demonstrações e validações de soluções. Todavia, no estudo de Machado

(2025), que investigou sete Centros Tecnológicos da Indústria 4.0, foi identificado ausência de um planejamento das demonstrações. O autor ainda ressalta a aplicabilidade da teoria da Difusão da Inovação de Rogers (2013) no contexto da Indústria 4.0, evidenciando a importância dos atributos da persuasão na etapa de demonstração tecnológica. A Teoria da Difusão da Inovação (DoI), propõe que a adoção de novas tecnologias depende das características percebidas da inovação (Lu, 2021). Na fase de persuasão, a teoria apresenta cinco atributos que influenciam diretamente essa adoção (Lu, 2021). Esses atributos podem ser explorados nas demonstrações das TIA, já que a DoI foca principalmente nas propriedades da inovação (Ahmetoglu *et al.*, 2023).

Machado (2025) identificou que a ausência de planejamento de pré-projeto compromete a definição de como as tecnologias devem ser demonstradas nos CTs, refletindo a negligência da fase inicial do projeto (*front-end*) responsável pelas definições preliminares, análises de cenário e construção dos conceitos-base. Essa fase começa quando a ideia do projeto é concebida, quando ocorrem as definições preliminares do projeto, análises de cenário, assim como os conceitos de base do projeto (Williams *et al.*, 2019). Assim, o presente estudo busca responder a pergunta de pesquisa: Como planejar pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão das tecnologias industriais avançadas? E tem objetivo de desenvolver um método para o planejamento de pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão das tecnologias industriais avançadas, visando sua adoção.

O presente estudo propõe um artefato do tipo método, fruto de uma pesquisa com abordagem metodológica da *Design Science Research* (DSR) (Dresch *et al.*, 2020). A DSR tem se consolidado como uma abordagem eficaz e inovadora na pesquisa em gestão de projetos, especialmente por sua capacidade de enfrentar problemas práticos por meio do desenvolvimento de artefatos. Além disso, a DSR permite apoiar-se em conhecimento prévio e evidências empíricas, promovendo a cocriação de soluções relevantes e aplicáveis (Gregor & Zwikael, 2024). O estudo está estruturado com a fundamentação teórica; procedimentos metodológicos; descrição do artefato FRONTI4.0; análise dos resultados de validação do artefato; a adoção e contribuições do produto técnico-tecnológico e considerações finais.

5.2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção apresenta os conceitos abordados neste estudo, que fundamentam o conhecimento utilizado na construção do método. São exploradas as barreiras à adoção das

tecnologias industriais avançadas e a teoria da difusão da inovação, com destaque para a importância da persuasão na formação de uma atitude favorável à sua adoção. Também é abordada a aplicação da ferramenta de *Design Thinking* na gestão de projetos.

5.2.1. Barreiras de adoção às tecnologias industriais avançadas

As barreiras à adoção da Indústria 4.0 são amplamente discutidas na literatura, evidenciando sua abrangência global, pois impactam tanto economias desenvolvidas (Müller, 2019; Stentoft *et al.*, 2021) quanto países em desenvolvimento (Hammad *et al.*, 2025; Sarreal *et al.*, 2025; Rahman *et al.*, 2025). Essas barreiras têm sido analisadas sob diversas perspectivas, considerando a maturidade econômica dos países (Rahman *et al.*, 2025; Elhusseiny & Crispim, 2022; Orzes, Corso & Magistrale, 2018; Raj *et al.*, 2020), o porte empresarial, como pequenas e médias empresas (Cugno *et al.*, 2021; Gonzalez *et al.*, 2021; Khan *et al.*, 2022; Rawindaran *et al.*, 2021), e ainda o escopo das operações, como é o caso de empresas multinacionais (Horváth & Szabó, 2019; Narwane *et al.*, 2021).

Embora as barreiras estejam presentes em diferentes realidades, países com menor maturidade industrial enfrentam desvantagens competitivas mais acentuadas, especialmente pela limitação de acesso às tecnologias, à infraestrutura e à mão de obra qualificada (Rahman *et al.*, 2025; Sarreal, *et al.*, 2025). Nessas economias, destacam-se barreiras associadas à necessidade de altos investimentos, ausência de políticas públicas de incentivo e carência de profissionais capacitados.

A literatura especializada tem identificado diversas barreiras que dificultam a implementação da Indústria 4.0, entre as quais se destacam: escassez de mão de obra qualificada; elevados custos e incertezas quanto ao retorno do investimento; resistência organizacional à mudança (Rahman *et al.*, 2025; Cugno *et al.*, 2021; Kumar *et al.*, 2021); riscos relacionados à segurança da informação; ausência de normas, regulamentações e mecanismos de certificação (Kumar *et al.*, 2021; Raj *et al.*, 2020); falta de uma estratégia digital clara; baixo grau de maturidade tecnológica (Khan *et al.*, 2022; Raj *et al.*, 2020); deficiências na infraestrutura tecnológica; ausência de parceiros estratégicos e vínculos com universidades (Cugno *et al.*, 2021; Gonzalez *et al.*, 2021); e, ainda, a disponibilidade de mão de obra de baixo custo em algumas regiões, o que desincentiva a automação (Rahman *et al.*, 2025).

5.2.2. *Design Thinking* em Gestão de Projetos

O *Design Thinking* (DT) é um processo colaborativo e centrado no usuário (Przybilla *et al.*, 2020), voltado para compreender profundamente as necessidades e os desejos dos usuários (Brown, 2008). O DT tem despertado crescente interesse entre acadêmicos e profissionais como uma prática para abordar a resolução de problemas e a inovação (Mayer & Schwemmler, 2025).

O DT envolve cinco etapas interdependentes: compreender as necessidades do usuário (empatia), definir claramente os problemas ou oportunidades (definição), gerar ideias criativas (ideação), criar protótipos rápidos e de baixo custo para validação (prototipagem) e testar as soluções em contextos reais, refinando-as por meio da colaboração com os usuários (teste). (Ford & Yoho, 2025).

As abordagens padrão de gerenciamento de projetos são inadequadas para lidar com mudanças no ambiente ou nas necessidades de negócios, particularmente em contextos inovadores caracterizados por incerteza e complexidade (Mahmoud-Jouini *et al.*, 2016). O uso de uma abordagem de DT promove uma melhor comunicação entre as equipes de desenvolvimento, o que pode acarretar uma melhora na qualidade da entrega e, conseqüentemente, a satisfação dos clientes (Pereira & Russo, 2018).

A aplicação da abordagem do DT em gestão de projetos traz benefícios quanto ao maior engajamento dos *stakeholders*, por meio de uma série de interações, a fim de desenvolver um entendimento mútuo do projeto (Dijksterhuis & Silviu, 2017). O estudo de Grall, *et al.*, (2025) identificou características-chave de uma abordagem de gestão de projetos centrada no ser humano que abordou as dificuldades enfrentadas pela transformação digital e por projetos de mudanças intensas, focando em seus *stakeholders*.

A abordagem de DT favorece o gerente de projetos desempenhar um papel ativo tanto na fase de definição do problema do projeto quanto na síntese de novas soluções que criam valor para os usuários (Dijksterhuis & Silviu, 2017). Além dos benefícios citados, adotar uma abordagem centrada no usuário e com uma visão holística, são competências importantes e sua aplicação tem potencial para melhorar o desempenho do projeto (Lahiri *et al.*, 2021).

A aplicação do DT em projetos de inovação com soluções mecâtrônicas oferece oportunidades como melhor colaboração, prototipagem de qualidade e modelos de negócios inovadores, embora traga desafios na gestão de *stakeholders*. Em ambientes totalmente digitais, destacam-se benefícios como a identificação mais precisa das necessidades dos clientes e a

personalização de produtos, reforçando o potencial da digitalização para promover a inovação centrada no usuário (Przybilla *et al.*, 2020).

5.2.3. Difusão da inovação e o papel da persuasão na adoção de tecnologias

No nível organizacional, a Teoria da Difusão da Inovação (*Diffusion of Innovations Theory* – DoI) é um dos modelos teóricos mais proeminentes para a compreensão da adoção de tecnologias (Durão & Palma dos Reis, 2025). É uma estrutura sistêmica útil para descrever a adoção ou não adoção de novas tecnologias e, frequentemente, considerada um modelo valioso para orientar a inovação tecnológica (MacVaugh & Schiavone, 2010).

A Teoria da Difusão da Inovação, proposta por Rogers (2003), descreve a adoção de novas tecnologias como um processo gradual, que começa com poucos inovadores e se expande até atingir a maioria da população. Rogers (2003) também classificou os adotantes em cinco categorias: inovadores, adotantes iniciais, maioria inicial, maioria tardia e retardatários. Esta classificação de adotantes é aplicada em estudos da área de marketing para compreender o comportamento do consumidor e como orientar empresas a se beneficiarem com este movimento (Gonera *et al.*, 2021; Makkonen & Johnston, 2014).

O processo de difusão da inovação envolve decisões progressivas diante da incerteza, nas quais indivíduos ou sistemas avaliam se devem adotar uma nova ideia. A percepção de novidade e o risco associado são elementos centrais na tomada de decisão sobre incorporar ou não uma inovação (Rogers, 2003). Os autores Diakonova *et al.*, (2021) defendem que, a difusão de inovações segue padrões previsíveis que podem ser modelados matematicamente, sendo influenciada pela densidade de conexões entre os agentes envolvidos, o que impacta diretamente a velocidade de disseminação.

Para Rogers (2003, p. 168), o processo de decisão de inovação é descrito como: “O processo pelo qual um indivíduo (ou outra unidade de tomada de decisão) passa da obtenção do conhecimento inicial de uma inovação em formação, para a atitude em relação à inovação, para a tomada de decisão de adotar ou rejeitar, para a implementação da nova ideia e para a confirmação desta decisão.” Dentro do modelo do processo de inovação, o estágio de persuasão vem logo após a etapa de conhecimento, quando o indivíduo toma conhecimento da inovação e busca informações a respeito. Na fase de persuasão, o indivíduo começa a avaliar os benefícios e as desvantagens da inovação, formando uma atitude favorável ou desfavorável em relação à inovação (Rogers, 2003).

Na fase de persuasão, os benefícios potenciais do uso da inovação devem ser informados, de modo a potencializar usuários finais a calcular a relação custo-eficácia da inovação (Padyab *et al.*, 2020). A persuasão ocorre quando um potencial usuário final forma uma atitude favorável em relação à inovação e está aberto a ser persuadido de que a inovação tem valor (ou seja, passa a mostrar interesse) (Padyab *et al.*, 2020).

Segundo Rogers (2003), nos estágios de persuasão e decisão, os indivíduos buscam informações que reduzam a incerteza sobre os efeitos da inovação, avaliando vantagens e desvantagens em seu contexto. Nesta fase a taxa de adoção é influenciada por cinco atributos percebidos: vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, experimentação e observabilidade, conforme descrito na Tabela 26.

Estudos aplicados da Teoria da DoI com a adoção das tecnologias industriais avançadas apontam, por exemplo, que a adoção e o uso da robôs em processos de automação, são fortemente influenciados por fatores percebidos no contexto tecnológico, em especial, destacam-se dois atributos centrais da Teoria da Difusão da Inovação: a Compatibilidade e a Vantagem Relativa (Durão & Palma dos Reis, 2025). O estudo de Akbari *et al.*, (2024) busca expandir a aplicação da Teoria da Difusão da Inovação ao demonstrar que, no contexto da Indústria 4.0, a adoção de tecnologias como robótica avançada, inteligência artificial e Internet das Coisas está fortemente relacionada à percepção de vantagem relativa, evidenciada pelos benefícios concretos dessas inovações. Além disso, destaca-se a compatibilidade, entendida como a capacidade dessas tecnologias se integrarem aos sistemas já existentes nas fábricas, o que facilita sua implementação e acelera sua aceitação (Akbari *et al.*, 2024).

Tabela 26

Atributos da Persuasão da teoria da Difusão da Inovação

Atributos da Inovação	Descrição dos Atributos
Vantagem Relativa	O grau de vantagem relativa é frequentemente expresso como lucratividade econômica, como transmissão de prestígio social (Rogers, 2003), custo-benefício (Simões <i>et al.</i> , 2020), ou benefícios percebidos (Ahmetoglu <i>et al.</i> , 2023).
Compatibilidade	Uma inovação pode ser compatível ou incompatível com (1) valores e crenças socioculturais, (2) ideias previamente introduzidas e/ou (3) necessidades do cliente para a inovação (Rogers, 2003).
Complexidade	A complexidade de uma inovação, conforme percebida por membros de um sistema social, pode estar negativamente relacionada à sua taxa de adoção (Rogers, 2003).
Observabilidade	Algumas ideias são facilmente observadas e comunicadas a outras pessoas, enquanto outras inovações são difíceis de observar ou descrever para os outros. A observabilidade de uma inovação, conforme percebida pelos membros de um sistema social, está positivamente relacionada à sua taxa de adoção (Rogers, 2003).

Experimentação/ Testabilidade	Inovações que podem ser testadas diretamente tendem a ser adotadas mais rapidamente, pois a experimentação pessoal ajuda a reduzir incertezas e permite compreender como funcionam em contextos específicos (Rogers, 2003).
----------------------------------	---

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

A consolidação dos conceitos apresentados nesta seção constitui a base teórica para a próxima fase do trabalho, dedicada à metodologia. Nela, será detalhado o processo metodológico que orientou o desenvolvimento do método proposto.

5.3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo adota o método de pesquisa da *Design Science Research* (DSR), que segue o paradigma da *Design Science* (Dresch *et al.*, 2020). A adoção deste método justifica-se pelo seu alinhamento com uma abordagem de pesquisa voltada para o desenvolvimento de conhecimento aplicável à resolução de problemas do mundo real (Haki *et al.*, 2024). Essa abordagem se caracteriza por orientar as questões de pesquisa a partir de desafios práticos, promover um conhecimento direcionado à solução e estabelecer uma conexão direta entre intervenções e resultados, considerados elementos-chave para enfrentar problemas de campo (van Aken & Romme, 2009). A DSR tem como objetivo desenvolver novos conhecimentos que sejam simultaneamente úteis para alcançar objetivos humanos e cientificamente válidos (Gregor *et al.*, 2020).

A DSR propõe o desenvolvimento de um artefato voltado à resolução de uma determinada classe de problemas (Dresch *et al.*, 2020). A classe de problema permite que o artefato e a sua solução, não sejam uma resposta a um problema pontual, mas quando generalizado possa ser enquadrado em aplicado em problemas similares (Dresch *et al.*, 2020). A classe de problemas deste estudo é “a adoção das tecnologias industriais avançadas”.

Segundo o modelo de Peffers *et al.* (2007), o DSR é composto por diferentes fases, que foram aplicadas para alcançar o objetivo geral deste estudo: (1) identificação e motivação do problema, (2) definição dos objetivos para a solução, (3) projeto e desenvolvimento do artefato, (4) demonstração da solução, (5) avaliação da solução e (6) comunicação.

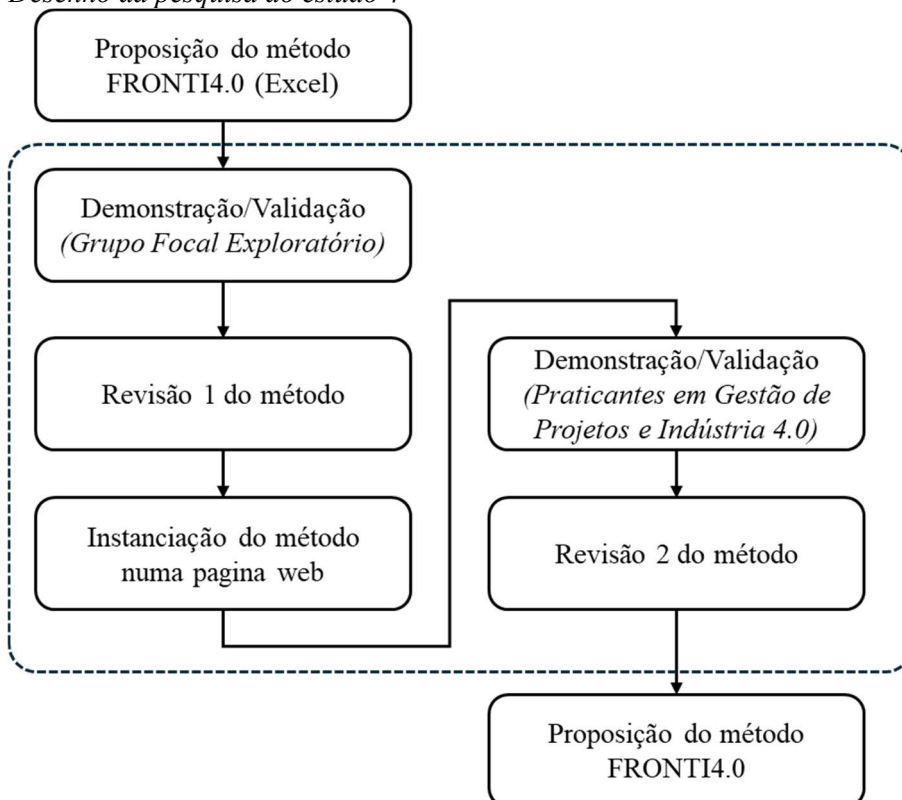
Inicialmente foi conduzido um estudo exploratório para identificar as barreiras de adoção das tecnologias industriais avançadas (Machado, 2023). Na sequência, foi proposto um modelo de planejamento de pré-projetos de pequeno porte (Machado, 2024), que serviu de base para o método desenvolvido neste trabalho.. O Estudo 3 desta tese contribuiu com três etapas da DSR – identificação do problema, definição dos objetivos e desenvolvimento do artefato.

Neste estudo, foi realizada uma pesquisa de campo com a análise de sete estudos de caso de Centros Tecnológicos (Machado, 2025).

Assim, o presente estudo contempla as etapas da DSR de demonstração do artefato no campo e avaliação. Foi desenvolvido um artefato do tipo método para o planejamento de projetos para demonstração de tecnologias industriais avançadas. O desenho metodológico do Estudo 4 foi estruturado conforme o desenho da pesquisa ilustrado na Figura 24.

Figura 24

Desenho da pesquisa do estudo 4



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

A primeira etapa foi (i) a proposição do método, desenvolvido inicialmente utilizando a ferramenta do Microsoft Excel, onde cada etapa do método foi descrita em uma planilha do arquivo; (ii) na sequência foi realizada a primeira validação, por meio de Grupo Focal Exploratório buscando melhorias no método e subsequente revisão; (iii) após a demonstração do método no grupo focal, foi construída uma página web (instanciação do artefato), usando a base da primeira proposta do Excel e aplicando os *insights* do Grupo Focal; (iv) na sequência o método foi avaliado por praticantes de projetos e de projetos da Indústria 4.0; (v) foi realizada a última revisão baseada no *insight* obtidos com os praticantes.

5.3.1. Coleta de dados

Para a etapa de demonstração e avaliação do método, foram empregados dois procedimentos de coleta de dados: (i) um Grupo Focal Exploratório, envolvendo praticantes de projetos e projetos relacionados à Indústria 4.0, para uma validação inicial do método, e (ii) um questionário *on-line* para avaliação do método.

- Grupo Focal Exploratório: A validação inicial do artefato desenvolvido no âmbito da *Design Science Research* (DSR) foi realizada por meio de um Grupo Focal Exploratório (GFE), cujo propósito consiste em promover melhorias rápidas e incrementais na concepção de artefatos. Essa abordagem possibilita a geração de *insights* relevantes para ajustes no artefato e no roteiro, favorecendo o refinamento contínuo (Dresch *et al.*, 2020). Ademais, estimula discussões colaborativas, análises críticas e a proposição de soluções inovadoras (Lacerda *et al.*, 2013).
- Entrevistas Individuais: A avaliação final do artefato ocorreu mediante entrevistas individuais, conduzidas por meio de formulário digital (Creswell & Creswell, 2021), contendo questões abertas fundamentadas nos critérios de avaliação do artefato.

Ao término de cada etapa de coleta, os participantes foram convidados a responder um formulário eletrônico no *Google Forms*, composto por sete questões destinadas à avaliação do método, contemplando critérios de impacto, usabilidade, complexidade e completude, conforme apresentado na Tabela 27. As questões foram elaboradas com base em estudos prévios que sustentam a presente investigação.

Para a coleta de dados, todos os participantes foram previamente informados sobre os objetivos da pesquisa e consentiram voluntariamente em participar das entrevistas. Foi apresentada a cada entrevistado uma Declaração de Consentimento, contendo explicações sobre o uso exclusivo acadêmico dos dados, bem como a garantia de sigilo e confidencialidade das informações fornecidas. A cópia dessa declaração encontra-se disponível no Apêndice D.

Tabela 27
Critérios de validação do método

Critério	Descrição	Afirmação
Impacto	Em que medida o método pode cumprir seus objetivos, apoiando os gerentes na gestão de pré-projeto de demonstração de tecnologias industriais avançadas	O método ajuda e mitigar barreiras conhecidas de adoção das tecnologias industriais avançadas em projetos de demonstração dessas tecnologias. A abordagem dos elementos da Persuasão nas demonstrações das tecnologias favoreceu a mitigação das barreiras de adoção.
Usabilidade	Considerando o seu dia a dia, como você avalia a facilidade do possível uso deste método?	O método pode ser efetivamente aplicado em projetos de pequeno porte de até 1 Milhão de dólares. O artefato é fácil de usar. Os vídeos explicativos no website são capazes de capacitar os usuários quando o uso e aplicação do método.
Complexidade	Facilidade de entendimento deste método?	Os profissionais com pouca maturidade em gestão de projetos se sentem confiantes e capacitados para utilizar o método.
Compleitude	Se apresenta de modo completo em seus elementos, sem que nada lhe falte ou sobre.	O método proposto se apresenta de modo completo, com todos os elementos mínimos para atingir o objetivo proposto, por isso não acrescentaria ou eliminaria nenhum elemento.

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

5.4. DESCRIÇÃO DO ARTEFATO FRONTI4.0

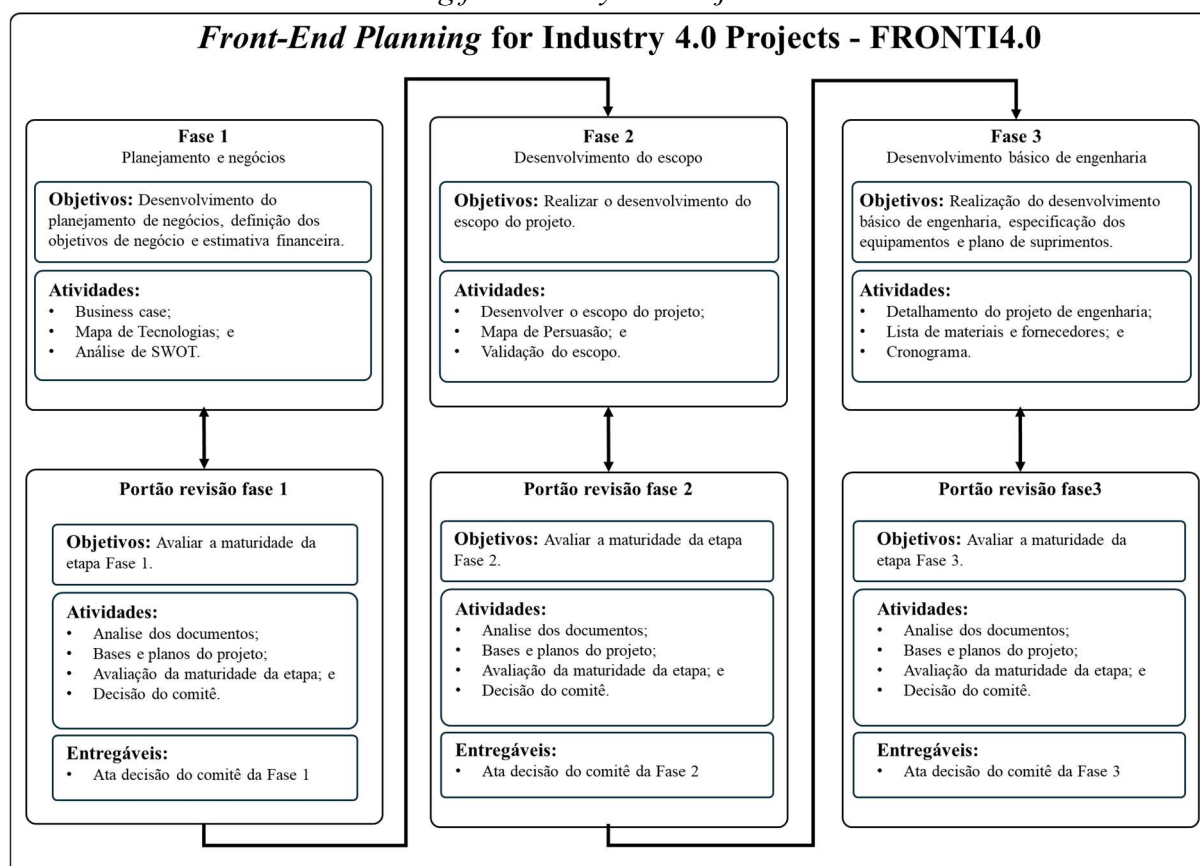
O artefato, que é do tipo método, tem sua estrutura baseada no “*Modelo para Planejamento de Front-End de Projetos de Pequeno Porte*”, proposto por Machado (2024). O modelo foi desenvolvido à partir das abordagens dos modelos propostos pelas consultorias *Construction Industry Institute* (CII) e *Independent Project Analysis* (IPA), que propõem processos estruturados para a revisão das etapas do carregamento do planejamento de pré-projetos (Machado, 2024).

O método de planejamento de projetos para demonstração de tecnologias industriais avançadas, denominado *Front-End Planning for Industry 4.0 Projects* (FRONTI4.0), tem como objetivo orientar empresas fornecedoras dessas soluções a promovê-las de forma eficaz, contribuindo para a superação das barreiras de adoção. Por meio de um planejamento estratégico, voltado à promoção dessas tecnologias, o método busca facilitar sua compreensão e aceitação no mercado. O FRONTI4.0 pode ser aplicado em pré-projetos de centros

tecnológicos, *showrooms* e estandes para feiras ou maletas de demonstração, tanto em novos projetos quanto em de renovação (*retrofit*). O público-alvo do método são, especialmente, profissionais com baixa maturidade em gestão de projetos, envolvidos em projetos que demandem a demonstração de tecnologias industriais avançadas. A proposta é oferecer um método simples e de fácil aplicação. A Figura 25 representa o FRONTI4.0, com suas fases.

Figura 25

FRONTI4.0 – Front-End Planning for Industry 4.0 Projects



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

O FRONTI4.0 é composto por três fases: (1) **Fase 1** – Desenvolvimento do plano de negócios; (2) **Fase 2** – Desenvolvimento do escopo; e (3) **Fase 3** – Projeto de engenharia. As fases do método também podem ser representadas pela sigla “FEL”.

5.4.1. Fase 1 – Desenvolvimento do plano de negócios

A primeira fase do método é o desenvolvimento do *Business Case*, que se refere às informações necessárias, sob a perspectiva empresarial, para determinar se o projeto justifica o investimento requerido, servindo de base para a tomada de decisão por gestores ou executivos

em níveis superiores ao da equipe do projeto (Project Management Institute, 2013). A literatura indica que *business cases* bem estruturados, quando utilizados de forma consistente ao longo de todo o ciclo de vida do projeto, contribuem significativamente para a governança e elevam a taxa de sucesso dos projetos (Einhorn *et al.*, 2019). Esse documento viabiliza a análise de custo-benefício, justificando e delimitando os parâmetros do projeto (Project Management Institute, 2013).

a) **Desenvolvimento do *Business Case*:** O *Business Case* reúne informações essenciais como o alinhamento estratégico do projeto, a avaliação da exposição a riscos, o estudo de viabilidade econômica, o retorno sobre o investimento (*Return on Investment* – ROI), os principais indicadores de desempenho esperados, além de análises e abordagens alternativas (Project Management Institute, 2013). Adicionalmente, o documento pode declarar a contribuição de valor pretendida do resultado do projeto, seja em termos qualitativos, quantitativos ou ambos. Para cumprir seu propósito, o *Business Case* deve conter, no mínimo, elementos de suporte inter-relacionados que fundamentam sua argumentação e permitam uma análise completa da proposta (Project Management Institute, 2021):

- **Necessidade de negócio:** Justifica a realização do projeto, sendo originada dos requisitos preliminares e registrada no termo de abertura ou documento equivalente. Ela define metas e objetivos, podendo atender à organização executora, clientes, parcerias ou ao bem-estar público. Uma declaração clara dessa necessidade orienta a equipe do projeto, ajudando a identificar oportunidades ou problemas que aumentem o valor do resultado;
- **Justificativa do projeto:** Refere-se à necessidade de negócio, explicando por que ela merece investimento e por que deve ser tratada. Inclui análise de custo-benefício e premissas que sustentam essa decisão); e
- **Estratégia de negócio:** Razão do projeto e todas as necessidades estão relacionadas à estratégia para atingir o valor.

O FRONTI4.0 entrega um modelo de *Business Case* que busca atender as necessidades mínimas para o planejamento de projetos de demonstração de tecnologias industriais avançadas. Destaca-se a importância de identificar os benefícios esperados com o projeto, assim como a expectativa das partes envolvidas a respeito do resultado esperado. A estimativa de custo baliza a viabilidade financeira do projeto e nesta fase pode variar em até mais ou menos 50% do valor final. Outros campos como, indicadores de sucesso; retorno sobre o investimento; riscos associados; impacto ambiental, social e governança (*Environmental, Social and*

Governance – ESG); e acordos de confidencialidade, são opcionais conforme a demanda específica do projeto.

b) Mapa de tecnologias: O mapa de tecnologias realiza a identificação das Tecnologias industriais avançadas (TIA) que serão foco das demonstrações, podendo variar conforme a demanda específica de cada empresa. Após a identificação, as tecnologias devem ser relacionadas às suas respectivas barreiras de adoção.

Apesar dos benefícios que as TIA oferecem aos processos de manufatura, empresas de diferentes segmentos ainda enfrentam barreiras de adoção dessas tecnologias (Elhusseiny & Crispim, 2022; Herceg *et al.*, 2020). A literatura identifica obstáculos como restrições financeiras, escassez de mão de obra qualificada e resistência à mudança (Rahman *et al.*, 2025). Talke e Heidenreich (2014) destacam que consumidores muitas vezes rejeitam inovações sem considerar seu potencial, o que pode inviabilizar sua adoção.

O FRONTI4.0 disponibiliza uma relação de tecnologias e suas respectivas barreiras, conforme identificado na literatura (Raj *et al.*, 2020). Ao conduzir essa fase, o usuário pode modificar as barreiras sugeridas ou incluir novas, de acordo com as características específicas da tecnologia oferecida. Por exemplo, se determinada tecnologia é reconhecida na literatura como de alto investimento inicial, mas a versão oferecida pela empresa se enquadra como um produto de baixo custo, essa barreira pode ser ajustada ou removida.

Essa é uma fase importante para o método, pois serve de base para a definição do escopo e para a discussão das estratégias de abordagem das barreiras associadas a cada tecnologia proposta.

c) Análise de SWOT: A proposta desta etapa é realizar um exercício de alinhamento do projeto com os elementos da identidade estratégica da empresa, que orientam suas decisões e posicionamento no mercado como Missão, Visão e Valores. Além disso, busca-se identificar e aproveitar as forças da organização, tratar as oportunidades, evitar as fraquezas e explorar as ameaças, por meio da análise SWOT (*Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats*).

A análise SWOT é uma ferramenta de planejamento estratégico que avalia os pontos fortes, fracos, oportunidades e ameaças de uma organização ou projeto (Puyt & Madsen, 2025). É uma ferramenta popular e utilizada em diversos contextos, combinações e áreas, que auxilia na verificação da eficácia do planejamento e da implementação de projetos (Puyt & Madsen, 2025).

Nesta etapa, recomenda-se que o usuário colabore com os times de marketing e vendas para identificar e discutir esses elementos, promovendo uma visão integrada e estratégica do projeto.

d) Portão de revisão 1: Entre as etapas, ocorrem sessões de revisão, denominadas **Portões de Revisão**, que são pontos formais de validação das fases e suas entregas (Barshop, 2016). Trata-se de um processo estruturado de aprovação, no qual as entregas de cada fase são analisadas com o objetivo de obter autorização para avançar à próxima fase (Edkins *et al.*, 2013). Todo o planejamento de *front-end* de projetos antecede a execução do projeto. Os portões são conduzidos por um comitê de aprovação, que tem a função de avaliar as entregas de cada uma das três fases do FRONTI4.0 e decidir pela aprovação, reprovação ou revisão de cada uma das fases. Preferencialmente, o mesmo comitê que deverá avaliar as três fases, porém não há obrigatoriedade nesse requisito.

O comitê deverá ser composto por no mínimo três e máximo de cinco integrantes e por profissionais de diferentes áreas, para que diferentes perspectivas sejam avaliadas, como integrantes de equipes engenharia, com olhar técnico, voltado para a tecnologia e suas funcionalidades; equipes de marketing e vendas, com olhar no cliente (voz do cliente) e de estratégia de vendas; ou até equipes financeiras ou administrativas, com olhar de processos e de retorno de investimento.

O Portão de Revisão 1 avalia a maturidade das entregas da fase 1. Os critérios de avaliação concentram-se na identificação e análise da oportunidade de negócio, com foco na viabilidade e na definição do conceito inicial para demonstração das TIA. Nesta fase, o comitê deverá avaliar principalmente o *Business Case* e o Mapa das Tecnologias, pois, dentro do método FRONTI4.0, essas são as principais entregas da fase 1.

A Análise SWOT, bem como Missão, Visão e Valores, são complementares e funcionam como indicadores estratégicos para o projeto. Os principais pontos de avaliação pelo comitê incluem: viabilidade técnica; viabilidade financeira do projeto (com margem de erro de aproximadamente $\pm 50\%$); alinhamento à estratégia da empresa; e mapeamento das tecnologias que são foco do projeto e suas potenciais barreiras de adoção.

O usuário ou facilitador do comitê deverá registrar as impressões dos membros para cada uma das entregas. Em seguida, o comitê deverá decidir se a fase será aprovada; necessitará de revisão (indicando o tipo de revisão necessária); ou reprovada.

As informações coletadas na fase 1 (*Business Case*, Mapa das Tecnologias e Análise SWOT) deverão ser incorporadas a fase 2 na definição do escopo. Esses dados são essenciais

para compreender os principais objetivos do projeto sob uma perspectiva ampla e multidisciplinar. Também são relevantes para identificar restrições orçamentárias e, principalmente, para entender as tecnologias a serem exploradas e suas respectivas barreiras de adoção. A Análise SWOT, Missão, Visão e Valores servirão como balizadores estratégicos para o escopo, pois favorecem a compreensão das fortalezas e fraquezas da empresa.

5.4.2. Fase 2 – Desenvolvimento do escopo

O escopo do projeto corresponde ao processo de elaboração de uma descrição detalhada do projeto e de seu produto. Seu principal benefício consiste na definição clara dos limites do projeto, identificando quais requisitos serão incluídos ou excluídos do escopo (Project Management Institute, 2013).

A definição inadequada do escopo é amplamente reconhecida por profissionais da indústria como um dos principais fatores que levam ao fracasso de projetos, gerando impactos negativos nos custos, nos prazos e no desempenho operacional (Cho & Gibson, 2001).

O FRONTI4.0 propõe um plano de gestão de escopo simplificado, baseado nas diretrizes da *Project Management Institute – PMI*. O Gerenciamento do Escopo do Projeto inclui os processos necessários para garantir que o projeto inclua todo o trabalho necessário, e apenas o trabalho necessário, para concluí-lo com sucesso e é composto por quatro etapas: coleta dos requisitos; definição do escopo; mapa de persuasão e validação do escopo.

a) Coleta de requisitos: O primeiro passo é definir os requisitos do projeto, que devem ser identificados, analisados e documentados com detalhes suficientes para serem incluídos na linha de base do escopo e posteriormente mensurados durante a execução. O desenvolvimento dos requisitos começa com uma análise das informações de alto nível contidas no termo de abertura do projeto, que no contexto do FRONTI4.0 é o *business case* desenvolvido na fase 1. Caso o usuário avalie necessário, pode coletar requisitos adicionais entrevistando as partes interessadas.

b) Definição do Escopo: A definição do escopo é o processo de desenvolvimento de uma descrição detalhada do projeto, que estabelece os requisitos coletados serão incluídos ou excluídos do escopo. Esse processo garante que todos os envolvidos tenham uma compreensão clara dos limites do projeto e do que será entregue de forma prioritária (Project Management Institute, 2000). Nem todos os requisitos identificados serão incluídos no projeto, a definição do escopo seleciona os requisitos finais a partir da documentação de requisitos

entregue durante o processo de coleta de requisitos e, em seguida, desenvolve uma declaração do escopo do projeto detalhada. Pode incluir as exclusões explícitas de escopo, o que contribui para o gerenciamento das expectativas, além dos critérios de aceitação, entregáveis e as suas premissas (Project Management Institute, 2000).

c) Mapa de Persuasão: O Mapa de Persuasão é uma etapa chave do FRONTI4.0, pois tem objetivo de relacionar as TIA, as suas respectivas barreiras de adoção (identificadas no Mapa de Tecnologias da fase 1), com os elementos de persuasão da teoria do DoI. A Teoria da Difusão da Inovação (*Diffusion of Innovations Theory* – DoI), proposta por Rogers (2003), postula que a disposição dos indivíduos para adoção depende das características percebidas da inovação (Lu, 2021).

O FRONTI4.0 propõe uma atividade de *Design Thinking* para o Desenvolvimento do Escopo e Mapa de Persuasão. O DT⁷ é uma metodologia flexível, que pode ser utilizada em qualquer área de trabalho, pois possui elementos valiosos, como a interação frequente com base no *feedback* contínuo de todos os intervenientes. O DT segue um processo estruturado em cinco fases que permite à equipe compreender o problema, explorar soluções e validar ideias antes da implementação. O FRONTI4.0 sugere personalizações das etapas do DT para compreender o Desenvolvimento do Escopo e Mapa de Persuasão de projeto de demonstração de TIA.

- Imersão ou Empatia: A primeira fase do DT e envolve compreensão do problema de forma ampla e profunda. No contexto do FRONTI4.0 é necessário compreender quais são os perfis de clientes e quais as suas “dores e ganhos” com a adoção das tecnologias foco dentro do escopo de demonstração das tecnologias. Para compreender o cliente e as suas demandas, são recomendadas utilização de duas ferramentas:
 - Definição de *Personas*⁸: *Personas* são representações simbólicas de usuários “típicos” — arquétipos que representam padrões de usuário. *Personas* focam em indivíduos com os quais o *designer* pode se identificar (Prorok & Kosicka, 2021). Pode ter mais de uma *Persona*, com diferentes perfis e demandas, que podem variar conforme o perfil da empresa ou até do cargo/área do cliente.

⁷<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pe/artigos/guia-completo-sobre-design-thinking-tudo-que-voce-precisa-saber,f9df6d87bff5a810VgnVCM1000001b00320aRCRD>

⁸<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/como-criar-uma-persona-para-a-sua-empresa,c77a6621e4184810VgnVCM100000d701210aRCRD>

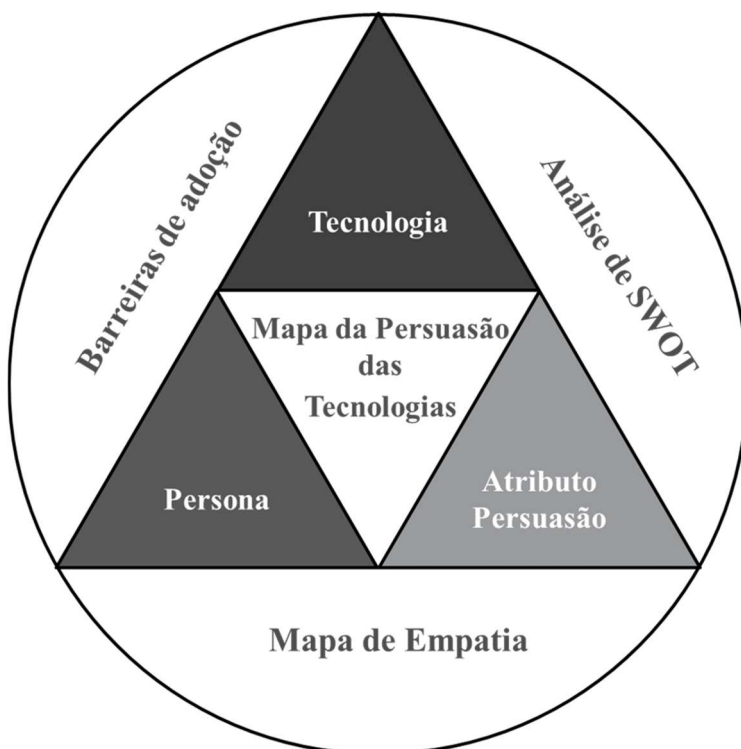
- Mapa de empatia⁹: O que a *Persona* pensa e sente, escuta, vê, fala e faz. Também são, dor. Também são identificados as suas dores e ganhos nesta etapa.
- Análise ou Definição: Aqui, as informações coletadas são organizadas para identificar padrões e *insights*. O objetivo é priorizar os aspectos mais críticos e preparar o terreno para as próximas fases. Nesta fase será utilizada a ferramenta da jornada do cliente que auxilia a visualizar as conexões entre os dados.
 - Jornada do Usuário¹⁰ - Identifica como o cliente irá navegar com a demonstração em cada uma das tecnologias ou no caso de um projeto de *Showroom* ou Centro Tecnológico, pode ser a interação completa do cliente dentro do ambiente.
- Ideação: Esta fase é voltada para a geração de soluções criativas. Através de *brainstorming* e *workshops* colaborativos, a equipe explora diferentes abordagens. As ideias são avaliadas com base na viabilidade, impacto e alinhamento com os objetivos do projeto. Nesta fase é possível desenvolver o escopo do projeto. E no contexto do FRONTI4.0 há necessidade de responder como os atributos da persuasão podem ser explorados com as tecnologias foco dentro do escopo de demonstração das tecnologias.
- Prototipagem: Nesta etapa, as ideias ganham forma em protótipos tangíveis, como *mockups*, maquetes ou fluxogramas. Esses protótipos permitem visualizar a solução e testar sua funcionalidade antes da implementação final. O foco é identificar falhas e ajustar o projeto de forma eficiente.
- Testagem: Por fim, os protótipos são testados por usuários reais, que fornecem *feedback* sobre sua eficiência e usabilidade. É uma etapa iterativa, onde erros são corrigidos e melhorias são implementadas. Este é o momento de experimentar diferentes métodos até encontrar a solução ideal.

Na etapa de persuasão, a teoria apresenta um conjunto de cinco atributos de inovação que influenciam a adoção de tecnologias: vantagem relativa, complexidade, compatibilidade, experimentação e observabilidade (Lu, 2021). A Figura 26 ilustra o Mapa da Persuasão, baseado em um tripé que relaciona as TIA aos atributos da persuasão e às *Personas* identificadas pela empresa. Essa ferramenta permite entregar uma visão personalizada para a demonstração de cada tecnologia, considerando diferentes perfis de *Personas*.

⁹<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/mapa-da-empatia-ajuda-a-criar-conteudo-relevante-para-o-consumidor,ed3610dcedcc6810VgnVCM1000001b00320aRCRD>

¹⁰ <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/ufs/pe/sebraeaz/mapa-da-jornada-do-cliente-o-que-e-e-como-criar-o-seu,0d91bc9ee5826810VgnVCM1000001b00320aRCRD>

Figura 26
Esquema do Mapa da Persuasão



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Complementarmente, nessa etapa são incorporados os elementos identificados nas fases anteriores do método, como as barreiras à adoção das TIA e os fatores da análise SWOT (forças, fraquezas, oportunidades e ameaças), que orientam as demonstrações no sentido de aproveitar as forças, corrigir ou reduzir as fraquezas, explorar as oportunidades e mitigar as ameaças. Por exemplo, uma empresa que ingressa em um novo mercado e oferece uma tecnologia de baixo custo pode destacar essa força durante a demonstração. Por outro lado, se houver um viés de percepção de baixa qualidade devido ao menor custo, isso também deve ser abordado, apresentando evidências concretas da qualidade do produto.

Essa é uma etapa-chave do método, sendo fortemente recomendada a interação entre *stakeholders* de diferentes áreas, como engenharia, *marketing* e vendas, para garantir uma visão ampla das *Personas* definidas. Dependendo do caso de uso, pode haver uma ou mais tecnologias relacionadas até três *Personas* e cinco atributos da persuasão.

d) **Validação do Escopo:** Validar o escopo é o processo de formalização da aceitação das entregas concluídas do projeto. O principal benefício dessa etapa é trazer objetividade ao processo de aceitação, aumentando as chances de aprovação do produto,

serviço ou resultado, por meio da validação de cada entrega. Esse processo foca especificamente na aceitação formal das entregas, garantindo que estejam alinhadas aos critérios previamente definidos (Project Management Institute, 2000). A declaração de escopo do projeto deve descrever claramente as entregas que atendem aos critérios de aceitação, as quais deverão ser formalmente aprovadas pelo patrocinador.

e) Portão de revisão 2: O Portão de Revisão 2 é um processo formal de aprovação que avalia a maturidade das entregas da fase 2. Os critérios de avaliação concentram-se na definição do escopo do projeto e no mapeamento dos elementos da persuasão aplicados em cada uma das tecnologias exploradas, assim como as barreiras de adoção abordadas com em cada um dos elementos.

O comitê deverá avaliar principalmente o Escopo do projeto e o Mapa da Persuasão, assim como a validação do escopo pelo patrocinador. O processo do Portão de Revisão 2 segue o mesmo fluxo do Portão 1, com as mesmas demandas para o usuário ou facilitador do comitê, que deverá registrar as impressões dos membros para cada uma das entregas. Em seguida, o comitê deverá decidir se a fase será aprovada; necessitará de revisão (indicando o tipo de revisão necessária); ou reprovada.

5.4.3. Fase 3 – Projeto de Engenharia

A fase de Projeto de Engenharia é a última do método FRONTI4.0 e antecede o início da execução do projeto. Nessa fase, são elaborados os documentos técnicos de engenharia, as especificações dos equipamentos e o plano de suprimentos (Merrow, 2024; Motta *et al.*, 2014). O foco principal recai sobre os requisitos técnicos do projeto, incluindo a elaboração de uma estimativa de custo final com precisão da ordem de $\pm 10\%$ (Rahbar & Avalon, 2023; Romero & Andery, 2015).

As principais atividades desta fase incluem o desenvolvimento da lista de materiais necessários para a execução do projeto de demonstração das TIA, o cronograma detalhado do projeto e a identificação dos parceiros envolvidos. Com base nessas informações, espera-se também a elaboração de orçamentos detalhados, que permitam chegar a uma estimativa de custo mais próxima da realidade.

a) Portão de Revisão 3: O Portão de Revisão 3 é o último portão do FRONTI4.0 e significa a aprovação final do planejamento de projetos para demonstração de tecnologias

industriais avançadas. Os critérios de avaliação concentram-se no detalhamento de engenharia como a lista de materiais necessários para a demonstração das tecnologias, o que inclui as próprias tecnologias e acessórios necessários para execução do projeto. A lista de materiais serve de base para os orçamentos com fornecedores, o que entrega a previsão de orçamento final. Com as informações dos produtos necessários, relação de fornecedores e prestadores de serviços, será possível desenvolver um cronograma mais próximo do real.

O usuário ou facilitador do comitê deverá registrar as impressões dos membros para cada uma das entregas, que nesta fase são mais objetivas. Em seguida, o comitê deverá decidir se o planejamento de projetos para demonstração de tecnologias industriais avançadas será: aprovada; necessitará de revisão (indicando o tipo de revisão necessária); ou reprovada. As informações coletadas na fase 3 servirão de base para as fases seguintes de execução do projeto.

5.5. INSTANCIACÃO DO ARTEFATO

A primeira versão do método foi desenvolvida e um arquivo do Microsoft Excel, com cada uma das fases descritas em diferentes planilhas, conforme a fase do método. A Tabela 28 descreve as principais fases do FRONTI4.0 e as atividades relacionadas a cada fase do método.

Tabela 28

Primeira versão do FRONTI4.0 em Excel

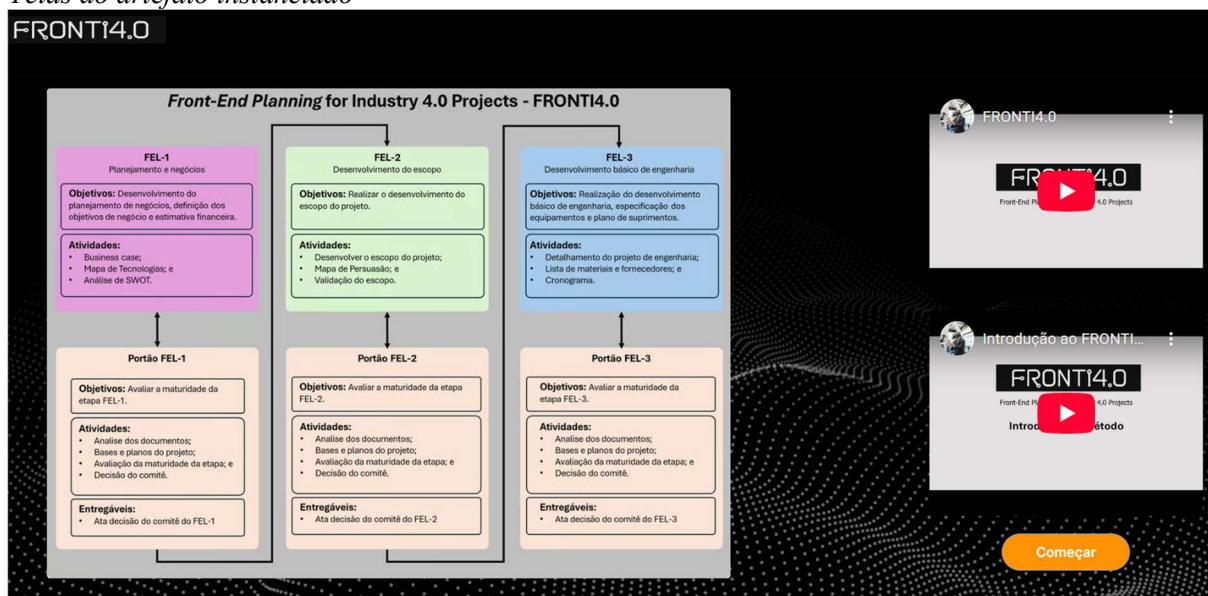
Fases do FRONTI4.0	Nome das Atividades	Descrição
Abertura	Modelo	O modelo base com a descrição das etapas e dos portões.
Fase 1	<i>Business Case</i>	Desenvolvimento do plano de negócios do projeto.
	Mapa das Tecnologias	Descrição das tecnologias e suas respectivas barreiras.
	Análise de SWOT	Análise das forças, fraquezas, oportunidades e ameaças da empresa.
Fase 2	Portão Revisão 1	Portão de revisão da fase 1.
	Escopo	Etapas de desenvolvimento do escopo do projeto de demonstração de tecnologias.
	Mapa de Empatia	Atividade de relação das tecnologias, <i>personas</i> e atributos da persuasão.
Fase 3	Portão Revisão 2	Portão de revisão da fase 2.
	Lista de materiais	Descrição da lista de materiais necessária para desenvolvimento do projeto.
	Cronograma	Cronograma básico do projeto.
	Relação dos parceiros	Descrição dos parceiros nomeados para desenvolvimento do projeto.
	Portão Revisão 3	Portão de revisão da fase 3.

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Essa primeira versão serviu de base para a instanciação do artefato – a instanciação é um artefato que operacionaliza um outro artefato e visa demonstrar a sua viabilidade (Dresch *et al.*, 2020). O FRONTI4.0 foi instanciação em um *website* desenvolvido dentro da plataforma *Bubble*, que é uma plataforma de desenvolvimento do tipo sem código (*no-code*), que permite criar e publicar aplicações web e móveis sem a necessidade de escrever código tradicional (Heuschkel, 2023). A decisão pela plataforma foi baseada na agilidade do desenvolvimento do aplicativo como um produto mínimo viável (*Minimum Viable Product – MVP*), considerando as revisões e melhorias propostas nas fases de validação do artefato.

O MVP proposto segue a mesma estrutura do Excel, com uma tela inicial de abertura com a imagem da representação do FRONTI4.0. A partir da tela de abertura, apresentada na Figura 27, para o usuário seguir com a aplicação do método, há necessidade de um registro. Após o registro, o usuário pode iniciar um novo projeto, seguindo a estrutura descrita na Tabela 28.

Figura 27
Telas do artefato instanciado



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Seguindo a proposta do método de ser uma ferramenta simples e de fácil aplicação, foram desenvolvidos sete vídeos tutoriais. Os vídeos foram criados com auxílio da ferramenta *Synthesia* (<https://www.synthesia.io/>), de Inteligência Artificial. Foi criado um canal na plataforma de vídeos Youtube (<https://www.youtube.com/playlist?list=PL32U5iQPBSzojPe045GjPFrvHL4GeGHPc>), conforme apresentado na Figura 28.

Figura 28

Playlist do canal do Youtube com os vídeos tutoriais do FRONTI4.0



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Os vídeos apresentam de forma didática as fases do FRONTI4.0 e fornecem instruções de uso para os usuários. Foram produzidos em língua portuguesa, além de três vídeos disponibilizados em língua espanhola, conforme detalhado na Tabela 29.

Tabela 29

Relação dos vídeos tutoriais disponibilizados pelo FRONTI4.0

Título	Língua	Fase Método	Descrição
FRONTI4.0	PT	Introdução	Uma visão geral do Método de planejamento de projetos para demonstração de tecnologias industriais avançadas.
Introdução do FRONTI4.0	PT	Introdução	Introdução do método as fases 1, 2 e 3 (FEL1, FEL2 e FEL3)
Desenvolvimento do Business Case	PT	Fase 1 (FEL-1)	Fase 1 onde ocorre o desenvolvimento do Business Case, Mapa de Tecnologias e Análise de SWOT.
Desenvolvimento do Escopo	PT	Fase 2 (FEL-2)	Fase 2 onde ocorre o desenvolvimento do escopo do projeto e o Mapa de Persuasão.
Mapa Persuasão	PT	Fase 2 (FEL-2)	A importância do Mapa Persuasão e como se desenvolve na fase 2
Projeto de engenharia	PT	Fase 3 (FEL-3)	Fase 3 é fase de detalhamento de engenharia
Portões de revisão	PT	Fases 1, 2 e 3 (FEL-1, 2 e 3)	Descrição dos Portões de revisão do método
FRONTI4.0	ES	Introdução	Una descripción general del método de planificación de proyectos para demostrar las tecnologías de la Industria 4.0.
<i>Introducción a FRONTI4.0</i>	ES	Introdução	<i>Introducción del método FRONTI4.0 y los pasos FEL1, FEL2 y FEL3.</i>
<i>Mapa de la Persuasion</i>	ES	Fase (FEL-2)	<i>La importancia del Mapa de Persuasión y cómo se desarrolla en FEL-2.</i>

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Foram incluídas duas funcionalidades no método instanciado, com objetivo de facilitar o seu uso: (1) relatório impresso das fases; (2) suporte na fase do mapa da persuasão com *prompt* para utilização de ferramenta de IA generativa.

Nas diferentes fases do método, há funcionalidade do usuário enviar um correio eletrônico para os envolvidos, com um relatório completo dos dados coletados do projeto e *status* das fases realizadas. O objetivo dessa funcionalidade é facilitar a formalização dos processos, com o envolvimento dos integrantes dos comitês dos portões de revisão, assim como a documentação gerada, que serve de fundamentação para a execução do projeto. Um relatório de uma simulação está disponível no Apêndice E.

Para apoiar a etapa do Mapa da Persuasão, o FRONTI4.0 propõe a utilização de uma ferramenta de Inteligência Artificial (IA) como suporte à geração de *insights*, relacionando a aplicação das TIA aos atributos da persuasão para cada *Persona*.

O modelo de *prompt* para IA generativa do FRONTI4.0 é descrito como: “Quais são os principais pontos de atenção que devem ser considerados ao realizar uma demonstração da tecnologia <nome da tecnologia> e que enfrenta as barreiras de adoção <barreiras de adoção> levando em conta os perfis de personas: Persona A <perfil persona A>, Persona B <perfil persona B>, e Persona C <perfil persona C>. Para cada persona, identifique quais aspectos da demonstração devem ser destacados para gerar engajamento e reduzir barreiras. Quais elementos da teoria da difusão da inovação (como vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, experimentação e observabilidade) são mais relevantes para persuadir cada perfil. Sugestões práticas para adaptar a comunicação e o formato da demonstração conforme o perfil de cada persona. A empresa que irá realizar a demonstração, tem como forças <forças análise SWOT>; fraqueza <fraquezas da análise de SWOT>”.

Foi realizada uma simulação de um projeto de Centro Tecnológico de empresa fornecedora de soluções em robótica colaborativa e móvel, com objetivo de exemplificar o uso e potenciais resultados do FRONTI4.0.

A simulação foi realizada com dados genéricos, a partir desses dados imputados, o FRONTI4.0 gerou um *prompt* para aplicação em ferramenta de IA generativa, disponível para análise no Apêndice F. O *prompt* foi então aplicado numa ferramenta de IA (ChatGPT 5.0) e o resultado obtido com os *insights* para demonstração das tecnologias, está disponível para análise no Apêndice G.

Essa abordagem busca acelerar o processo de planejamento, permitindo que os resultados iniciais sejam posteriormente revisados e validados pelos *stakeholders* do projeto. A

partir das informações das fases anteriores, o método cria um *prompt*, que é uma instrução contextual que orienta modelos de linguagem generativa a produzirem respostas mais precisas e relevantes, aplicável a qualquer modelo de IA generativa disponível ao usuário.

O resultado fornecido pela IA deve ser analisado pelos *stakeholders* para o desenvolvimento do escopo final das demonstrações das tecnologias. Portanto, a aplicação da ferramenta de IA generativa não é um fim em si, mas um meio para obter *insights* de forma mais ágil, apoiando a definição do escopo das demonstrações.

A próxima seção descreve as fases de demonstração e avaliação do FRONTI4.0 e apresenta os resultados obtidos nessas fases. A demonstração consiste na aplicação do artefato em uma ou mais instâncias da classe de problemas. Essa fase requer conhecimento prático sobre o uso do artefato para a resolução do problema (Lacerda *et al.*, 2013). E a avaliação é o processo de verificação do comportamento do artefato no ambiente de aplicação, em relação às soluções propostas. Envolve procedimentos sistemáticos para mensurar seu desempenho e efetividade (Lacerda *et al.*, 2013).

5.6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O artefato passou por duas etapas de demonstração e avaliação. Esses processos ocorreram em Grupo Focal de caráter exploratório e uma segunda etapa com entrevistas com praticantes. A seguir são descritos os resultados obtidos nessas etapas.

5.6.1. Grupo Focal Exploratório

O GFE foi conduzido previamente à instanciação do método na página web. A sessão ocorreu em 17 de setembro de 2025, no período noturno, com duração aproximada de duas horas, nas dependências do escritório central da Omron do Brasil, localizado no bairro da Vila Olímpia, em São Paulo/SP – Brasil. O objetivo principal do GFE consistiu em demonstrar e avaliar o método proposto. O critério de seleção dos participantes baseou-se na escolha de profissionais e acadêmicos com perfis complementares, todos com experiência ou sensibilidade à gestão de projetos em geral, bem como a projetos relacionados à Indústria 4.0. Essa composição buscou garantir diversidade de perspectivas e enriquecer as discussões, favorecendo análises críticas e a identificação de oportunidades de aprimoramento do artefato.

No total, foram convidados dez participantes, dos quais nove confirmaram presença e apenas um declinou. Contudo, no dia do evento, dois participantes não puderam comparecer, resultando em sete participantes efetivos no GFE. Além dos participantes, o GFE contou com a presença de um moderador (pesquisador responsável pela investigação), uma facilitadora (professora doutora orientadora da pesquisa) e um auxiliar, estudante de doutorado, que atuou juntamente com a facilitadora na coleta de *insights* ao longo das discussões auxiliando o moderador na condução do GFE. A Tabela 30 apresenta o perfil dos participantes do GFE, evidenciando a diversidade de experiências e perspectivas que enriqueceram as análises e discussões.

Tabela 30

Perfil dos participantes do Grupo Focal Exploratório

Participante	Formação acadêmica	Experiência Profissional	Nível de conhecimento em	
			Gestão de projetos	Indústria 4.0
GFE.P1	Mestrado	26 anos	Médio	Médio
GFE.P2	Engenheiro Mecatrônico	20 anos	Médio	Alto
GFE.P3	Superior completo	20 anos	Médio	Médio
GFE.P4	Doutorado	35 anos	Alto	Alto
GFE.P5	Estudante de Mestrado	25 anos	Médio	Médio
GFE.P6	Estudante de Doutorado	10 anos	Médio	Baixo
GFE.P7	Engenheiro Eletricista	25 anos	Médio	Médio

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Para organizar a condução do GFE, foi desenvolvido um roteiro, dividido em quatro partes para o GFE, apresentado na Tabela 31. A seção do GFE foi gravada via *Microsoft Teams*, por isso os participantes assinaram uma Declaração de Consentimento (Apêndice G) (Tremblay *et al.*, 2010) para coleta de dados e uso das imagens gravadas para fins de pesquisa, os documentos foram digitalizados e devidamente armazenados.

Os participantes demonstraram interesse e engajamento, colaborando ativamente. O moderador contou com apoio da facilitadora e do auxiliar, que usaram troca de mensagens via *WhatsApp* para controlar o tempo e equilibrar as interações, evitando que participantes mais assertivos dominassem a conversa (Tremblay *et al.*, 2010).

Tabela 31

Roteiro do Grupo Focal Exploratório

Etapa	Atividade	Duração
Apresentação de tecnologias	Apresentação das tecnologias industriais avançadas para contextualização do método.	15 min.

Abertura	- O moderador inicia a sessão dando as boas-vindas e apresentação dos objetivos do grupo focal; - Orientações éticas e legais relacionadas à coleta e ao uso dos dados, assegurando a confidencialidade e o consentimento informado dos participantes; - Explicação da dinâmica da sessão, detalhando as atividades, de forma a criar um ambiente acolhedor e colaborativo.	10 min.
FRONTI4.0	- Introdução da pesquisa e motivação do FRONTI4.0; e - Demonstração do FRONTI4.0.	50 min.
Discussão	- Discussão das questões de avaliação do FRONTI4.0	30 min.
Questionário	- Condução do questionário de avaliação - via <i>Google Forms</i>	15 min.

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Após a análise da transcrição, foram identificados *insights* relevantes, como o do participante GFE.P4, com apoio de GFE.P6, que demonstraram compreender a aplicação do método não apenas para empresas de pequeno e médio porte, mas também para grandes corporações. Como exemplo, citaram empresas como Saint-Gobain e Rockwell Automation. Embora reconheçam que essas organizações já possuam processos próprios, consideram viável a aplicação do método. O participante GFE.P7 sugeriu que as informações sejam registradas e armazenadas para acesso futuro, caso o pré-projeto não avance ou seja paralisado, permitindo sua posterior retomada. Por fim, o participante GFE.P6 recomendou oferecer um suporte adicional, além dos vídeos, para auxiliar o usuário em caso de dúvidas durante a aplicação do método. O participante GFE.P6 fez uma contribuição interessante ao comentar que o método favorece o processo de demonstração, pois oferece subsídios para que quem conduz a atividade narre menos e guie mais das demonstrações. Chegou a fazer um paralelo com o conceito de mediação na área cultural, usando como exemplo um museu, onde o ambiente facilita o entendimento do visitante.

No que diz respeito à avaliação do método, o GFE.P7 comentou que “o método auxilia eliminar viés, pois coloca a execução dentro de um passo a passo, evitando que o usuário pule etapas importantes”.

O participante GFE.P4 ponderou que “a efetividade do método varia conforme a maturidade da empresa, permitindo diferentes formas de aplicação. Empresas com alto nível de maturidade em projetos tendem a pular fases do método, o que pode dificultar a interação com os clientes, já que as tecnologias acabam sendo impostas.”

Para o GFE.P5 afirmou que “o método reduz a dependência das pessoas nas demonstrações, ao oferecer elementos e um roteiro que padronizam o processo, tornando-o mais estruturado e replicável.”

Os participantes também contribuíram com comentários anônimos no preenchimento do questionário de avaliação do método:

“É importante considerar modelos de maturidade, pois eles podem servir como insumo para que o método ofereça soluções mais adequadas ou até mesmo diferentes produtos dentro da mesma proposta.”

“Sugestão de continuidade do estudo: com foco nas atribuições do mediador, principalmente no cenário brasileiro. A necessidade deste mediador é ter todas as habilidades em uma pessoa só.”

“Na minha opinião o método é excelente, e atende não só a Indústria 4.0.”

5.6.2. Entrevistas

A segunda fase de avaliação foi conduzida com base na instanciamento do método em uma página web. O perfil dos participantes dessa fase manteve características semelhantes ao da primeira, com a inclusão de um número maior de praticantes de projetos da Indústria 4.0, visando potencial aplicação do método em projetos futuros.

Para esta fase, o pesquisador elaborou um vídeo de convite contendo instruções básicas, uma breve introdução ao método e seus objetivos. O vídeo também esclareceu as expectativas quanto à participação: navegar na página do método, assistir aos vídeos tutoriais e, ao final, responder ao questionário eletrônico. No total, foram convidados 20 participantes, dos quais 11 aderiram e concluíram a pesquisa, conforme perfil descrito na Tabela 32.

Tabela 32

Perfil dos participantes da entrevista on-line

Participante	Formação acadêmica	Experiência Profissional	Nível de conhecimento em	
			Gestão de projetos	Indústria 4.0
E1	Mestrado	13 anos	Médio	Alto
E2	Mestrado	30 anos	Alto	Alto
E3	Estudante de Doutorado	30 anos	Alto	Alto

E4	Engenheiro	10 anos	Médio	Médio
E5	Mestrado	30 anos	Alto	Alto
E6	Estudante de Doutorado	25 anos	Alto	Alto
E7	Doutorado	16 anos	Médio	Baixo
E8	Engenheiro	8 anos	Baixo	Baixo
E9	Doutorado	30 anos	Médio	Alto
E10	Pós-doutorado	40 anos	Alto	Alto
E11	Engenheiro	7 anos	Médio	Alto

Nota. Elaborado pelo autor (2025)

Nesta etapa não houve interação direta entre o pesquisador e os participantes, além do envio do convite e do vídeo explicativo. Essa decisão teve como propósito permitir que os respondentes avaliassem o método exclusivamente com base nas informações disponibilizadas, conforme sua própria interpretação.

Dos onze respondentes, sete apresentaram comentários abertos, conforme descrito a seguir. O primeiro comentário destacou uma observação relevante para a aplicação do método em um cenário real:

“Acredito que colocando avaliações do ambiente ou cliente no qual será utilizado pode gerar informações importantes para a ter uma abordagem mais assertiva”.

Outros comentários questionaram a facilidade de uso do método:

“O método foi bem desenvolvido, mas acho que aborda aspectos que exigem uma maturidade maior em gestão de projetos. Tenho a impressão de que profissionais com pouca maturidade em gestão de projetos terão dificuldade de utilizar o FRONTI4.0 (...)”.

“Artefato bem completo, porém acredito que a complexidade para sua utilização inviabilize o negócio.”

“A ferramenta não é fácil de usar e os vídeos não se conectam com as informações apresentadas na tela. Ou eu não compreendi corretamente a ferramenta, ou ela não atende ao que foi proposto”

Em contrapartida um dos comentários concordou com a facilidade do método e propôs melhorias.

“O método foi concebido para ser simples, o que representa um aspecto bastante positivo. Como sugestão, proponho uma ênfase maior nas questões humanas, buscando compreender melhor as necessidades dos stakeholders, sobretudo na fase 2. Em muitas situações, pequenos ajustes no projeto são capazes de viabilizar a entrega.”

Outro critério questionado foi a questão de o método suportar positivamente a mitigação das barreiras.

“(…) além disso, não ficou claro para mim como o método FRONTI4.0 ajudaria a mitigar barreiras conhecidas de adoção das tecnologias industriais avançadas em projetos de demonstração dessas tecnologias. Fiquei com o sentimento de que somente o mapa de persuasão seria suficiente.”

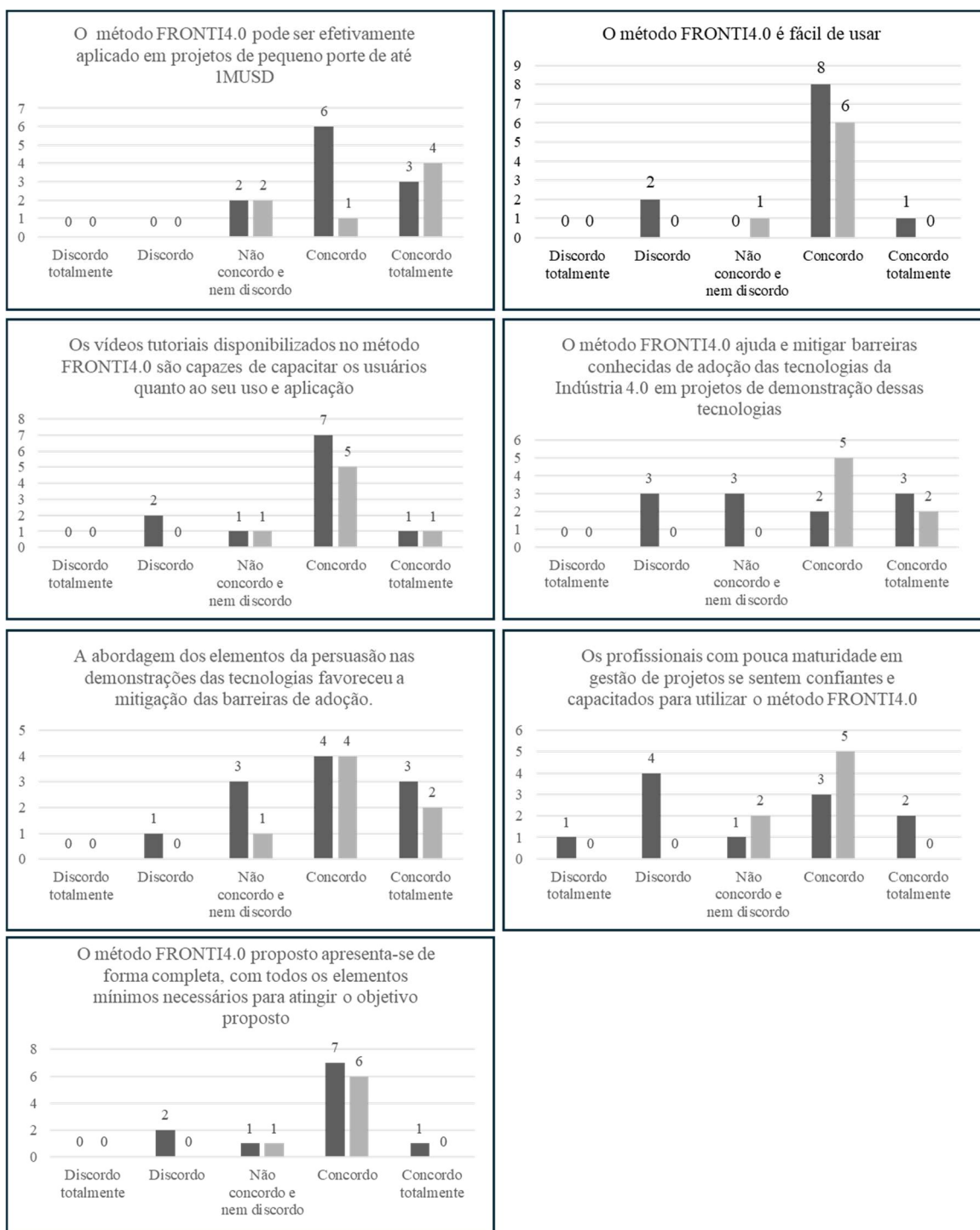
Um dos participantes descreveu que teve dificuldades em acessar a base e se inscrever, portanto fez a avaliação baseada apenas nos vídeos.

5.6.3. Compilação dos resultados

A compilação dos resultados obtidos nas duas etapas, indicou uma maior aceitação dos participantes do GFE, com uma melhor avaliação geral do método. Os resultados obtidos na segunda etapa, com os participantes avaliando o método instanciado e com o preenchimento do questionário eletrônico, demonstrou uma parcela de discordância quando a facilidade de uso do método; a abordagem para profissionais com baixa maturidade em projetos, aos vídeos tutoriais, assim como ao propósito do método de mitigar as barreiras de adoção das TIA. Embora a maioria dos respondentes tenham concordado/concordado totalmente com essas afirmações. Os resultados foram compilados na Figura 29, que compila as respostas comparativamente entre os dois grupos de participantes.

Figura 29

Resultados do questionário eletrônico de validação do método



Nota. Elaborado pelo autor (2025)

5.7. ADOÇÃO E CONTRIBUIÇÕES DO PRODUTO TÉCNICO TECNOLÓGICO - PROCESSO NÃO PATENTEÁVEL: FRONT-END PLANNING FOR INDUSTRY 4.0 PROJECTS (FRONTI4.0)

O documento publicado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) apresenta as considerações sobre a Área de Administração Pública e de Empresas, Ciências Contábeis e Turismo (Área 27), com a finalidade de aprimoramento do processo e de instrumentos relacionados à avaliação da pós-graduação (CAPES, 2025). Foram definidos 12 produtos técnico/tecnológico (PTT) considerados mais aderentes à realidade da área. Um PTT é definido como “um objeto tangível com elevado grau de novidade fruto da aplicação de novos conhecimentos científicos, técnicas e *expertises* desenvolvidas no âmbito da pesquisa ...” (CAPES, 2025).

O PTT gerado nesta tese é um artefato do tipo método, classificado pela CAPES (Área 27) como um “Processo/Tecnologia e Produto/Material não patenteáveis”. Ou seja, “produtos e/ou processos tecnológicos que, por impedimentos legais, não apresentam um mecanismo formal de proteção em território brasileiro, incluindo quaisquer ativos de propriedade intelectual”. Ex. Novos processos de gestão documentados, novas técnicas de desenvolvimento de lideranças sistematizadas.” (CAPES, 2025).

A contribuição potencial do PTT, visto que até o momento da publicação desta tese, o método não havia sido aplicado em nenhuma situação real, é de disseminar as tecnologias industriais avançadas, por meio da preparação de empresas provedoras dessas tecnologias à planejar pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão dessas tecnologias, visando sua adoção.

O planejamento das demonstrações das TIA relacionando as barreiras de adoção aos atributos da Persuasão da Teoria da DoI, tem potencial de favorecer a adoção dessas tecnologias pela indústria de manufatura.

- **Aderência:** O produto desenvolvido está aderente ao Programa de Pós-Graduação em Gestão de Projetos (PPGP) da Universidade Nove de Julho. Está alinhado à linha de pesquisa de Inovação em Projetos, no contexto de Projetos Inovadores e de Tecnologias de Informação ao aborda o planejamento de pré-projetos da Indústria 4.0.
- **Impacto:** O impacto potencial médio do produto tecnológico está relacionado a preparação de empresas provedoras das TIA à planejar pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão dessas tecnologias, visando sua

adoção. Apesar de todos os benefícios associados a adoção das TIA nos processos de manufatura e das inúmeras ações acadêmicas, governamentais e privadas, barreiras de adoção continuam a dificultar a disseminação dessas tecnologias, principalmente em países com economias em desenvolvimento.

- **Aplicabilidade:** A aplicabilidade potencial do método é considerada alta, pois o PTT foi desenvolvido para ser aplicado especialmente por profissionais com baixa maturidade em gestão de projetos. Pode ser aplicado por empresas provedoras de tecnologias industriais avançadas em projetos que demandem a demonstração dessas tecnologias. O método pode ser replicado irrestritamente por empresas que oferecem as tecnologias industriais avançadas.
- **Inovação:** Há um grau de ineditismo na solução proposta pelo PTT, considerado médio – inovação incremental, modificação de conhecimentos pré-estabelecidos. Com a adaptação da metodologia do planejamento de pré-projetos (*front-end planning*) para projetos de pequeno porte e com a aplicação da Teoria da Difusão da Inovação (*Diffusion of Innovations Theory* – DoI), relacionada as barreiras de adoção das tecnologias industriais avançadas.
- **Complexidade:** A complexidade do método é considerada média, pois envolve a adaptação de conhecimentos pré-estabelecidos por diferentes atores (método multidisciplinar). O método propõe a interação de *stakeholders* de diferentes áreas, como vendas, marketing e engenharia, visando enriquecer as discussões numa visão mais abrangente do negócio e dos clientes. Para isso foi desenvolvida uma ferramenta digital, uma página de website www.fronti40.com.br, e dispõe de vídeos tutoriais que descrevem o desenvolvimento de cada fase.

5.8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No contexto da demonstração e difusão das tecnologias industriais avançadas, foi desenvolvido o *Front-End Planning for Industry 4.0 Projects* (FRONTI4.0), método para planejamento de pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão dessas tecnologias, visando sua adoção.

A primeira versão do método foi apresentada e avaliada em um Grupo Focal Exploratório, que gerou *insights* relevantes para sua instanciação, que no contexto da DSR, refere-se à aplicação prática ou simulada do artefato, permitindo verificar sua funcionalidade,

utilidade e adequação ao problema identificado. Após essa instanciação, o método foi submetido à uma nova etapa de avaliação, contribuindo para avaliar sua efetividade e aprimorar sua aplicabilidade em projetos reais voltados à Indústria 4.0.

Os resultados obtidos indicam uma avaliação positiva do método, evidenciada pela predominância de respostas entre “Concordo” e “Concordo totalmente”, indicando aceitação geral do método. Observa-se, contudo, que as avaliações realizadas na etapa das Entrevistas foram mais moderadas em comparação àquelas obtidas no Grupo Focal, cujas notas foram superiores em quase todas as questões.

Essa diferença nos resultados sugere a necessidade de um aprimoramento no método, em especial nos aspectos relacionados a facilidade de uso, principalmente para os profissionais com pouca maturidade em gestão de projetos, público-alvo do método. Uma oportunidade de melhoria está nos vídeos tutoriais, no seu conteúdo e formato, visando demonstrar mais detalhadamente o método e seu uso.

Diante os resultados, o método FRONTI4.0 se mostrou viável, respondendo à questão de pesquisa de como planejar pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão das tecnologias industriais avançadas? O método propõe um processo estruturado para o planejamento de pré-projetos dos Centros Tecnológicos com a aplicação da teoria da Difusão da Inovação.

5.6.4. Contribuições

A construção deste estudo culminou no desenvolvimento de diferentes ferramentas. Entre essas contribuições teóricas, destaca-se a exploração do planejamento de pré-projetos por meio da adaptação da abordagem estruturada do *Front-End Planning* (FEP) para projetos de pequeno porte. Foi desenvolvido um método para o planejamento de pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão de tecnologias industriais avançadas, o FRONTI4.0.

Para o desenvolvimento desse método, outras ferramentas foram elaboradas para orientar as etapas do processo, como o Mapa das Tecnologias, que associa as TIA às suas respectivas barreiras de adoção. Também foi criada a ferramenta Mapa de Persuasão, que relaciona a TIA foco da demonstração à persona-alvo e aos atributos de persuasão disponíveis.

Por fim, foram produzidos vídeos com apoio de IA para explicar e demonstrar o uso do FRONTI4.0, acompanhados da criação de um canal no YouTube com conteúdo em português

e espanhol.

O método e suas ferramentas contribuem para a aplicação prática da Teoria da Difusão da Inovação ao incorporar elementos da etapa de Persuasão em projetos voltados às Indústrias 4.0 e 5.0. Essa integração fortalece o entendimento dos fatores que influenciam a adoção de tecnologias industriais avançadas, especialmente em ambientes de demonstração tecnológica.

5.6.5. Limitações e estudos futuros

Os processos de demonstração e avaliação do método foram mais restritos do que o inicialmente planejado, sendo realizados por meio de um Grupo Focal Exploratório e, posteriormente, por um grupo de entrevistados. Essa limitação reduziu a possibilidade de aprofundamento nas questões relacionadas à aplicação prática do método, impactando também seu aprimoramento.

Como proposta para estudos futuros, sugere-se a continuidade do desenvolvimento e refinamento do método, com base nos *insights* obtidos nas etapas já realizadas. Recomenda-se a condução de uma nova fase de avaliação ampliada, com o objetivo de consolidar o método e prepará-lo para sua divulgação junto a profissionais e praticantes envolvidos em projetos da Indústria 4.0.

6. CONCLUSÕES

O planejamento de pré-projetos de Centros Tecnológicos (CT) voltados à demonstração e difusão das tecnologias industriais avançadas (TIA) é o tema central de discussão desta tese, que emergiu da experiência empírica do pesquisador e dos desafios enfrentados na disseminação das TIA em um CT.

Embora os benefícios das TIA sejam amplamente reconhecidos, especialmente no que diz respeito à melhoria da eficiência dos processos de manufatura, sua adoção por estas empresas ainda encontra barreiras significativas. Essas barreiras foram identificadas mesmo em CTs, ambientes concebidos justamente para realizar provas de conceito, validação de soluções e demonstrações tecnológicas. Por essa razão, esta pesquisa concentrou-se no planejamento das demonstrações das TIA nesses centros.

Inicialmente, o pesquisador buscou entender se o problema que estava sendo levantado tinha respaldo na literatura, sendo considerado um gap teórico, e também percebido por outros praticantes. Tendo isso comprovado, o pesquisador passou a investigar e compilar boas práticas adotadas por diferentes CTs. Essa investigação foi realizada durante a coleta de dados de campo em sete CTs localizados nos Estados Unidos. Para tanto, foi definida a seguinte questão de pesquisa: como preparar as empresas provedoras de tecnologias industriais avançadas para planejar pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão dessas tecnologias? Assim, o objetivo da pesquisa foi propor um método para preparar empresas provedoras de TIA no planejamento de pré-projetos de CTs voltados à demonstração e difusão dessas tecnologias, visando sua adoção.

Buscou-se propor um método simples e de fácil aplicação, com foco no público-alvo de profissionais com baixa maturidade em projetos, visto que essas empresas têm perfil comercial e não necessariamente são orientadas a projetos, então nem sempre os profissionais selecionados para a gestão dos projetos dos CTs têm a maturidade demandada para tal perfil de gestão. Ademais, o método proposto oferece uma abrangência potencial para atender também a projetos exclusivos de demonstração das TIA, tais como *showrooms*, estandes de feiras comerciais ou mesmo ações governamentais de disseminação das TIA com projetos similares a estes. Assim, por meio de uma pesquisa que se valeu do método de pesquisa da *Design Science Research*, foi proposto um método para o planejamento de pré-projetos de demonstração das tecnologias industriais avançadas, denominado *Front-End Planning for Industry 4.0 Projects* (FRONTI4.0). A proposta do FRONTI4.0 é impulsionar a disseminação dessas tecnologias, superando barreiras de adoção por meio do planejamento das demonstrações e da aplicação da

Teoria da Difusão da Inovação, com foco nos atributos da etapa de Persuasão, momento em que o indivíduo decide sobre a adoção de uma nova tecnologia. No que diz respeito à aplicação dos atributos da Persuasão aos processos de demonstração das TIA, o FRONTI4.0 propõe que os atributos sejam planejados por equipes multidisciplinares durante a fase de pré-projetos dos Centros Tecnológicos.

A presente tese contribui para estudos como os de Padyab *et al.* (2020), Ahmetoglu *et al.* (2023) e Shao *et al.* (2024) sobre adoção das tecnologias industriais avançadas. O diferencial está na utilização do construto da Persuasão da Teoria da Difusão da Inovação para atender à demanda de aprimorar o entendimento sobre a adoção das tecnologias industriais avançadas e propor um método pragmático que auxilie as empresas provedoras dessas tecnologias na disseminação das TIA.

Esta tese está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas. O método FRONTI4.0 se alinha com o OBS 9 - Indústria, inovação e infraestrutura, uma vez que visa construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação (Nações Unidas Brasil, 2023).

6.1. UMA VISÃO CRÍTICA SOBRE O CONTEXTO INTERNACIONAL DO ESTUDO

Uma reflexão crítica que emergiu ao longo da pesquisa refere-se ao contexto internacional da coleta de dados conduzida em Centros Tecnológicos nos Estados Unidos. A realização da pesquisa nesse país foi motivada pela oportunidade proporcionada por uma bolsa da CAPES para Doutorado Sanduíche, compreendida como um fator relevante para o desenvolvimento do estudo. Essa escolha foi reforçada pelo fato de a empresa foco da investigação possuir, nos Estados Unidos, uma estrutura robusta e historicamente orientada à disseminação de tecnologias industriais avançadas, sobretudo por meio de Centros Tecnológicos utilizados há mais de uma década. Ademais, a empresa ofereceu apoio institucional irrestrito, garantindo acesso amplo a informações, colaboradores, clientes e instalações.

Ao iniciar as visitas, esperava-se encontrar ambientes estruturados, com processos de gestão de projetos maduros, demonstrações tecnológicas planejadas e alinhamento claro entre objetivos estratégicos e práticas operacionais. Contudo, a realidade observada revelou alguns aspectos que diferiam das expectativas iniciais. Identificaram-se oportunidades de aprimoramento em processos internos, níveis de maturidade em gestão de projetos e na organização de demonstrações tecnológicas, que em alguns casos se mostraram menos

estruturadas do que o previsto. Em determinadas situações, não havia uma orientação explícita para gerar impacto aos clientes, persuadi-los ou simular cenários reais de forma sistemática. Ainda assim, observaram-se iniciativas positivas, como processos de pré-agendamento baseados nas necessidades dos clientes e um Centro Tecnológico que apresentava elevada integração tecnológica, com simulações funcionais e foco em proporcionar uma experiência diferenciada aos visitantes. De modo geral, verificou-se que o funcionamento dos Centros divergia parcialmente da imagem amplamente associada a esses ambientes, mas sem comprometer sua relevância ou contribuição para os objetivos corporativos. Apesar disso, é importante destacar que tais achados não inviabilizaram a pesquisa, tampouco comprometem o papel estratégico que esses Centros desempenham para a corporação. Mesmo com inconsistências operacionais, continuam atuando como espaços centrais para geração de negócios e disseminação tecnológica, oferecendo acesso a soluções que, sem essas estruturas, demandariam esforços significativamente maiores por parte dos clientes.

Do ponto de vista analítico, o contraste entre o esperado e o observado suscitou, inicialmente, uma reflexão crítica por parte do pesquisador acerca das expectativas formadas. Entretanto, essa experiência revelou-se altamente enriquecedora, pois permitiu identificar oportunidades de melhoria, compreender nuances culturais e comparar diferentes níveis de desenvolvimento estrutural e tecnológico entre os contextos norte-americano e brasileiro.

Nessa comparação, observa-se que as dificuldades enfrentadas nos Estados Unidos não diferem substancialmente daquelas vivenciadas em Centros Tecnológicos brasileiros, embora estes operem, majoritariamente, com menor disponibilidade de recursos e infraestrutura mais limitada. Tal evidência reforça a relevância das competências dos profissionais brasileiros, que demonstram elevada capacidade de adaptação, criatividade e flexibilidade diante das restrições ambientais. No contexto nacional, a necessidade contínua de contornar limitações estimula soluções inovadoras, um planejamento mais detalhado e maior sensibilidade na gestão do relacionamento com clientes.

A análise crítica desses contrastes também contribui para a reflexão teórica sobre difusão tecnológica, persuasão e planejamento de demonstrações. Verificou-se que a existência de infraestrutura avançada, quando desacompanhada de processos organizacionais consolidados e práticas orientadas à experiência do cliente, não garante, por si só, a eficácia das demonstrações nem acelera a adoção tecnológica. Assim, o estudo reforça que fatores humanos, culturais e organizacionais exercem papel tão ou mais relevante que os elementos estruturais.

Por fim, a experiência internacional ampliou significativamente a abrangência interpretativa deste estudo, ao permitir a análise de Centros Tecnológicos em diferentes fases

de desenvolvimento, desde unidades em pré-projeto e instalações em construção até centros plenamente operacionais há mais de uma década. Essa diversidade possibilitou uma compreensão mais profunda sobre como capacidades tecnológicas, processos internos, cultura organizacional e contexto socioeconômico moldam a eficácia desses ambientes na promoção da adoção de tecnologias industriais avançadas, tanto da Indústria 4.0 quanto da Indústria 5.0.

Conclui-se, portanto, que a comparação internacional não apenas atendeu ao propósito de reflexão crítica solicitado, como também forneceu elementos valiosos para repensar práticas, identificar lacunas e compreender de forma mais abrangente os fatores que influenciam a adoção tecnológica em ambientes industriais distintos. Além disso, revelou o potencial dos profissionais brasileiros, que, mesmo diante de restrições orçamentárias e de infraestrutura, demonstram maturidade técnica e comportamental para conduzir projetos de inovação de maneira eficaz.

6.2. MATRIZ CONTRIBUTIVA DE AMARRAÇÃO

A estrutura desta tese foi desenvolvida por meio de estudos múltiplos e interligados (da Costa *et al.*, 2024). Esse modelo alternativo de organização demanda uma conclusão integradora, que evidencie as conexões entre os estudos realizados.

Os estudos da pesquisa são inter-relacionados, o que inclui a sua interdependência em todas as suas fases. Ao longo de toda a pesquisa, foram desenvolvidos quatro estudos e os resultados alcançados, em cada um dos estudos, serviram de base para os estudos subsequentes.

O **Estudo 1** identificou as barreiras à adoção das Tecnologias industriais avançadas (TIA) e gerou, como principal *insight*, a necessidade de um planejamento estruturado para as demonstrações dessas tecnologias. Para isso, foram realizadas oficinas práticas em cenários controlados, nas quais as tecnologias foram apresentadas de forma aplicada. Nessas sessões, as barreiras previamente identificadas na literatura e validadas por engenheiros especializados foram confrontadas com contra-argumentos apresentados durante as demonstrações, contribuindo para uma compreensão da importância do planejamento das atividades de demonstração das TIA.

O **Estudo 2** considerou a literatura para propor um modelo simplificado para planejamento de pré-projetos de pequeno porte que fosse de fácil compreensão e aplicação, inclusive por profissionais com baixa maturidade em gestão de projetos. O desafio deste estudo foi adaptar os modelos de *front-end planning* existentes, que são orientados a megaprojetos, como os de infraestrutura, a projetos menores, de até 1 milhão de dólares. O modelo proposto

passou por um processo de avaliação de duas etapas por gestores de projetos e o modelo final serviu de referência para o método proposto na tese, desenvolvido no quarto estudo.

O **Estudo 3** é o mais extenso da tese, tendo sua coleta de dados desenvolvida durante o período de Doutorado Sanduíche. Nessa fase, foram visitados sete CTs nos EUA, com características semelhantes ao centro que sediou as oficinas do Estudo 1 (localizado em São Paulo, Brasil). Esse estudo também marcou a introdução da lente teórica da Teoria da Difusão da Inovação (DoI), aprofundada a partir da experiência do pesquisador na *Arizona State University* e da interação com o professor Dr. Eusébio Scornavacca, que recebeu o pesquisador no período do Doutorado Sanduíche. A investigação concentrou-se em compreender como os atributos da fase de Persuasão da DoI se manifestam nas demonstrações das TIA realizadas nos CTs visitados. Além disso, foi analisada a prática de planejamento de pré-projetos (*front-end planning*), tema abordado no Estudo 2, nos projetos conduzidos por esses CTs. Diferente da expectativa inicial do pesquisador, os resultados revelaram uma lacuna tanto no planejamento das demonstrações quanto no planejamento dos pré-projetos. Observou-se ainda um viés operacional por parte dos líderes dos CTs, evidenciando a ausência de uma abordagem estruturada de planejamento, um achado relevante, especialmente considerando que todos os CTs investigados pertencem à mesma organização.

Por último, o **Estudo 4** faz o fechamento da pesquisa, com o desenvolvimento, demonstração e avaliação do artefato do tipo método, que é considerado na classificação da CAPES como um Produto Técnico-Tecnológico do tipo “produto não patenteável”. O método FRONTI4.0: *Front-End Planning for Industry 4.0 Projects*, para planejamento de projetos para demonstração de TIA, foi desenvolvido se valendo do conhecimento adquirido nos estudos anteriores. Foi instanciado em uma página de *website* (www.fronti4.0.com.br), que dispõe de vídeos tutoriais que explicam cada uma das etapas do método e reforçam a característica de fácil aplicação. A limitação deste estudo foi que, apesar de ter sido demonstrado em um grupo focal e avaliado por meio de entrevistas, até a publicação desta tese, o FRONTI4.0 não havia sido aplicado em ambiente real.

Sinteticamente, a relação entre os achados empíricos de cada estudo e a construção do artefato pode ser descrita da seguinte forma. Conceitualmente, o artefato visa apoiar empresas fornecedoras de tecnologias industriais avançadas na difusão dessas tecnologias, promovendo sua adoção por meio do planejamento de pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração dessas soluções. Esse problema foi identificado no Estudo 1, que também evidenciou a percepção positiva do planejamento das demonstrações tecnológicas como mecanismo para mitigar barreiras de adoção.

Assim, o FRONTI4.0 caracteriza-se como um método para o planejamento de pré-projetos de pequeno porte, fundamentado no modelo desenvolvido no Estudo 2 para planejamento de pré-projetos de pequeno porte. Esse método é composto por ferramentas que incorporam os achados dos demais estudos, como o Mapa das Tecnologias, que relaciona as barreiras de adoção às tecnologias industriais avançadas, tomando como base as barreiras identificadas no Estudo 1. Adicionalmente, o Mapa de Empatia utilizou conceitos da teoria da Difusão da Inovação associados à promoção das tecnologias industriais avançadas, conforme identificado no Estudo 3. O método também integrou outro achado do Estudo 3: a importância do planejamento das demonstrações ser conduzido por equipes multidisciplinares, de forma a garantir uma visão ampliada dos problemas dos clientes e dos objetivos organizacionais.

A seguir é apresentada a Matriz Contributiva de Amarração (MCA) da tese, descrita na Tabela 33. A MCA sintetiza os principais resultados, contribuições, limitações e propostas de pesquisas futuras de cada estudo, com o objetivo de demonstrar como eles convergem para o alcance do objetivo geral da tese (da Costa *et al.*, 2024).

Tabela 33*Matriz de amarração contributiva*

	Síntese dos resultados	Contribuições para o avanço do conhecimento	Limitações	Propostas de estudos futuros
Estudo 1	Primeiramente, foram identificadas e validadas nove barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas. Em seguida, foi elaborado o planejamento das oficinas de demonstração das TIA de forma estruturada, com argumentações específicas para cada barreira. Essa abordagem permitiu ajustar a comunicação conforme o perfil dos visitantes, contribuindo de forma efetiva para a gestão das barreiras durante a exposição das tecnologias.	O estudo contribui para a literatura ao identificar e validar, com o apoio de praticantes, as barreiras à adoção das tecnologias industriais avançadas, especificamente nas interações de demonstração realizadas em Centros Tecnológicos, um contexto que difere da literatura existentes, os quais se concentram em ambientes industriais tradicionais. Outra contribuição relevante está na abordagem do planejamento dessas demonstrações, com o objetivo de mitigar as barreiras de adoção.	Foi realizado em um único evento, no qual foram conduzidas três oficinas, o que limita a generalização dos resultados. Os participantes do evento eram profissionais da área de projetos, em sua maioria com pouca experiência com as tecnologias industriais avançadas.	Sugere-se a ampliação da pesquisa para investigar como se dá o planejamento das demonstrações das tecnologias industriais avançadas em outros Centros Tecnológicos, bem como as abordagens adotadas para lidar com as barreiras de adoção nesses diferentes contextos.
Estudo 2	Desenvolvimento e validação de um <i>framework</i> para o planejamento de <i>front-end</i> em projetos de pequeno porte. O modelo propõe uma aplicação simples e acessível, inclusive para profissionais com baixa maturidade em gestão de projetos.	A valorização do planejamento de <i>front-end</i> como ferramenta de alinhamento estratégico e suporte à gestão de projetos é abordada a partir de uma perspectiva prática, voltada à disseminação do tema entre profissionais com diferentes níveis de experiência. A principal contribuição prática reside na proposta de uma ferramenta simplificada, que facilita sua aplicação por profissionais com pouca familiaridade com o planejamento de pré-projetos, promovendo a difusão do tema e estimulando maior engajamento com práticas de gestão de projetos.	As limitações do estudo 2 concentram-se na ausência de uma aplicação prática do modelo em um projeto real, restringindo-se à sua validação por meio de entrevistas com profissionais atuantes em projetos de pequeno porte.	Como proposta para estudos futuros, recomenda-se desenvolver ainda mais as ações propostas e criar um aplicativo web para encapsular a estrutura em uma plataforma digital. Isso facilitaria seu uso e disseminação, permitindo um acesso mais amplo e testes práticos. Além disso, transformar a estrutura em um método com atividades claramente descritas, projetado para ser facilmente utilizado por profissionais com baixa maturidade em gerenciamento de projetos, apoiaria sua adoção em organizações onde a expertise formal em gerenciamento de projetos é limitada. Estudos futuros devem se concentrar na implementação e avaliação da estrutura em ambientes de projetos reais, avaliando sua eficácia e usabilidade na prática.

Continuação

	Síntese dos resultados	Contribuições para o avanço do conhecimento	Limitações	Propostas de estudos futuros
Estudo 3	Ficou evidenciado que, ao serem explorados os atributos de persuasão da Teoria da Difusão da Inovação nas demonstrações das tecnologias industriais avançadas, há uma maior compreensão dos benefícios associados a essas tecnologias. Adicionalmente, o estudo identificou três elementos que impactam diretamente as demonstrações das TIA: a influência do líder do CT, o planejamento das demonstrações e a utilização estratégica dos atributos de persuasão durante essas demonstrações.	A contribuição teórica deste estudo reside na sua lente teórica, que articula os atributos de Persuasão da Teoria da Difusão da Inovação com os processos de demonstração das tecnologias industriais avançadas, oferecendo uma nova perspectiva para o planejamento e a gestão da inovação. O estudo também avança na discussão sobre a importância do planejamento de projetos de demonstração das tecnologias industriais avançadas como estratégia para mitigar barreiras à sua adoção. Além disso, destaca-se a influência do perfil dos líderes de projetos com TIA, especialmente na condução de demonstrações com fins comerciais.	A principal limitação do estudo consiste em ter considerado apenas CTs de uma única organização, o que pode refletir características culturais e estruturais específicas da empresa analisada, limitando a generalização dos resultados. Outra limitação refere-se ao baixo volume de visitas aos CTs durante o período de coleta de dados, o que reduziu a diversidade de percepções dos clientes sobre as demonstrações das tecnologias.	Para pesquisas futuras, recomenda-se ampliar a investigação para CTs de diferentes organizações e setores, possibilitando uma análise mais abrangente e comparativa. Além disso, sugere-se o desenvolvimento de um método prescritivo que integre atributos da persuasão às etapas de planejamento e execução das demonstrações nos CTs, com o objetivo de fortalecer a adoção das tecnologias industriais avançadas e mitigar barreiras culturais, técnicas e comportamentais associadas ao processo decisório.
Estudo 4	Desenvolvimento e validação de método para planejamento de pré-projetos voltado à demonstração de TI4.0 - FRONTI4.0: <i>Front-End Planning for Industry 4.0 Projects</i> .	O estudo culminou no desenvolvimento do método FRONTI4.0 e de suas ferramentas de apoio, incluindo o Mapa das Tecnologias — que relaciona as TIA às suas barreiras de adoção — e o Mapa de Persuasão, que conecta a tecnologia foco às personas e aos atributos de persuasão. Também foram produzidos vídeos com apoio de IA para demonstrar o método em português e espanhol. O conjunto de ferramentas reforça a aplicação prática da Teoria da Difusão da Inovação em projetos relacionados às Indústrias 4.0 e 5.0, ampliando a compreensão dos fatores que influenciam a adoção de tecnologias industriais avançadas em ambientes de demonstração.	Os processos de avaliação e validação do método foram mais limitados do que o inicialmente planejado, sendo realizado por meio de um grupo focal exploratório e, posteriormente, por um grupo de dez praticantes. Essa limitação pode ter restringido o aprofundamento e o aprimoramento do método.	Como proposta para estudos futuros, recomenda-se a realização de uma nova rodada de avaliação do método com, pelo menos, mais um grupo focal, a fim de identificar melhorias que possam acelerar sua implementação. Além disso, sugere-se o desenvolvimento do produto final, uma vez que, até o momento, foi avaliado apenas um produto mínimo viável - MVP.

Nota. Elaborado pelo autor (2025).

6.3. CONTRIBUIÇÕES TEÓRICAS

A estrutura da tese, desenvolvida por meio de estudos múltiplos e inter-relacionados, possibilitou a realização de quatro estudos que culminaram no desenvolvimento do artefato. Portanto, as contribuições da presente tese decorrem tanto do artefato, que atende ao objetivo geral da pesquisa, quanto das contribuições específicas geradas por cada um dos quatro estudos.

O **Estudo 1** identificou e validou um conjunto de nove barreiras que dificultam a adoção das TIA no contexto específico das demonstrações realizadas em Centros Tecnológicos. Esse achado é particularmente relevante, pois a literatura tradicional concentra-se majoritariamente em ambientes industriais operacionais, deixando pouco explorado o papel dos CTs como mecanismos intermediários de aprendizagem, convencimento e tomada de decisão tecnológica. O estudo também evidenciou que o planejamento estruturado das demonstrações, considerando objetivos, público-alvo e atributos de valor, atua como elemento crítico para mitigar barreiras cognitivas, organizacionais e tecnológicas, favorecendo a adoção das TIA.

Além disso, o **Estudo 2** contribui para a discussão sobre o planejamento durante a fase de pré-projeto, especificamente ao abordar uma lacuna relacionada ao planejamento de projetos de pequeno porte. Do ponto de vista prático, o estudo oferece um modelo para o planejamento de pré-projetos de pequeno porte, uma ferramenta simplificada que se diferencia das estruturas existentes por apresentar fases bem definidas e objetivos claros. Essa abordagem permite que profissionais com experiência limitada em projetos apliquem práticas estruturadas de planejamento, ampliando a discussão sobre o tema e garantindo alinhamento estratégico com os princípios de Governança de Projetos.

O **Estudo 3** contribuiu ao articular os atributos de Persuasão da Teoria da Difusão da Inovação com os processos de demonstração das TIA, oferecendo uma nova lente teórica para compreender e orientar o planejamento de iniciativas de difusão tecnológica. Ao integrar esses elementos, o estudo evidencia que a demonstração tecnológica não é apenas uma atividade técnica, mas também um processo de comunicação persuasiva, fortemente influenciado pela clareza dos benefícios percebidos, pela compatibilidade com a realidade da empresa usuária e pela complexidade percebida da solução. O estudo também destacou o papel determinante do perfil dos líderes de projeto, especialmente em demonstrações com finalidade comercial, reforçando a importância das competências comunicacionais, técnicas e relacionais na condução de interações de alto impacto.

Por fim, o **Estudo 4**, construído a partir dos achados dos estudos anteriores, apresentou a principal contribuição da tese, relacionada à disseminação das tecnologias industriais

avanzadas. O método proposto orienta empresas provedoras de TIA sobre como realizar o planejamento de pré-projetos de Centros Tecnológicos voltados à demonstração e difusão dessas tecnologias — o *Front-End Planning for Industry 4.0 Projects* (**FRONTI4.0**). Essa contribuição reforça a importância do planejamento de pré-projetos que visam à demonstração das tecnologias pilares das Indústrias 4.0 e 5.0.

Para sustentar o método FRONTI4.0, foram desenvolvidas ferramentas complementares, como o **Mapa das Tecnologias**, que associa as tecnologias industriais avançadas às respectivas barreiras de adoção, importante etapa para o processo de disseminação das TIA. Além disso, foi elaborado o **Mapa de Persuasão**, que favorece um exercício que relaciona um tripé composto por: (i) a TIA foco da demonstração; (ii) os atributos de persuasão; e (iii) a persona-alvo da demonstração. O Mapa de Persuasão é elemento central do FRONTI4.0 e pode inclusive ser utilizado fora do método, para compreender quais atributos da persuasão são mais relevantes para determinada TIA e como podem ser abordados com base no perfil de cada persona, trazendo uma contribuição significativa para a adoção de novas tecnologias.

6.4. CONTRIBUIÇÕES METODOLÓGICAS

A contribuição metodológica da tese reside na própria organização da tese, por meio de uma estrutura alternativa, que incorpora a interdependência entre os artigos em todas as suas fases, desenvolvida a partir de estudos múltiplos e interligados (da Costa *et al.*, 2024). Esta estrutura por estudos contribui para uma segmentação do problema da pesquisa e favorece a produção acadêmica com a publicação dos estudos ajustados a artigos.

Adicionalmente, a tese adotou a abordagem metodológica *Design Science Research* (DSR), caracterizada por sua flexibilidade, alinhamento ao rigor científico e orientação para a solução de problemas de campo, integrando teoria e prática e gerando conhecimento aplicável (Gregor & Zwikael, 2024). A DSR possibilitou a criação e avaliação de um artefato do tipo método, que evoluiu ao longo das etapas do processo, permitindo ajustes contínuos até sua entrega final. Esta abordagem mostra-se especialmente adequada quando o pesquisador possui forte presença no campo em que a pesquisa é conduzida, pois viabiliza a adaptação da solução ao problema identificado à medida que se aprofunda no contexto real, sem perder o rigor teórico. As etapas da DSR estão interligadas em um ciclo iterativo, no qual o pesquisador revisita continuamente as fases do processo, ampliando sua compreensão sobre o problema e promovendo o aprimoramento progressivo do artefato desenvolvido.

6.5. LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A pesquisa está limitada ao contexto das tecnologias industriais avançadas aplicadas em espaços físicos, como CTs, podendo ser ampliada futuramente para ambientes como *showrooms* ou projetos de demonstradores em feiras de negócios. O desenvolvimento do método foi conduzido considerando exclusivamente ambientes físicos; por essa razão, não há designação específica para sua aplicação em ambientes virtuais, embora também não existam restrições explícitas que impeçam essa utilização.

Uma limitação metodológica refere-se à coleta de dados de campo, realizada durante o período do doutorado sanduíche. Essa coleta ocorreu em Centros Tecnológicos de uma única empresa, o que pode refletir características culturais e regionais específicas, influenciando práticas de planejamento de projetos. Além disso, a etapa de demonstração e avaliação do artefato foi conduzida de forma mais restrita do que o planejado inicialmente, por meio de um grupo focal exploratório e, posteriormente, entrevistas com dez profissionais. Essa limitação pode ter reduzido o potencial de aprofundamento e aprimoramento do método proposto.

6.6. PESQUISAS FUTURAS

A tese abre possibilidades para estudos futuros. Uma delas é a atualização do método com base nos *insights* obtidos durante a etapa de avaliação com os usuários, seguida por uma nova rodada de validação por meio de um grupo focal de confirmação.

Além da atualização e validação do método, existe a oportunidade de ampliar sua aplicação para uma classe de problemas mais abrangente, explorando seu uso em diferentes contextos que envolvam o planejamento de pré-projetos.

REFERÊNCIAS

- Abreu, N. (2009). Focal groups on-line: From the conceptual reflections to the virtual environment application. *JISTEM Journal of Information Systems and Technology Management*, 6(1), 5–24. <https://doi.org/10.4301/s1807-17752009000100001>
- Abuhasel, K. A., & Khan, M. A. (2020). A secure industrial internet of things (IIoT) framework for resource management in smart manufacturing. *IEEE Access*, 8, 117354–117364. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3004711>
- Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (07 de novembro de 2025). In *Industria 4.0*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.abdi.com.br/industria40/>.
- Aghimien, D., Aigbavboa, C., Oke, A., & Setati, M. (2018). Challenges of front-end loading in construction project delivery. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, 5(2). <https://doi.org/10.14455/isec.res.2018.79>
- Ahmetoglu, S., Che Cob, Z., & Ali, N. (2023). Internet of Things adoption in the manufacturing sector: A conceptual model from a multi-theoretical perspective. *Applied Sciences*, 13(6). <https://doi.org/10.3390/app13063856>
- Ajzen, I. (1991). The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2), 179–211. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(91\)90020-T](https://doi.org/10.1016/0749-5978(91)90020-T)
- Ajzen, I. (2012). The theory of planned behavior. In P. A. M. Van Lange, A. W. Kruglanski, & E. T. Higgins (Eds.), *Handbook of theories of social psychology* (Vol. 1, pp. 438–459). SAGE. <https://doi.org/10.4135/9781446249215.n22>
- Ajzen, I., & Fishbein, M. (1975). *A Bayesian analysis of attribution processes*. *Psychological Bulletin*, 82(2). <https://doi.org/10.1037/h0076477>
- Akbari, M., Kok, S. K., Hopkins, J., Frederico, G. F., Nguyen, H., & Alonso, A. D. (2024). The changing landscape of digital transformation in supply chains: impacts of industry 4.0 in Vietnam. *The international journal of logistics management*, 35(4), 1040-1072. <https://doi.org/10.1108/IJLM-11-2022-0442>
- Alatise, M. B., & Hancke, G. P. (2020). A review on challenges of autonomous mobile robot and sensor fusion methods. *IEEE Access*, 8, 39830–39846. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2975643>
- Alguliyev, R., Imamverdiyev, Y., & Sukhostat, L. (2018). Cyber-physical systems and their security issues. *Computers in Industry*, 100, 212–223. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2018.04.017>

- Ali, O., Shrestha, A., Jaradat, A., & Al-Ahmad, A. (2022). An evaluation of key adoption factors towards using the fog technology. *Big Data and Cognitive Computing*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/bdcc6030081>
- Alturas, B. (2019). *Models of acceptance and use of technology: Research trends in the 21st century*. <https://aisel.aisnet.org/capsi2019>
- Arrouj, A. (2017). *FronD-End Loading and its Impact on Cost Overruns in the Norwegian Public Sector* (Master's thesis, University of Stavanger Norway). Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://nva.sikt.no/registration/01990408b579-3b78858c-3923-4075-b893-aac3c4b23a84>.
- Associação Brasileira de Automação. (2019). *Conheça o Centro de Inovação e Tecnologia da GSI Brasil*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://noticias.gslbr.org/conheca-o-centro-de-inovacao-e-tecnologia-da-gsl-brasil/>.
- Attiany, M. S., Al-Kharabsheh, S. A., Al-Makhariz, L. S., Abed-Qader, M. A., Al-Hawary, S. I. S., MoHammad, A. A., & Rahamneh, A. A. A. L. (2023). Barriers to adopt Industry 4.0 in supply chains using interpretive structural modeling. *Uncertain Supply Chain Management*, 11(1), 299–306. <https://doi.org/10.5267/j.uscm.2022.9.013>
- Bahrin, M. A. K., Othman, M. F., Azli, N. H. N., & Talib, M. F. (2016). Industry 4.0: A review on industrial automation and robotics. *Jurnal Teknologi*, 78(6–13), 137–143. <https://doi.org/10.11113/jt.v78.9285>
- Barshop, P. (2009). *Independent project analysis newsletter* (Vol. 1, No. 4). Independent Project Analysis. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.ipaglobal.com/wp-content/uploads/2019/01/IPA-Newsletter-2009-Q4-Volume-1-Issue-4.pdf>.
- Barshop, P. (2016). *Capital projects: What every executive needs to know to avoid costly mistakes and make major investments pay off*. John Wiley & Sons.
- Baumgartner, M., Kopp, T., & Kinkel, S. (2022). Analysing factory workers' acceptance of collaborative robots: A web-based tool for company representatives. *Electronics*, 11(1), 145. <https://doi.org/10.3390/electronics11010145>
- Benbasat, I., Goldstein, D. K., & Mead, M. (1987). The case research strategy in studies of information systems. *MIS Quarterly*, 11(3), 369–386. <https://doi.org/10.2307/248684>
- Bingham, E., & Gibson Jr., G. E. (2017). Infrastructure project scope definition using Project Definition Rating Index. *Journal of Management in Engineering*, 33(2), 04016037. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000470](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000470)

- Bleda, A. L., Jara, A. J., Maestre, R., Santa, G., & Gómez Skarmeta, A. F. (2012). Evaluation of the impact of furniture on communications performance for ubiquitous deployment of wireless sensor networks in smart homes. *Sensors*, 12(5), 6463-6496. <https://doi.org/10.3390/s120506463>.
- Bobbe, T., Oppici, L., Lüneburg, L. M., Münzberg, O., Li, S. C., Narciss, S., Simon, K. H., Krzywinski, J., & Muschter, E. (2021). What early user involvement could look like—Developing technology applications for piano teaching and learning. *Multimodal Technologies and Interaction*, 5(7). <https://doi.org/10.3390/mti5070038>
- Bosnjak, M., Ajzen, I., & Schmidt, P. (2020). The theory of planned behavior: Selected recent advances and applications. *Europe's Journal of Psychology*, 16(3), 352–356. <https://doi.org/10.5964/ejop.v16i3.3107>
- Braga, I., Nogueira, M., Santos, N., & Machado, R. J. (2020). Does the Lean Inception methodology contribute to the software project initiation phase? In *Computational Science and Its Applications–ICCSA 2020: 20th International Conference, Cagliari, Italy, July 1–4, 2020, Proceedings, Part VI* (pp. 741–752). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58820-5_53
- Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). *Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry* (No. KI-BD-20-021-EN-N). Directorate General for Research and Innovation (DG RTD) of the European Commission. DOI: 10.2777/308407
- Brinkmann, S. (2014). Unstructured and semi-structured interviewing. In P. Leavy (Ed.), *The Oxford handbook of qualitative research* (pp. 277–299). Oxford University Press.
- Brown, T. (2008). Design thinking. *Harvard business review*, 86(6), 84.
- Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., Azevedo, B. D., Nascimento, D. L. de M., & Quelhas, O. L. G. (2022). Challenges and benefits of sustainable Industry 4.0 for operations and supply chain management—A framework headed toward the 2030 agenda. *Sustainability (Switzerland)*, 14(2), Article 830. <https://doi.org/10.3390/su14020830>
- Calabrese, A., Dora, M., Levialdi Ghiron, N., & Tiburzi, L. (2022). Industry's 4.0 transformation process: How to start, where to aim, what to be aware of. *Production Planning & Control*, 33(5), 492–512. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1830315>
- Capes, 2025. Documento de áreas: *Administração Pública e de Empresas, Ciências, Contábeis e Turismo – áreas 27*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.gov.br/capes/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/avaliacao/sobre-a-avaliacao/areas-avaliacao/sobre-as-areas-de->

[avaliacao/colégio-de-humanidades/ciencias-sociais-aplicadas/copy_of_ADM_DOCREA_2025_2028.pdf](#).

Caroli, P. (2017). *Lean inception*. Caroli.org.

Carvalho, M. M., & Rabechini, R. (2017). Can project sustainability management impact project success? An empirical study applying a contingent approach. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1120–1132. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.02.018>

Chauhan, C., Singh, A., & Luthra, S. (2021). Barriers to Industry 4.0 adoption and its performance implications: An empirical investigation of emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 285, 124809. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124809>

Cho, C.-S., & Gibson, E. (2001). Building project scope definition using project definition rating index. *Journal of Architectural Engineering*, 7(4), 115–125. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1076-0431\(2001\)7:4\(115\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1076-0431(2001)7:4(115))

Chouhan, M., Rajesh, R., & Sahu, R. (2025). Resilience enhancers and barriers analysis for Industry 4.0 in supply chains using grey influence analysis (GINA). *Journal of Industrial Information Integration*, 43, 100735. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100735>

Collins, W., Parrish, K., & Gibson, G. E. (2017). Development of a project scope definition and assessment tool for small industrial construction projects. *Journal of Management in Engineering*, 33(4), 1–15. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000514](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000514)

Construction Industry Institute. (1995). Pre-project planning handbook. *Construction Industry Institute*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.construction-institute.org/front-end-planning>.

Construction Industry Institute. (2012a). Front end planning by the numbers. *Construction Industry Institute*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.construction-institute.org/front-end-planning>.

Construction Industry Institute. (2012b). Construction Industry Institute best practices guide: Improving project performance. *Construction Industry Institute*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.construction-institute.org/front-end-planning>.

Construction Industry Institute. (2014). Project definition rating index: Industrial projects (p. 119). *Construction Industry Institute*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.construction-institute.org/front-end-planning>.

- Construction Industry Institute. (2015). Project definition rating index: Small industrial projects. *The University of Texas*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.construction-institute.org/front-end-planning>.
- Cooper, R. G., & Edgett, S. J. (2008). Maximizing productivity in product innovation. *Research-Technology Management*, 51(2), 47–58. <https://doi.org/10.1080/08956308.2008.11657495>
- Cordeiro, R. F., Reis, L. P., & Fernandes, J. M. (2024). A study on the barriers that impact the adoption of Industry 4.0 in the context of Brazilian companies. *The TQM Journal*, 36(1), 361–384. <https://doi.org/10.1108/TQM-07-2022-0239>
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2021). *Projeto de pesquisa: Métodos qualitativo, quantitativo e misto* (5ª ed.). Penso Editora.
- Cugno, M., Castagnoli, R., & Büchi, G. (2021). Openness to Industry 4.0 and performance: The impact of barriers and incentives. *Technological Forecasting and Social Change*, 168, 120756. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120756>
- da Costa, P. R., Pigola, A., Ramos, H. R., & Pedron, C. D. (2024). Estruturas de tese de doutorado para convergência científica, técnica, tecnológica e social. *Revista Ibero-Americana de Estratégia*, 23(1), e26202-e26202. <https://doi.org/10.5585/2024.26202>
- da Costa, P. R., Ramos, H. R., & Pedron, C. D. (2019). Proposição de estrutura alternativa para tese de doutorado a partir de estudos múltiplos. *Revista Ibero-Americana de Estratégia*, 18(2), 155–170. <https://doi.org/10.5585/ijsm.v18i2.2783>
- da Silva, N. A., Abreu, J. L., Orsolin Klingenberg, C., Antunes Junior, J. A. V., & Lacerda, D. P. (2022). Industry 4.0 and micro and small enterprises: Systematic literature review and analysis. *Production and Manufacturing Research*, 10(1), 696–726. <https://doi.org/10.1080/21693277.2022.2124466>
- Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319–340. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <http://www.jstor.org/stable/249008>.
- de Ana, F. J., Umstead, K. A., Phillips, G. J., & Conner, C. P. (2013). Value driven innovation in medical device design: A process for balancing stakeholder voices. *Annals of Biomedical Engineering*, 41(9), 1811–1821. <https://doi.org/10.1007/s10439-013-0779-5>
- de Paula, D., Marx, C., Wolf, E., Dremel, C., Cormican, K., & Uebernickel, F. (2023). A managerial mental model to drive innovation in the context of digital transformation. *Industry and Innovation*, 30(1), 42–66.

- <https://doi.org/10.1080/13662716.2022.2072711>
- Delgado, R., Kim, S. Y., You, B. J., & Choi, B. W. (2016). An EtherCAT-based real-time motion control system in mobile robot application. In *2016 13th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)* (pp. 710–715). IEEE. <https://doi.org/10.1109/URAI.2016.7734098>
- Demšar, A. (2016). ITMA 2015-Strojna oprema za proizvodnjo kemičnih vlaken. *Tekstilec*, 59(3). <http://doi.org/10.14502/Tekstilec2016.59.268-274>
- Diakonova, S., Artyshchenko, S., Panfilov, D., & Gusev, M. (2021, October). Factors influenced on the connection density in the innovation diffusion process. In *XIV International Scientific Conference "INTERAGROMASH 2021" Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Volume 1* (pp. 878-886). Cham: Springer International Publishing.. http://doi.org/10.1007/978-3-030-81619-3_98
- Diegues, A. C., & Roselino, J. E. (2023). Industrial policy, techno-nationalism and Industry 4.0: China-USA technology war. *Brazilian Journal of Political Economy*, 43(1), 5-25. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://doi.org/10.1590/0101-31572023-3247>.
- Dijksterhuis, E., & Silvius, G. (2017). The design thinking approach to projects. *The Journal of Modern Project Management*, 4(3). Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://journalmodernpm.com/manuscript/index.php/jmpm/article/download/JMPM01205/250>.
- Dionisi, F. (2023). *Gestão de projetos industriais com base na metodologia FEL* (2ª ed.). Editora Dionisi.
- Drahos, P., Kucera, E., Haffner, O., Pribis, R., & Beno, L. (2022). Trends in industrial networks including APL, TSN, WiFi-6E and 5G technologies. In *Proceedings of the 31st International Conference on Cybernetics and Informatics (K and I 2022)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/KI55792.2022.9925965>
- Dresch, A., Lacerda, D. P., & Junior, J. A. V. A. (2020). *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Bookman Editora.
- Durão, D., & Palma dos Reis, A. (2025). An Organizational Perspective on Robotic Process Automation Adoption and Usage Factors. *Applied System Innovation*, 8(2), 33. <https://doi.org/10.3390/asi8020033>
- Edkins, A., Geraldi, J., Morris, P., & Smith, A. (2013). Exploring the front-end of project management. *Engineering Project Organization Journal*, 3(2), 71–85. <https://doi.org/10.1080/21573727.2013.775942>

- Einhorn, F., Marnewick, C., & Meredith, J. (2019). Achieving strategic benefits from business IT projects: The critical importance of using the business case across the entire project lifetime. *International Journal of Project Management*, 37(8), 989–1002. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.09.001>
- El Asmar, M., & Gibson, G. E. (2018). The cost impact of front end engineering design (FEED) accuracy for large industrial projects. *Proceedings of International Structural Engineering and Construction*, 5(1), 2–7. <https://doi.org/10.14455/isec.res.2018.53>
- Elhousseiny, H. M., & Crispim, J. (2022). SMEs, barriers and opportunities on adopting Industry 4.0: A review. *Procedia Computer Science*, 196, 864–871. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.086>
- Eliseo, M. A., Silveira, I. F., Martins, V. F., de la Higuera Amato, C. A., Cunha, D. V., Junior, L. C., Cristiano, G. B., Chuang, F., & Tanikawa, F. (2022). An overview of Brazilian companies on the adoption of Industry 4.0 practices. *Communications in Computer and Information Science*, 1707, 15–27. https://doi.org/10.1007/978-3-031-24709-5_2
- Ellison, G., & Glaeser, E. L. (1997). Geographic concentration in U.S. manufacturing industries: a dartboard approach. *Journal of political economy*, 105(5), 889–927. <https://doi.org/10.1086/262098>
- Ellram, L. M. (1993). A framework for total cost of ownership. *The International Journal of Logistics Management*, 4(2), 49–60. <https://doi.org/10.1108/09574099310804957>
- European Commission (2020, junho). Advanced Technologies for Industry: Technology Centre Mapping. *European Union*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em https://monitor-industrial-ecosystems.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-12/ATI%20-%20Providing%20useful%20guidance%20to%20industries%2C%20policy%20makers%20and%20academics_0.pdf
- Faniran, O., Love, P., & Smith, J. (2000). Effective front-end project management – A key element in achieving project success in developing countries. *CIB World Building Congress 2000*, 29(TG29). Acesso em 16 de novembro de 2025 em https://research.bond.edu.au/files/29619563/Effective_Front_End_Project_Management.pdf
- Ferrer, V., Rahat, R., Pradhananga, P., & Elzomor, M. (2022). Integrating front-end planning and infrastructure sustainability in construction education through problem-based learning. In *Construction Research Congress 2022* (pp. 49–59). <https://doi.org/10.1061/9780784483985.006>

- Festo. (n.d.). *Festo Experience Center: Creating results for automation excellence*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em https://www.festo.com/de/en/e/about-festo/festo-experience-center-id_1083170/.
- Florén, H., & Frishammar, J. (2012). From preliminary ideas to corroborated product definitions: Managing the front end of new product development. *California management review*, 54(4), 20-43. <https://doi.org/10.1525/cmvr.2012.54.4.20>
- Forcina, A., & Falcone, D. (2021). The role of Industry 4.0 enabling technologies for safety management: A systematic literature review. *Procedia Computer Science*, 180, 436–445. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.260>
- Ford, R. C., & Yoho, K. D. (2025). Design thinking: Executing your organization's commitment to customer centricity. *Organizational Dynamics*, 54(1), 101077. <https://doi.org/10.1016/j.orgdyn.2024.101077>
- Gasemagha, A. A., & Kowang, T. O. (2021). Project manager role in project management success. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 11(13), 1345–1355. <http://dx.doi.org/10.6007/IJARBS/v11-i3/9230>
- George, R., Bell, L. C., & Back, W. E. (2008). Critical activities in the front-end planning process. *Journal of Management in Engineering*, 24(2), 66–74. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0742-597X\(2008\)24:2\(66\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0742-597X(2008)24:2(66))
- Gerring, J. (2017). Qualitative methods. In O. Idowu (Ed.), *Handbook of research methods in corporate social responsibility* (pp. 225–229). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.1177/0010414006296344>
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119869. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119869>
- Ghobakhloo, M., Fathi, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., & Morales, M. E. (2021). Industry 4.0 ten years on: A bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants. *Journal of Cleaner Production*, 302, 127052. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127052>
- Gibson, G. E., El Asmar, M., Yussef, A., & Ramsey, D. (2023). A novel approach for measuring the accuracy of front end engineering design. *Engineering, Construction and Architectural Management*. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2022-0418>
- Gibson, G. E., Irons, K. T., & Ray, M. P. (2006). Front end planning for buildings. In *AEI 2006: Building integration solutions - Proceedings of the 2006 Architectural Engineering National Conference* (p. 41). [https://doi.org/10.1061/40798\(190\)41](https://doi.org/10.1061/40798(190)41)

- Gibson, G. E., Kaczmarowski, J. H., & Lore, H. E. (1995). Preproject-planning process for capital facilities. *Journal of Construction Engineering and Management*, 121(3), 312–318. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1995\)121:3\(312\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1995)121:3(312))
- Godoi, C. K., Bandeira-de-Mello, R., & da Silva, A. B. (2017). *Pesquisa qualitativa em estudos organizacionais: Paradigmas, estratégias e métodos* (2^a ed.). Saraiva.
- Golovianko, M., Terziyan, V., Branytskyi, V., & Malyk, D. (2022). Industry 4.0 vs. Industry 5.0: Co-existence, transition, or a hybrid. *Procedia Computer Science*, 217, 102–113. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.206>
- Gonera, A., Svanes, E., Bugge, A. B., Hatlebakk, M. M., Prexl, K. M., & Ueland, Ø. (2021). Moving consumers along the innovation adoption curve: A new approach to accelerate the shift toward a more sustainable diet. *Sustainability (Switzerland)*, 13(8). <https://doi.org/10.3390/su13084477>
- Gonzalez, A. G., Quinonero, D. R., & Vega, S. F. (2021). Assessment of the degree of implementation of Industry 4.0 technologies: Case study of Murcia region in southeast Spain. *Engineering Economics*, 32(5), 422–432. <https://doi.org/10.5755/J01.EE.32.5.27943>
- Govindan, K., & Arampatzis, G. (2023). A framework to measure readiness and barriers for the implementation of Industry 4.0: A case approach. *Electronic Commerce Research and Applications*, 59, 101249. <https://doi.org/10.1016/j.elerap.2023.101249>
- Grall, M., Charue-Duboc, F., & BenMahmoud-Jouini, S. (2025). Bridging project management and design thinking: Evidence from digital transformation projects. *Project Management Journal*, 56(3), 390–410. <https://doi.org/10.1177/87569728251337426>
- Gregor, S., & Zwikael, O. (2024). Design science research and the co-creation of project management knowledge. *International Journal of Project Management*, 42(3), 102584. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2024.102584>
- Gregor, S., Chandra Kruse, L., & Seidel, S. (2020). Research perspectives: the anatomy of a design principle. *Journal of the Association for Information Systems*, 21(6), 2. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://aisel.aisnet.org/jais/vol21/iss6/2/>.
- Guimaraes, A., e Oliveira, E., Oliveira, M., & Pereira, T. (2025). Effects of Lean Tools and Industry 4.0 technology on productivity: An empirical study. *Journal of Industrial Information Integration*, 44, 100787. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2025.100787>
- Haddadi, A., JoHansen, A., & Bjørberg, S. (2017). Best value approach (BVA): Enhancing value creation in construction projects. *Business Systems Research*, 8(2), 84–100. <https://doi.org/10.1515/bsrj-2017-0018>

- Haki, K., Tanriverdi, H., Safaei, D., Schmid, M., Aier, S., & Winter, R. (2024). Generativity and profitability on B2B innovation platforms: A simulation-based theory development. *MIS quarterly*, 48(2), 583-612. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2023/17701>
- Hamada, T. (2019). Determinants of decision-makers' attitudes toward Industry 4.0 adaptation. *Social Sciences*, 8(5), 140. <https://doi.org/10.3390/socsci8050140>
- Hammad, M. Y., Rahamaddulla, S. R., Sorooshian, S., Tamyez, P. F. M., Fauzi, M. A. (2025). Developing countries and the Industry 4.0 movement: research mapping for practical insights. *Bangladesh Journal of Multidisciplinary Scientific Research*. <https://doi.org/10.46281/bjmsr.v10i6.2587>
- Handoko, A. L., et al. (2023). Innovation diffusion model in auditors' acceptance of metaverse technology. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 31(14). Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.jatit.org/volumes/Vol1101No14/6Vol1101No14.pdf>.
- Hansen, S., Too, E., & Le, T. (2018). Retrospective look on front-end planning in the construction industry: A literature review of 30 years of research. *International Journal of Construction Supply Chain Management*, 8(1), 19–42. <https://doi.org/10.14424/ijcscm801018-19-42>
- Hansen, S., Too, E., & Le, T. (2018). Retrospective look on front-end planning in the construction industry. *International Journal of Construction Supply Chain Management*, 8(1), 19–42. <https://doi.org/10.14424/ijcscm801018-19-42>
- Hassan, M. A., Zardari, S., Farooq, M. U., Alansari, M. M., & Nagro, S. A. (2024). Systematic analysis of risks in Industry 5.0 architecture. *Applied Sciences*, 14(4), 1466. <https://doi.org/10.3390/app14041466>
- Herceg, I. V., Kuč, V., Mijušković, V. M., & Herceg, T. (2020). Challenges and driving forces for Industry 4.0 implementation. *Sustainability*, 12(10), 4208. <https://doi.org/10.3390/su12104208>
- Heuschkel, S. (2023). The impact of no-code on digital product development. *arXiv preprint arXiv:2307.16717*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.16717>
- Heynicke, R., Krush, D., Cammin, C., Scholl, G., Kaercher, B., Ritter, J., Gaggero, P., & Rentschler, M. (2018). IO-Link wireless enhanced factory automation communication for Industry 4.0 applications. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 7(1), 131–142. <https://doi.org/10.5194/jsss-7-131-2018>
- Horváth, D., & Szabó, R. Z. (2019). Driving forces and barriers of Industry 4.0: Do

- multinational and small and medium-sized companies have equal opportunities? *Technological Forecasting and Social Change*, 146, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.05.021>
- Independent Project Analysis. (n.d.). *IPA glossary: IPA terms and metrics defined*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.ipaglobal.com/about/ipa-glossary/>.
- Jain, M., et al. (2023). Selection of technology acceptance model in Agri-Fresh supply chains. *Sustainability*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/su15064821>
- Jan, Z., Ahamed, F., Mayer, W., Patel, N., Grossmann, G., Stumptner, M., & Kuusk, A. (2023). Artificial intelligence for Industry 4.0: Systematic review of applications, challenges, and opportunities. *Expert Systems with Applications*, 216, 119456. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119456>
- Janmaijaya, M., Shukla, A. K., Muhuri, P. K., & Abraham, A. (2021). Industry 4.0: Latent Dirichlet allocation and clustering based theme identification of bibliography. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 103, 104280. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104280>
- Jin, Y., Chanal, H., & Paccot, F. (2013). Parallel robot. In A. Y. C. Nee (Ed.), *Handbook of manufacturing engineering and technology* (pp. 1–33). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-4976-7_99-1
- Karabegović, I., Husak, E., Karabegović, E., & Mahmić, M. (2024, May). China is the leading country in the world in the implementation of robotic technology as the basic technology of Industry 4.0. In *International Conference on Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering* (pp. 612-621). Cham: Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-80512-7_60
- Kaur, R.; Singh, R.; Gehlot, A.; Priyadarshi, N.; Twala, B. (2022). Marketing Strategies 4.0: Recent Trends and Technologies in Marketing. In *Sustainability* (Switzerland). Volume 14, Issue 24 December 2022 Article number 16356. <https://doi.org/10.3390/su14241635>
- Khan, A. (2024). The Emergence of the Fourth Industrial Revolution and its Impact on International Trade. *ASR: CMU Journal of Social Sciences and Humanities* (2024) Vol, 11. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://ssrn.com/abstract=4650106>.
- Khan, M., Ahmad, A., Sobieczky, F., Pichler, M., Moser, B. A., & Bukovsky, I. (2022). A systematic mapping study of predictive maintenance in SMEs. *IEEE Access*, 10, 88738–88749. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3200694>
- Khilil, A., Shi, Z., Umar, A., & Ma, B. (2023). A new Industry 4.0 approach for development

- of manufacturing firms based on DFSS. *Processes*, 11(7), 2176. <https://doi.org/10.3390/pr11072176>
- Kumar, M. S., Gorshy, H., & Abdelgadir, A. K. (2017). Barriers of Industry 4.0 implementation in developing economy: A MICMAC analysis. *Journal of Computing Technologies*, 6(10), 10. Acesso em 16 de novembro de 2025 em http://jctjournals.com/Oct_2017/V1.pdf.
- Kumar, P., Bhamu, J., & Sangwan, K. S. (2021). Analysis of barriers to Industry 4.0 adoption in manufacturing organizations: An ISM approach. *Procedia CIRP*, 98, 85–90. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.010>
- Kuo, C. C., Shyu, J. Z., & Ding, K. (2019). Industrial revitalization via industry 4.0—A comparative policy analysis among China, Germany and the USA. *Global transitions*, 1, 3-14. <https://doi.org/10.1016/j.glt.2018.12.001>
- Kuteyi, D., & Winkler, H. (2022). Logistics challenges in sub-Saharan Africa and opportunities for digitalization. *Sustainability*, 14(4), 2399. <https://doi.org/10.3390/su14042399>
- Kwong, C. K., Jiang, H., & Luo, X. G. (2016). AI-based methodology of integrating affective design, engineering, and marketing for defining design specifications of new products. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 47, 49-60. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2015.04.001>
- Lacerda, D. P., Dresch, A., Proença, A., & Antunes Júnior, J. A. V. (2013). Design Science Research: A research method to production engineering. *Gestão & produção*, 20, 741-761. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>
- Lahiri, A., Cormican, K., & Sampaio, S. (2021). Design thinking: From products to projects. *Procedia Computer Science*, 181, 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.114>
- Landscheidt, S., & Kans, M. (2016). Method for assessing the total cost of ownership of industrial robots. *Procedia CIRP*, 57, 746–751. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.11.130>
- Lanz, L. Q., & Lanz, R. (2013, September). Tipologias e uma proposta de classificação de projetos. *PMKB - Project Management Knowledge Base*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://pmkb.com.br/tipologias-e-classificacao-de-projetos/>.
- Larson, R. (2004). The critical steps to managing small projects. *PMI® Global Congress 2004—EMEA*. <https://www.pmi.org/learning/library/unique-challenges-managing-small-project-8439>
- Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H. G., Feld, T., & Hoffmann, M. (2014). Industry 4.0. *Business*

- and Information Systems Engineering*, 6(4), 239–242. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>
- Lecossier, A., Pallot, M., Crubleau, P., & Richir, S. (2019a). Construction of an instrument to evaluate the user eXperience of a group of co-creators in the upstream innovation process. *International Journal of Services Operations and Informatics*, 10(1), 17–42. <https://doi.org/10.1504/IJSOI.2019.100615>
- Lecossier, A., Pallot, M., Crubleau, P., & Richir, S. (2019b). Towards radical innovations in a mature company: An empirical study on the UX-FFE model. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 33(2), 172–187. <https://doi.org/10.1017/S0890060419000118>
- Leng, J., Sha, W., Wang, B., Zheng, P., Zhuang, C., Liu, Q., ... & Wang, L. (2022). Industry 5.0: Prospect and retrospect. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 279-295. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.017>
- Lu, Y. (2021). Examining User Acceptance and Adoption of the Internet of Things. *Journal of Business Science and Applied Management*, 16. <https://hdl.handle.net/10419/261656>
- Machado, E. V. (2023, 26 de outubro). Estudo Exploratório das Barreiras das Tecnologias industriais avançadas. [Apresentação de Trabalho]. XI SINGEP and 11th CIK Online Conference, São Paulo. Acesso em 16 de novembro de 2025 em https://submissao.singep.org.br/11singep/trabalho-detalle.php?cod_trabalho=268.
- Machado, E. V. (2024, 24 de outubro). Framework para planejamento de front-end de projetos de pequeno porte [Apresentação de painel]. XII SINGEP and 12th CIK Online Conference, São Paulo. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://singep.org.br/12/wp-content/uploads/sites/11/2024/10/Programacao-Singep-V3.pdf>.
- Machado, E. V. (2025, 01 de outubro). *A Relevância dos Atributos da Persuasão da Difusão da Inovação em Projetos de Centros Tecnológicos da Indústria 4.0: Um Estudo de Caso Múltiplo*. [Apresentação de Trabalho]. XLIX EnANPAD 2025, Aracaju, SE/Brasil. Acesso em 16 de novembro de 2025 em https://eventos.anpad.org.br/pt_br/event/details/142/2097.
- MacVaugh, J., & Schiavone, F. (2010). Limits to the diffusion of innovation: A literature review and integrative model. In *European Journal of Innovation Management* (Vol. 13, Issue 2, pp. 197–221). <https://doi.org/10.1108/14601061011040258>

- Mahmoud-Jouini, S. B., Midler, C., & Silberzahn, P. (2016). Contributions of design thinking to project management in an innovation context. *Project management journal*, 47(2), 144-156. <https://doi.org/10.1002/pmj.21577>
- Majumdar, A., Garg, H., & Jain, R. (2021). Managing the barriers of Industry 4.0 adoption and implementation in textile and clothing industry: Interpretive structural model and triple helix framework. *Computers in Industry*, 125, 103372. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103372>
- Makkonen, H. S., & Johnston, W. J. (2014). Innovation adoption and diffusion in business-to-business marketing. *Journal of Business and Industrial Marketing*, 29(4), 324–331. <https://doi.org/10.1108/JBIM-08-2013-0163>
- Malach-Pines, A., Dvir, D., & Sadeh, A. (2007). Project manager–project fit and success. In *PICMET'07 Conference Proceedings* (pp. 2096–2106). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PICMET.2007.4349534>
- Martinsuo, M., Klakegg, O. J., & van Marrewijk, A. (2019). Editorial: Delivering value in projects and project-based business. *International Journal of Project Management*, 37(5), 631–635. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2019.01.011>
- Martinsuo, M., Suomala, P., & Kanninen, J. (2013). Evaluating the organizational impact of product development projects. *International Journal of Managing Projects in Business*, 6(1), 173–198. <https://doi.org/10.1108/17538371311291080>
- Mashhood, H., & Ali, M. (2022). Programming of 6 axis articulated robot for industrial applications. In A. T. Özkan (Ed.), *Optimization of industrial systems* (pp. 519–532). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119755074.ch40>
- Mayer, S., & Schwemmler, M. (2025). The impact of design thinking and its underlying theoretical mechanisms: A review of the literature. *Creativity and Innovation Management*, 34(1), 78-110. <https://doi.org/10.1111/caim.12626>
- Medeiros, B. C., Araújo, V. F. da S., Almeida, M. K. de, & Oliveira, S. (2018). Life Cycle Canvas (LCC): Um modelo visual para a gestão do ciclo de vida do projeto. *Gestão e Projetos*, 9(1), 87–101. <https://doi.org/10.5585/gep.v9i1.628>
- Merrow, E. W. (2024). *Industrial megaprojects: concepts, strategies, and practices for success*. John Wiley & Sons.
- Moeuf, A., Lamouri, S., Pellerin, R., Tamayo-Giraldo, S., Tobon-Valencia, E., & Eburdy, R. (2020). Identification of critical success factors, risks and opportunities of Industry 4.0 in SMEs. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1384-1400. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1636323>

- Molino, M., Cortese, C. G., & Ghislieri, C. (2020). The promotion of technology acceptance and work engagement in industry 4.0: From personal resources to information and training. *International journal of environmental research and public health*, 17(7), 2438. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072438>
- Moore, G. C., & Benbasat, I. (1991). Development of an instrument to measure the perceptions of adopting an information technology innovation. *Information systems research*, 2(3), 192-222. <https://doi.org/10.1287/isre.2.3.192>
- Moore, G. C., & Benbasat, I. (1996). Integrating diffusion of innovations and theory of reasoned action models to predict utilization of information technology by end-users. In *Diffusion and Adoption of Information Technology: Proceedings of the first IFIP WG 8.6 working conference on the diffusion and adoption of information technology, Oslo, Norway, October 1995* (pp. 132-146). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-387-34982-4_10
- Morgan, B. V. (1987). Benefits of project management at the front end. *International Journal of Project Management*, 5(2), 102–119. [https://doi.org/10.1016/0263-7863\(87\)90036-6](https://doi.org/10.1016/0263-7863(87)90036-6)
- Morgan, R. (2008). How to do RACI charting and analysis: a practical guide. *Project Smart..* Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.spanglefish.com/SystemSafetySolutions/documents/Safety-Documents/How-to-do-RACI-Charting-and-Analysis.pdf>.
- Morris, P. W. G. (2005). Managing the front end: How project managers shape business strategy and manage project definition. *PMI® Global Congress 2005—EMEA*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.pmi.org/learning/library/managing-front-end-project-business-strategy-7500>.
- Morris, P. W. G. (2016). Reflections. *International Journal of Project Management*, 34(2), 365–370. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.08.001>
- Motta, O. M., Luiz, O., Quelhas, G., Rodrigues, J., Filho, D. F., França, S., & Meiriño, M. (2014). Megaprojects front-end planning: The case of Brazilian organizations of engineering and construction. *American Journal of Industrial and Business Management*, 4(August), 401–412. <https://doi.org/10.4236/ajibm.2014.48049>
- Müller, J. M. (2019). Assessing the barriers to Industry 4.0 implementation from a workers' perspective. *IFAC-PapersOnLine*, 52(13), 2189–2194. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.530>
- Narwane, V. S., Raut, R. D., Yadav, V. S., & Singh, A. R. (2021). Barriers in sustainable Industry 4.0: A case study of the footwear industry. *International Journal of Sustainable*

- Engineering*, 14(3), 175–189. <https://doi.org/10.1080/19397038.2020.1836065>
- Nickelsen, N. C. M., & Bal, R. (2021). Workshops as tools for developing collaborative practice across professional social worlds in telemonitoring. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(1), 181. <https://doi.org/10.3390/ijerph18010181>
- Niknazar, P., & Bourgault, M. (2017). Theories for classification vs. classification as theory: Implications of classification and typology for the development of project management theories. *International Journal of Project Management*, 35(2), 191–203. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.11.002>
- Omron. (n.d.). *Worldwide Automation Center: The frontlines of Innovative-Automation! Where we work alongside our customers to solve production challenges*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://automation.omron.com/en/us/our-value/atc-poc/global>.
- Organização das Nações Unidas. (n.d.). Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://brasil.un.org/pt-br>
- Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico. (2025). *Number of employees by activities* (ISIC Rev. 4). Acesso em 16 de novembro de 2025 em [https://data-explorer.oecd.org/vis?df\[ds\]=dsDisseminateFinalDMZ&df\[id\]=DSD_ALFS%40DF_ALFS_EMP_EES&df\[ag\]=OECD.SDD.TPS&df\[vs\]=1.1&dq=.EMP..N..T.Y_GE15.I_CSE93_1.ATU%2BBTF%2BC.A&lom=LASTNPERIODS&lo=5&to\[TIME_PERIO D\]=false](https://data-explorer.oecd.org/vis?df[ds]=dsDisseminateFinalDMZ&df[id]=DSD_ALFS%40DF_ALFS_EMP_EES&df[ag]=OECD.SDD.TPS&df[vs]=1.1&dq=.EMP..N..T.Y_GE15.I_CSE93_1.ATU%2BBTF%2BC.A&lom=LASTNPERIODS&lo=5&to[TIME_PERIO D]=false)
- Orzes, G., Corso, E., & Magistrale, I. G. (2018). Industry 4.0 in small and medium enterprises. In *2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)* (pp. 1348–1352). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEEM.2018.8607523>
- Oyetade, K., Zuva, T., & Harmse, A. (2025). Integrating Industry 4.0 technologies into IT education. *Cogent Education*, 12(1), 2479195. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2023.2479195>
- Padyab, A., Habibipour, A., Rizk, A., & Ståhlbröst, A. (2020). Adoption barriers of IoT in large scale pilots. *Information (Switzerland)*, 11(1). <https://doi.org/10.3390/info11010023>
- Panchal, A. C., Khadse, V. M., & Mahalle, P. N. (2018). Security issues in IIoT: A comprehensive survey of attacks on IIoT and its countermeasures. In *2018 IEEE Global Conference on Wireless Computing and Networking (GCWCN)* (pp. 124–130). IEEE. <https://doi.org/10.1109/GCWCN.2018.8668630>

- Pansari, A., & Kumar, V. (2017). Customer engagement: Construct, antecedents, consequences. *Journal of the Academy of Marketing Science*, 45, 294–311. <https://doi.org/10.1007/s11747-016-0485-6>
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M. A., & Chatterjee, S. (2007). A design science research methodology for information systems research. *Journal of management information systems*, 24(3), 45–77. <https://doi.org/10.2753/MIS0742-1222240302>
- Pereira, J. C., & de FSM Russo, R. (2018). Design thinking integrated in agile software development: A systematic literature review. *Procedia computer science*, 138, 775–782. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.10.101>
- Perotti, S., Bastidas Santacruz, R. F., Bremer, P., & Beer, J. E. (2022). Logistics 4.0 in warehousing: A conceptual framework of influencing factors, benefits and barriers. *The International Journal of Logistics Management*, 33(5), 193–220. <https://doi.org/10.1108/IJLM-02-2022-0068>
- Pinto, J. K., & Slevin, D. P. (2018). Critical success factors across the project life cycle. *Project Management Journal*, June 1988, 1–11. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.pmi.org/learning/library/critical-success-factors-project-life-cycle-2131>.
- Prabhakar, G. P. (2008). What is project success: A literature review. *University of the West England*, 3(9), 3–10. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://uwe-repository.worktribe.com/index.php/preview/1021263/1244-3745-1-PB1.pdf>.
- Project Management Institute. (2000). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK Guide). Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2013). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide) (5th ed.). Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2021, July). A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) – Seventh Edition and The Standard for Project Management. Project Management Institute.
- Prorok, M., & Kosicka, I. (2021). Application of the design thinking method in customer experience management. *Marketing Instytucji Naukowych i Badawczych*, 42(4), 35–40. <https://doi.org/10.2478/minib-2021-0020>
- Przybilla, L., Klinker, K., Lang, M., Schreieck, M., Wiesche, M., & Krcmar, H. (2020). Design thinking in digital innovation projects—Exploring the effects of intangibility. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 69(4), 1635–1649. <https://doi.org/10.1109/TEM.2020.3036818>

- Puyt, R. W., Lie, F. B., & Madsen, D. Ø. (2025). From SOFT approach to SWOT analysis, a historical reconstruction. *Journal of Management History*, 31(2), 333-373. <https://doi.org/10.1108/JMH-05-2023-0047>
- Rabiee, F. (2004). Focus-group interview and data analysis. *Proceedings of the Nutrition Society*, 63(4), 655–660. <https://doi.org/10.1079/PNS2004399>
- Rahat, R., Ferrer, V., Pradhananga, P., & ElZomor, M. (2023). Developing an effective front-end planning framework for sustainable infrastructure projects. *International journal of construction management*, 23(16), 2841-2858. <https://doi.org/10.1080/15623599.2022.2105282>
- Rahbar, F., & Avalon, A. (2023). *Schedule optimization during front-end planning*. Core International Consulting. <https://www.long-intl.com/>
- Rahman, M., Emon, M. E. H., Antor, M. H., Haque, S. A., & Talapatra, S. (2025). Identification and prioritization of barriers to Industry 4.0 adoption in the context of food and beverage industries of Bangladesh. *Benchmarking: An International Journal*, 32(2), 757–783. <https://doi.org/10.1108/BIJ-06-2023-0371>
- Raj, A., Dwivedi, G., Sharma, A., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., & Rajak, S. (2020). Barriers to the adoption of Industry 4.0 technologies in the manufacturing sector: An inter-country comparative perspective. *International Journal of Production Economics*, 224, 107546. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107546>
- Ram, S., & Sheth, J. N. (1989). Consumer resistance to innovations: the marketing problem and its solutions. *Journal of consumer marketing*, 6(2), 5-14. <https://doi.org/10.1108/EUM0000000002542>
- Ramdani, N., Panayides, A., Karamousadakis, M., Mellado, M., Lopez, R., Christophorou, C., Rebiai, M., Blouin, M., Vellidou, E., & Koutsouris, D. (2019). A safe, efficient and integrated indoor robotic fleet for logistic applications in healthcare and commercial spaces: The ENDORSE concept. In *2019 IEEE International Conference on Mobile Data Management (MDM)* (pp. 425–430). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MDM.2019.000-8>
- Ramos, L. F. P., de Freitas Rocha Loures, E., Deschamps, F., Castilho Venâncio, A. L. A., & da Silva Serapião Leal, G. (2023). Assessment framework for proof of concept (PoC) in Industry 4.0 – An interoperability approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(10), 1482–1506. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2023.2189310>
- Rana, J., Daultani, Y., & Kumar, S. (2025). Driving Industry 4.0 success: Key antecedents in

- the automotive sector. *Measuring Business Excellence*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1108/MBE-01-2024-0001>
- Rathore, B., Gupta, R., Biswas, B., Srivastava, A., & Gupta, S. (2022). Identification and analysis of adoption barriers of disruptive technologies in the logistics industry. *The International Journal of Logistics Management*, 33(5), 136. <https://doi.org/10.1108/IJLM-07-2021-0352>
- Rawindaran, N., Jayal, A., & Prakash, E. (2021). Machine learning cybersecurity adoption in small and medium enterprises in developed countries. *Computers*, 10(11), 150. <https://doi.org/10.3390/computers10110150>
- Ribeiro, A., Amaral, A., & Barros, T. (2021). Project manager competencies in Industry 4.0. *Procedia Computer Science*, 181, 803–810. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.11.102>
- Rincon-Guio, C., Hernández-Ramírez, J., Martínez, C. M. O., Ponce, M. S. P., Baque-Cantos, M. A., Santistevan-Villacreses, K. L., ... & Medina, L. (2023). A systematic literature review on advances, trends and challenges in project management and industry 4.0. *LogForum*, 19(2). <http://doi.org/10.17270/J.LOG.2023.844>
- Robinson, P., & Lowe, J. (2015). Literature reviews vs systematic reviews. *Australian and New Zealand Journal of Public Health*, 39(2), 103. <https://doi.org/10.1111/1753-6405.12381>
- Roblek, V., Meško, M., & Krapež, A. (2016). A complex view of Industry 4.0. *SAGE Open*, 6(2). <https://doi.org/10.1177/2158244016653987>
- Rocha, I. F., & Kissimoto, K. O. (2022). Barreiras e benefícios na adoção de inteligência artificial e IoT na gestão da operação. *RAM. Revista de Administração Mackenzie*, 23, eRAMR220119. <https://doi.org/10.1590/1678-6971/eRAMR220119.pt>
- Rogers, D. L. (2017). Transformação digital: repensando o seu negócio para a era digital. Autêntica Business.
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations* (5th edition). Free Press.
- Romero, F., & Andery, P. (2015). A conceptual model to capital projects conception based on front-end loading and lean concepts. *55th ASC Annual International Conference Proceedings*. <http://ascpro0.ascweb.org/archives/cd/2019/paper/CPRT251002019.pdf>
- Saccol, A. Z. (2009). Um retorno ao básico: paradigmas de pesquisa em administração. *Revista de Administração da UFSM*, 2(2), 250–269. <https://doi.org/10.5902/198346591555>
- Sahu, S., & Choudhury, B. B. (2019). Stress and modal analysis of six-axis articulated robot using ANSYS. In D. Mishra, A. Nayyar, & N. Joshi (Eds.), *Lecture notes in networks and systems: Vol. 40* (pp. 303–311). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13->

0586-3_31

- Samset, K., & Volden, G. H. (2016). Front-end definition of projects: Ten paradoxes and some reflections regarding project management and project governance. *International Journal of Project Management*, 34(2), 297–313. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2015.01.014>
- Sánchez-García, P., Merayo Álvarez, N., Calvo Barbero, C., & Diez-Gracia, A. (2023). Spanish technological development of artificial intelligence applied to journalism: companies and tools for documentation, production and distribution of information. *El Profesional de la información*, 32(2). <https://doi.org/10.3145/epi.2023.mar.08>
- Santhi, A. R., & Muthuswamy, P. (2023). Industry 5.0 or Industry 4.0S? Introduction to Industry 4.0 and a peek into the prospective Industry 5.0 technologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing*, 17(2), 947–979. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>
- Sarreal, E. R., Cardinez, C. V. N., Madriaga, M. J. L., & Sy, J. E. J. U. (2025). Industry 4.0 Readiness: Drivers, Barriers and its Potential Impact on the Organizational Performance of Selected Small and Medium Enterprises in Metro Manila. *Review of Integrative Business and Economics Research*, 14(4), 411-429.
- Satpathy, S., Dash, K. K., & Mohapatra, M. (2020). A study on the new design thinking for Industrial Revolution 4.0, requirements and graduate readiness. *Rupkatha Journal on Interdisciplinary Studies in Humanities*, 12(4), 1–11. <https://doi.org/10.21659/rupkatha.v12n4.09>
- Scornavacca, E. (2010). *An investigation of factors influencing individual adoption of mobile information systems in the workplace* (Doctoral dissertation). Victoria University of Wellington. <https://doi.org/10.26686/wgtn.16985275.v1>
- Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. (n.d.). O SENAI-SP. Acessado em 16 de novembro de 2025 em <https://www.sp.senai.br/o-senai>
- Shao, X., Ahmad, M., & Javed, F. (2024). Firm-level digitalization for sustainability performance. *Sustainability*, 16(20). <https://doi.org/10.3390/su16208881>
- Sharma, A. K., Bhandari, R., Pinca-Bretotean, C., & Sharma, C. (2021). A study of trends and industrial prospects of Industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, 47, 2364–2369. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.321>
- Sharma, V., Kumar, S., Raut, R. D., Queiroz, M. M., Narkhede, B. E., & Gokhale, R. (2025). Barriers to integrated lean management-industry 4.0 technologies. *Production Planning & Control*, 36(12), 1637-1648.

- Shenhar, A. J. (2001). One size does not fit all projects: Exploring classical contingency domains. *Management Science*, 47(3), 394–414. <https://doi.org/10.1287/mnsc.47.3.394.9772>
- Shenhar, A. J., & Dvir, D. D. (2007). *Reinventing project management: The diamond approach to successful growth & innovation*. Harvard Business Review Press.
- Shrivastav, M. (2021). Barriers related to AI implementation in supply chain management. *Journal of Global Information Management (JGIM)*, 30(8), 1-19. <https://doi.org/10.4018/JGIM.296725>
- Sidekerskienė, T., & Damaševičius, R. (2023). Digital escape rooms and STEM barriers. *Sustainability*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/su15097393>
- Simões, A. C., Soares, A. L., & Barros, A. C. (2020). Factors influencing the intention of managers to adopt collaborative robots (cobots) in manufacturing organizations. *Journal of engineering and technology management*, 57, 101574. <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2020.101574>
- Smolka, I., & Stój, J. (2022). Utilization of SDN technology for flexible EtherCAT networks applications. *Sensors*, 22(5), 1944. <https://doi.org/10.3390/s22051944>
- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Internet of things for smart factories in Industry 4.0: A review. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 3(April), 192–204. <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2023.04.006>
- Spaltini, M., Terzi, S., & Taisch, M. (2024). Development and implementation of a roadmapping methodology to foster twin transition at manufacturing plant level. *Computers in Industry*, 154, 104025. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.104025>
- Steil, J. J., & Maier, G. W. (2020). Kollaborative Roboter: Universale Werkzeuge in der digitalisierten und vernetzten Arbeitswelt. In M. Springer & C. Weber (Eds.), *Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten* (pp. 323–346). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-52979-9_15
- Stentoft, J., Adsbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K., & Haug, A. (2021). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: Empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning & Control*, 32(10), 811–828. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768318>
- Stornelli, A., Ozcan, S., & Simms, C. (2021). Advanced manufacturing technology adoption and innovation: A systematic literature review on barriers, enablers, and innovation types. *Research Policy*, 50(6), 104229. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2021.104229>

- Suhanda, R. D. P., & Pratami, D. (2021). RACI matrix design for managing stakeholders in project: Case study of PT. XYZ. *International Journal of Innovation in Enterprise System*, 5(2), 122–133. <https://doi.org/10.25124/ijies.v5i02.134>
- Talke, K., & Heidenreich, S. (2014). How to overcome pro-change bias: Incorporating passive and active innovation resistance in innovation decision models. *Journal of Product Innovation Management*, 31(5), 894–907. <https://doi.org/10.1111/jpim.12130>
- Tay, S. H., Choong, W. H., & Yoong, H. P. (2022). A review of SCARA robot control system. In *4th IEEE International Conference on Artificial Intelligence in Engineering and Technology (IICAJET 2022)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/IICAJET55139.2022.9936755>
- Tennessee College of Applied Technology. (n.d.). Business & Industry: Smyrna Campus and Nissan Training Center. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://tcatmurfreesboro.edu/business-industry/smyrna-campus-and-nissan-training-center>
- Thames, L., & Schaefer, D. (2016). Software-defined cloud manufacturing for Industry 4.0. *Procedia CIRP*, 52, 12–17. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.07.041>
- The California Project Management Office. (2017). *The California Agile Framework: CA-Agile*. <https://projectresources.cdt.ca.gov/agile/the-agile-project-charter/>
- Tolettini, L., & Lehmann, C. (2020). Industry 4.0: New paradigms of value creation for the steel sector. In *Knowledge Management and Industry 4.0: new paradigms for value creation* (pp. 179-206). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43589-9_8
- Tortorella, G. L., et al. (2021). Integration of Industry 4.0 technologies in TPM practices. *International Journal of Production Economics*, 240, 108224. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108224>
- Tremblay, M. C., Hevner, A. R., & Berndt, D. J. (2010). Focus groups for artifact refinement and evaluation in design research. *Communications of the association for information systems*, 26(1), 27. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.02627>
- Trevisan, A. H., Lobo, A., Guzzo, D., Gomes, L. A. de V., & Mascarenhas, J. (2023). Barriers to employing digital technologies for a circular economy: A multi-level perspective. *Journal of Environmental Management*, 332, 117437. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117437>

- Van Aken, J. E., & Romme, G. (2009). Reinventing the future: adding design science to the repertoire of organization and management studies. *Organization Management Journal*, 6(1), 5-12. <https://doi.org/10.1057/omj.2009.1>
- Venkatesh, V., et al. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. *MIS Quarterly*, 27(3), 425–478. <http://www.jstor.org/stable/30036540>
- Wagire, A. A., & Kulkarni, R. (2025). Examining the impact of Industry 4.0 technologies on industrial performance of manufacturing organisations in India: an empirical study. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 38(3), 289-308. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2024.2333026>
- Walsham, G. (1995). Interpretive case studies in IS research. *European Journal of Information Systems*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.1057/ejis.1995.9>
- Wang, Y. R., & Gibson, G. E. (2002). Using PDRI for project risk management. *Project Management Institute*. Acesso em 16 de novembro de 2025 em <https://www.pmi.org/learning/library/project-definition-rating-index-indicator-9005#:~:text=Preproject%20planning%20is%20%20the%20process,scope%20definition%20for%20the%20project>.
- Williams, T., Vo, H., Samset, K., & Edkins, A. (2019). The front-end of projects: A systematic literature review and structuring. *Production Planning and Control*, 30(14), 1137–1169. <https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1594429>
- Wohlin, C. (2014, May). Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering. In *Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering* (pp. 1–10). ACM. <https://doi.org/10.1145/2601248.2601268>
- Wonglimpiyarat, J., & Yuberk, N. (2005). Innovation management and Rogers' theory. *Government Information Quarterly*, 22(3), 411–422. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2005.05.005>
- Yim, R., Castaneda, J., Doolen, T., Tumer, I., & Malak, R. (2015). A study of the impact of project classification on project risk indicators. *International Journal of Project Management*, 33(4), 863–876. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2014.10.005>
- Yin, R. K. (2015). *Estudos de caso: Planejamento e métodos* (5ª ed.). Bookman.
- Yu, C. S., & Chantatub, W. (2016). Consumers' resistance to using mobile banking: Evidence from Thailand and Taiwan. *International Journal of Electronic Commerce Studies*, 7(1), 21-38. <https://doi.org/10.7903/ijecs.1375>
- Yussef, A., Gibson, G. E., El Asmar, M., & Ramsey, D. (2019). Quantifying FEED maturity

- and its impact on project performance in large industrial projects. *Journal of Management in Engineering*, 35(5), 1–15. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ME.1943-5479.0000702](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000702)
- Yussef, A., Gibson, G. E., El Asmar, M., & Ramsey, D. (2020). Industry survey for determining the state of practice of *front end* engineering design for industrial construction. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 25(4), 1–11. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000504](https://doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000504)
- Zaki, M. A. M., Ooi, J., Ng, W. P. Q., How, B. S., Lam, H. L., Foo, D. C., & Lim, C. H. (2025). Impact of industry 4.0 technologies on the oil palm industry: A literature review. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100685. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2024.100685>
- Zerjav, V., McArthur, J., & Edkins, A. (2021). The multiplicity of value in the front-end of projects: The case of London transportation infrastructure. *International Journal of Project Management*, 39(5), 507–519. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2021.03.004>
- Zhao, W., Chen, H., & Bulis, A. (2025). How are Industry 4.0 technologies transforming a sustainable society across industries?. *Digital Transformation and Society*, 4(3), 363–380. <https://doi.org/10.1108/DTS-11-2024-0225>
- Zheng, T., Ardolino, M., Bacchetti, A., & Perona, M. (2023). The road towards Industry 4.0: A comparative study of the state-of-the-art in the Italian manufacturing industry. *Benchmarking: An International Journal*, 30(1), 307–332. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2021-0056>
- Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2016). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In *2015 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD)* (pp. 2147–2152). IEEE. <https://doi.org/10.1109/FSKD.2015.7382284>
- Zwikael, O., & Gilchrist, A. (2024). A structured process for the fuzzy front-end of complex projects. *Production Planning and Control*, 0(0), 1–10. <https://doi.org/10.1080/09537287.2024.2320766>

APÊNDICE A - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO ENTREVISTADOS DO ESTUDO 1

Prezado,

Agradeço por sua participação na Pesquisa com o título “Quebra de barreiras das tecnologias da Indústria 4.0: Oficinas de exposição das tecnologias da Indústria 4.0”, sob a responsabilidade do pesquisador Edicley Vander Machado, que será usada na tese do próprio e referente ao curso de doutorado no Programa de Pós-graduação em Gestão de Projetos, PPGP da Universidade Nove de Julho – UNINOVE.

A participação foi voluntária por meio de entrevista virtual na data de ____/12/2022, com a utilização de perguntas abertas que terão como objetivo registrar sua experiência durante as oficinas realizadas no I Encontro do PPGP/PPGA da Uninove na Omron em 24/11/2022 e seu histórico profissional. O (a) Sr (a) tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, seja antes ou depois da coleta dos dados, independente do motivo e sem nenhum prejuízo a sua pessoa. O (a) Sr (a) não terá nenhuma despesa e não receberá nenhuma remuneração. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados, mas sua identidade e os dados sobre sua empresa não serão divulgados, sendo guardados em sigilo. Para qualquer outra informação, o (a) Sr (a) poderá entrar em contato com o pesquisador, pelo telefone (11) 94553-2657.

Consentimento Pós-Informação

Eu, _____ fui informado sobre o que o pesquisador pretende fazer e porque precisa da minha colaboração. Por isso, eu concordo em participar do projeto e que posso desistir quando no período de 60 dias.

Local e data _____.

Pesquisador
Edicley Machado

Orientadora
Cristiane Pedron

Participante

—

APÊNDICE B - TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO ENTREVISTADOS ESTUDO 2

Prezado,

Convidamos o (a) Sr (a) para participar da Pesquisa sob o título “*Framework* para planejamento de *front-end* (FEP) de pequeno porte”, sob a responsabilidade do pesquisador Edicley Machado, o qual pretende elaborar a tese com base na análise da literatura sobre gestão de projetos, e sua entrevista, para entender como as metodologias são influenciadas neste processo. A tese mencionada é requisito para conclusão do curso de Doutorado Profissional em Administração - Gestão de Projetos, do Programa de Pós-graduação em Gestão de Projetos (PPGP) na Universidade Nove de Julho – UNINOVE.

Sua participação é voluntária e se dará por meio de entrevista presencial ou virtual com a utilização de perguntas abertas que terão como objetivo registrar sua experiência e percepção do tema embasado em seu histórico profissional. A entrevista tem uma previsão de duração de até 1 hora. Para garantir que não ocorra nenhum constrangimento para com o entrevistado ou sua empresa, ambos serão mantidos em sigilo. É importante destacar que se o (a) Sr (a) participar estará contribuindo para um melhor entendimento sobre as decisões a respeito das barreiras para adoção da Indústria 4.0.

Se depois de consentir em sua participação o Sr (a) desistir de continuar participando, tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer fase da pesquisa, seja antes ou depois da coleta dos dados, independente do motivo e sem nenhum prejuízo a sua pessoa. O (a) Sr (a) não terá nenhuma despesa e também não receberá nenhuma remuneração. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados, mas sua identidade não será divulgada, sendo guardada em sigilo. Para qualquer outra informação, o (a) Sr (a) poderá entrar em contato com a pesquisadora no telefone (11) 94553-2657.

Consentimento Pós-Informação

Eu, _____, fui informado sobre o que o pesquisador quer fazer e porque precisa da minha colaboração, e entendi a explicação. Por isso, eu concordo em participar do projeto, sabendo que não vou ganhar nada e que posso sair quando quiser. Este documento é emitido em duas vias que serão ambas assinadas por mim e pelo pesquisador, ficando uma via com cada um de nós.

Local e data _____.

Pesquisador
Edicley Machado

Orientadora
Cristiane Pedron

Participante

—

**APÊNDICE C - INFORMED CONSENT FORM FOR INTERVIEW
PARTICIPANTS
ENTREVISTAS ESTUDO 3**

Dear,

*Thank you for participating in the research titled “**METHOD FOR FRONT-END PLANNING OF TECHNOLOGICAL CENTER PROJECTS: MANAGING INDUSTRY 4.0 BARRIERS WITH A POSITIVE IMPACT ON SOCIETY**,” conducted under the responsibility of researcher Edicley Machado. This study will be used in his doctoral thesis within the Graduate Program in Project Management (PPGP) at Universidade Nove de Julho – UNINOVE.*

Your participation is voluntary and will take place through an in-person and/or virtual interview, using open-ended questions aimed at capturing your experience in conducting client visits at Technological Centers (PoCC). All data collected will be used exclusively for the thesis project, ensuring confidentiality and respect for participants’ privacy.

The research results will be analyzed and published; however, your identity and any information about your company will remain confidential and will not be disclosed. For any additional information, you may contact the researcher at edicley@gmail.com.

Consent

I, _____, have been informed about what the researcher intends to do and why my collaboration is needed. Therefore, I agree to participate in the project, understanding that I may withdraw within a period of 60 days.

Signatures

Researcher

Name: Edicley Machado

Signature: _____

Participant

Name: _____

Signature: _____

Date: _____

APÊNDICE D - DECLARAÇÃO DE CONSENTIMENTO GRUPO FOCAL ESTUDO 4

Prezado participante,

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa **“FRONTI4.0: Método de planejamento de projetos para demonstração de tecnologias da Indústria 4.0”**, sob a responsabilidade do pesquisador Edicley Machado, discente do Programa de Pós-Graduação em Gestão de Projetos da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, sob orientação do Professora Dr^a. Cristiane Drebes Pedron.

Sua participação no grupo focal é voluntária, e você tem plena autonomia para decidir se quer ou não participar, bem como retirar sua participação a qualquer momento, independente do motivo e sem nenhum prejuízo a sua pessoa. A seção de grupo focal será gravada exclusivamente para fins de pesquisa acadêmica. Todos os dados coletados serão utilizados apenas no contexto do projeto de tese, garantindo a confidencialidade e o respeito à privacidade dos participantes.

A sua participação é relevante por sua experiência e percepção do tema. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados, mas sua identidade e os dados da sua empresa não serão divulgados, sendo guardados em sigilo. Para qualquer outra informação, o(a) Sr(a) poderá entrar em contato com o pesquisador, pelo telefone (11) 94553-2657.

Consentimento,

Eu, _____, declaro que fui devidamente informado(a) sobre os objetivos da pesquisa, a realização da gravação da seção de grupo focal e o uso exclusivo dos dados coletados para fins acadêmicos no projeto de tese. Estou ciente de que minha participação é voluntária e que minha identidade será preservada.

Local e data _____.

Pesquisador
Edicley Machado

Orientadora
Cristiane Pedron

Participante

—

APÊNDICE E – RELATÓRIOS DAS FASES 1, 2 E 3 GERADOS NO FRONTI4.0 (DADOS DO PROJETO SIMULADO)

FRONTI4.0 FEL-1 Simulação de Projeto: Centro Tecnológico Robôs Colaborativos

4 mensagens

FRONTI4.0 <teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io>

17 de novembro de 2025 às 20:11

Responder a: teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io

Para: edicley@gmail.com

FEL-1

Business Case:

Nome: Simulação de Projeto: Centro Tecnológico Robôs Colaborativos

Sumário executivo: O projeto visa a implantação de um Centro Tecnológico com área de 600 m², dedicado à demonstração e integração de soluções avançadas em robótica colaborativa. O espaço será estruturado para apresentar: (1) Cobots com diferentes capacidades de carga (payloads), equipados com garras colaborativas para aplicações industriais flexíveis; e (2) Robôs Móveis Autônomos (AMRs) para transporte de materiais, com capacidades de 250 kg, 600 kg e 800 kg, otimizando fluxos internos e logística.

Objetivo do projeto: O objetivo é criar um ambiente que permita experiências práticas, treinamentos especializados e provas de conceito, fortalecendo a relação com clientes e parceiros, além de acelerar a adoção de tecnologias da Indústria 4.0. O centro será referência em inovação, oferecendo soluções que aumentam a produtividade, segurança e eficiência operacional.

Justificativa: O projeto se justifica pelo aumento da capacidade comercial por meio de demonstrações práticas que elevam a taxa de conversão e reduzem barreiras de adoção, pelo fortalecimento da marca como referência em inovação, pela redução do ciclo de vendas e custos de pré-venda com testes internos, e pela capacitação de equipes e clientes, garantindo maior eficiência e menor risco na implantação das soluções.

Escopo básico (Visão geral): O projeto contempla a preparação de um espaço de 600 m² para demonstração de soluções robóticas colaborativas, incluindo a instalação de Cobots com diferentes capacidades e garras colaborativas, além de AMRs para transporte de cargas de 250 kg, 600 kg e 800 kg. O escopo abrange infraestrutura física, aquisição e integração dos equipamentos, implementação de sistemas de segurança e software, desenvolvimento de cenários de demonstração, criação de materiais técnicos e comerciais, definição de protocolos de treinamento, bem como gestão do projeto com planejamento, orçamento e indicadores de desempenho.

Benefícios esperados: A implantação de um Centro Tecnológico fortalece a estratégia comercial ao oferecer um espaço para demonstrações práticas que aumentam a confiança do cliente e aceleram a tomada de decisão, elevando a taxa de conversão de vendas. Além disso, cria oportunidades para provas de conceito e treinamentos, reduzindo custos de pré-venda e tempo de fechamento de contratos. O centro também posiciona a empresa como referência em inovação, gera conteúdo para marketing e eventos, amplia a visibilidade da marca e fomenta parcerias estratégicas, resultando em maior geração de leads qualificados e incremento nas receitas.

Estimativa custo: O valor estimado para aquisição dos equipamentos para demonstração é cerca de R\$ 1.500 e mais R\$ 1.000 disponível para projeto e forma do local

Prazo estimado: O valor estimado para aquisição dos equipamentos de demonstração é de aproximadamente R\$ 1.500.000, além de R\$ 1.000.000 destinados à adequação e preparação do espaço físico.

Identificação das partes interessadas:

Gerente de projeto: João Paulo - Gerente Engenharia - edicley@gmail.com

Patrocinador: Luan Peres - Diretor de vendas Latam - edicleymachado@yahoo.com.br

Colaborador 1: José Ivaldo - Gerente de Marketing - edicley@gmail.com

Colaborador 2: Paulo Escobar - Diretor de Vendas Brasil - edicley@gmail.com

Colaborador 3: José Rafael - Gerente regional de vendas - edicley@gmail.com

Colaborador 4: - -

Colaborador 5: - -

Tecnologias do projeto:

Robô colaborativo - B1, B8, B9 Robôs móveis - B1, B3, B5, B7, B8, B9

Análise SWOT:

Forças: A empresa se destaca por oferecer um portfólio completo de soluções em robótica colaborativa, incluindo Cobots e AMRs, com alta qualidade, precisão e confiabilidade. Seus produtos são fáceis de programar e permitem integração colaborativa entre pessoas e robôs, melhorando as condições de trabalho e aumentando a segurança. Além disso, conta com suporte global e uma marca associada à inovação, o que reforça sua credibilidade no

mercado.

Oportunidades: O mercado local apresenta forte expansão, impulsionado pela demanda por automação e melhoria de processos, além da escassez de mão de obra operacional em indústrias e centros logísticos. Há incentivos para a Indústria 4.0 e digitalização, bem como crescimento acelerado em setores como logística, e-commerce e manufatura avançada. A criação de centros tecnológicos para demonstração e treinamento pode fortalecer a presença da empresa e acelerar a adoção das soluções.

Fraquezas: Apesar da robustez tecnológica, a empresa enfrenta desafios relacionados ao custo mais elevado em comparação com concorrentes de baixo custo, especialmente os novos entrantes chineses. A adoção das soluções exige treinamento especializado, o que pode aumentar o ciclo de vendas. Outro ponto é a necessidade de educar o mercado sobre os benefícios da robótica colaborativa, o que demanda esforços adicionais em marketing e relacionamento.

Ameaças: A principal ameaça vem da entrada de concorrentes chineses com produtos de baixo custo, que pressionam preços e podem levar à commoditização da tecnologia. Além disso, existe resistência cultural à automação em algumas empresas, bem como riscos econômicos que podem reduzir investimentos em tecnologia. Esses fatores exigem estratégias para diferenciar a proposta de valor e manter competitividade.

Missão: Oferecer soluções completas em robótica colaborativa, integrando pessoas e tecnologia para melhorar as condições de trabalho, aumentar a produtividade e garantir segurança, com produtos de alta qualidade, precisão e fácil programação.

Visão: Ser referência global em automação colaborativa, promovendo ambientes industriais inteligentes onde pessoas e robôs trabalham juntos de forma segura, eficiente e inovadora.

Valores: - Inovação: Desenvolver tecnologias que transformam processos e agregam valor.

- Colaboração: Integrar pessoas e robôs para criar ambientes produtivos e seguros.

- Qualidade: Garantir produtos confiáveis, precisos e de alto desempenho.

- Simplicidade: Tornar a automação acessível com soluções intuitivas e fáceis de programar.

- Suporte Global: Oferecer atendimento ágil e especializado em qualquer lugar do mundo.

- Sustentabilidade: Contribuir para operações mais eficientes e responsáveis.

Portão 1 - Ata de decisão do comitê do FEL-1

Data/hora: 01/Nov/2025

Análise das entregas:

Business Case:

Mapa das Tecnologias: - Robôs Colaborativos – Alto investimento inicial; falta de mão de obra qualificadas; e resistência à mudança

- Robôs móveis autônomos – Alto investimento inicial; falta de parceiros qualificados; falta de infraestrutura; risco de ciberataques; falta de mão de obra qualificadas; payback e resistência à mudança

Decisão do comitê:

Decisão: **Avançar**

Observações: O comitê entende que o business case está alinhado com as expectativas e necessidades da empresa. Seguir para a Etapa FEL-2.

Planos de execução próxima etapa: Desenvolver um escopo para demonstração das tecnologias com integração de diferentes áreas.

FRONTI4.0 <teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io>
Responder a: teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io
Para: edicley@gmail.com

17 de novembro de 2025 às 20:11

[Texto das mensagens anteriores oculto]

FRONTI4.0 <teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io>
Responder a: teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io
Para: edicley@gmail.com

17 de novembro de 2025 às 20:11

[Texto das mensagens anteriores oculto]

FRONTI4.0 <teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io>
Responder a: teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io
Para: edicley@gmail.com

17 de novembro de 2025 às 20:11

[Texto das mensagens anteriores oculto]

FRONTI4.0 FEL-2 Simulação de Projeto: Centro Tecnológico Robôs Colaborativos

1 mensagem

FRONTI4.0 <teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io>

17 de novembro de 2025 às 20:42

Responder a: teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io

Para: edicley@gmail.com

FEL-2

Coleta dos requisitos: O time comercial espera que o Centro Tecnológico seja um recurso estratégico para aumentar a taxa de conversão, oferecendo demonstrações práticas que transmitam confiança aos clientes e acelerem decisões de compra. Além disso, o espaço deve apoiar a realização de provas de conceito, treinamentos e eventos, fortalecendo relacionamentos e gerando leads qualificados. A expectativa é que o projeto reduza o ciclo de vendas, diferencie a empresa frente à concorrência de baixo custo e contribua diretamente para o alcance das metas de receita na região.

Definição do escopo: O projeto consiste na implantação de um Centro Tecnológico funcional, com área de 600 m², dedicado à demonstração, integração e realização de provas de conceito para soluções robóticas colaborativas. O escopo inclui: **Infraestrutura Física** Preparação do espaço com layout adequado para áreas de demonstração, treinamento e integração. **Instalação elétrica, rede lógica, sinalização e sistemas de segurança.** Implementação de abertura automática de portas para integração com AMRs. **Equipamentos e Tecnologia** Instalação de Cobots com diferentes capacidades (payloads), equipados com garras colaborativas elétricas e de vácuo. Inclusão de uma impressora 3D para fabricação de dedos customizados para garras. Implementação de AMRs com capacidades de 250 kg, 600 kg e 800 kg, integrados para movimentação de peças coletadas nos paletizadores. Integração com sistemas ERP e MES para simulação de processos produtivos e logísticos. **Funcionalidades e Demonstrações** Criação de cenários de prova de conceito para aplicações como paletização, transporte interno e integração entre Cobots e AMRs. Desenvolvimento de fluxos que demonstrem colaboração entre robôs e operadores. Treinamentos práticos para clientes e equipe interna. **Software e Segurança** Implementação de sistemas de controle, monitoramento e simulação. Instalação de dispositivos de segurança conforme normas internacionais (barreiras, sensores, sinalização). **Conteúdo e Marketing** Criação de materiais técnicos e comerciais (catálogos, vídeos, cases). Planejamento de eventos e visitas para clientes estratégicos. **Gestão do Projeto** Planejamento detalhado, cronograma, orçamento (CAPEX e OPEX). **Definição de KPIs:** número de provas de conceito realizadas, taxa de conversão pós-visita, incremento de vendas.

Personas:

Persona A

Carlos, 38 anos

Área de atuação: Gerente de Manutenção

Formação: Engenharia de Produção

Experiência: 15 anos no setor automotivo, com foco em manutenção preventiva e corretiva

Empresa: Indústria de autopeças de médio a grande porte

Perfil Profissional: Técnico, analítico, orientado a resultados e à confiabilidade dos ativos

Personalidade frente a indústria 4.0:

Abertura a inovação: Moderada

Barreiras: Preocupação com a viabilidade técnica e o ROI das novas tecnologias; Dificuldade em integrar sistemas legados com soluções digitais

Motivadores: Redução de paradas não planejadas; Aumento da eficiência da manutenção preditiva;

Interesse em dashboards e sensores IoT para monitoramento em tempo real.

Estilo de adoção: Cauteloso, mas pragmático. Precisa ver resultados concretos para apoiar a implementação

Persona B

Roberto, Diretor de Inovação anos

Área de atuação: 50 anos

Formação: Engenharia Mecânica, MBA em Gestão Industrial

Experiência: 25 anos, com passagens por chão de fábrica, engenharia de processos e cargos

executivos e experiência internacional, atuou em projetos na Alemanha e México
 Empresa: Empresa do segmento Digital e Linha branca
 Perfil Profissional: Estratégico, visionário, orientado a resultados e transformação digital

Personalidade frente a indústria 4.0:

Abertura a inovação: Muito alta
 Barreiras: Resistência cultural interna; e Dificuldade em justificar investimentos de alto Capex com payback de longo prazo
 Motivadores:
 Estilo de adoção: Proativo e influente. Atua como patrocinador da transformação digital e busca engajar as demais áreas

Persona C

João, 45 anos
 Área de atuação: Operador Sênior de Produção
 Formação: Técnico em Mecânica (incompleto em Engenharia)
 Experiência: 20 anos de chão de fábrica, atuou em diversas áreas produtivas e não fala inglês
 Empresa: Empresa de autopeças
 Perfil Profissional:

Personalidade frente a indústria 4.0:

Abertura a inovação: Baixo

Barreiras: Medo de substituição por máquinas; Dificuldade com novas interfaces digitais; e Falta de capacitação e insegurança com tecnologias emergentes
 Motivadores: Garantia de que seu conhecimento será valorizado; Treinamentos práticos e suporte contínuo; e Participação ativa no processo de mudança
 Estilo de adoção: Conservador. Precisa de tempo, apoio e reconhecimento para se engajar.

Portão 3 - Ata de decisão do comitê do FEL-3

Data/hora:

Análise das entregas:

Definição do Escopo: O projeto consiste na implantação de um Centro Tecnológico funcional, com área de 600 m², dedicado à demonstração, integração e realização de provas de conceito para soluções robóticas colaborativas. O escopo inclui: Infraestrutura Física Preparação do espaço com layout adequado para áreas de demonstração, treinamento e integração. Instalação elétrica, rede lógica, sinalização e sistemas de segurança. Implementação de abertura automática de portas para integração com AMRs. Equipamentos e Tecnologia Instalação de Cobots com diferentes capacidades (payloads), equipados com garras colaborativas elétricas e de vácuo. Inclusão de uma impressora 3D para fabricação de dedos customizados para garras. Implementação de AMRs com capacidades de 250 kg, 600 kg e 800 kg, integrados para movimentação de peças coletadas nos paletizadores. Integração com sistemas ERP e MES para simulação de processos produtivos e logísticos. Funcionalidades e Demonstrações Criação de cenários de prova de conceito para aplicações como paletização, transporte interno e integração entre Cobots e AMRs. Desenvolvimento de fluxos que demonstrem colaboração entre robôs e operadores. Treinamentos práticos para clientes e equipe interna. Software e Segurança Implementação de sistemas de controle, monitoramento e simulação. Instalação de dispositivos de segurança conforme normas internacionais (barreiras, sensores, sinalização). Conteúdo e Marketing Criação de materiais técnicos e comerciais (catálogos, vídeos, cases). Planejamento de eventos e visitas para clientes estratégicos. Gestão do Projeto Planejamento detalhado, cronograma, orçamento (CAPEX e OPEX). Definição de KPIs: número de provas de conceito realizadas, taxa de conversão pós-visita, incremento de vendas.
 Mapa de Persuasão:
 Validação do Escopo:

Decisão do comitê:

Decisão:
 Observações:

Observações para a execução do projeto:

FRONTI4.0 FEL-3 Simulação de Projeto: Centro Tecnológico Robôs Colaborativos4 mensagens

FRONTI4.0 <teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io>
Responder a: teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io
Para: edicley@gmail.com

17 de novembro de 2025 às 20:43

FEL-3

Planilha "Template atividades" em anexo

Portão 3 - Ata de decisão do comitê do FEL-3

Data/hora: 10/Nov/2025

Análise das entregas:

Lista de Materiais:

Cronograma:

Relação dos Parceiros:

Decisão do comitê:

Decisão:

Observações:

Observações para a execução do projeto:

FRONTI4.0 <teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io>
Responder a: teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io
Para: edicley@gmail.com

17 de novembro de 2025 às 20:43

[Texto das mensagens anteriores oculto]

FRONTI4.0 <teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io>
Responder a: teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io
Para: edicley@gmail.com

17 de novembro de 2025 às 20:43

[Texto das mensagens anteriores oculto]

FRONTI4.0 <teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io>
Responder a: teste-omron-57980-no-reply@bubbleapps.io
Para: edicley@gmail.com

17 de novembro de 2025 às 20:43

FEL-3

Planilha "Template atividades" em anexo

Portão 3 - Ata de decisão do comitê do FEL-3

Data/hora:

[Texto das mensagens anteriores oculto]

APÊNDICE F - PROMPT GERADO VIA FRONTI4.0 PARA IA GERERATIVA

“Quais são os principais pontos de atenção que devem ser considerados ao realizar uma demonstração da tecnologia **Robô Colaborativo** e que enfrenta as barreiras de adoção (B1. Alto investimento e incertezas em relação ao retorno do investimento, B3. Falta de parceiros qualificados e parcerias com Universidades, B5. Falta de Infraestrutura, B7. Riscos relacionados à Segurança de Dados, B8. Falta de mão de obra qualificada, B9. Resistência à Mudança) levando em conta os perfis de personas: Persona A (Carlos, Gerente de Manutenção, 38 anos, experiência:15 anos no setor automotivo, com foco em manutenção preventiva e corretiva, Indústria de autopeças de médio a grande porte, perfil profissional:Técnico, analítico, orientado a resultados e à confiabilidade dos ativos, abertura a inovação Moderada, barreiras:Preocupação com a viabilidade técnica e o ROI das novas tecnologias; Dificuldade em integrar sistemas legados com soluções digitais, motivadores:Redução de paradas não planejadas; Aumento da eficiência da manutenção preditiva; Interesse em dashboards e sensores IoT para monitoramento em tempo real., estilo de adoção:Cauteloso, mas pragmático. Precisa ver resultados concretos para apoiar a implementação), Persona B (Roberto, 50 anos, Diretor de Inovação, experiência:25 anos, com passagens por chão de fábrica, engenharia de processos e cargos executivos e experiencia internacional, atuou em projetos na Alemanha e México, Empresa do segmento Digital e Linha branca, perfil profissional:Estratégico, visionário, orientado a resultados e transformação digital, abertura a inovação Muito alta, barreiras:Resistência cultural interna; e Dificuldade em justificar investimentos de alto Capex com payback de longo prazo, motivadores:Aumento da produtividade e eficiência operacional; Redução de custos com automação inteligente; e Diferenciação competitiva e alinhamento com tendências globais, estilo de adoção:Proativo e influente. Atua como patrocinador da transformação digital e busca engajar as demais áreas), Persona C (João, Operador Sênior de Produção, 45 anos, experiência:20 anos de chão de fábrica, atuou em diversas áreas produtivas e não fala inglês, Empresa de autopeças, perfil profissional:Prático, experiente, conhecedor profundo dos processos manuais, abertura a inovação Baixo, barreiras:Medo de substituição por máquinas; Dificuldade com novas interfaces digitais; e Falta de capacitação e insegurança com tecnologias emergentes, motivadores:Garantia de que seu conhecimento será valorizado; Treinamentos práticos e suporte contínuo; e Participação ativa no processo de mudança, estilo de adoção:Conservador. Precisa de tempo, apoio e reconhecimento para se engajar.). Para

cada persona, identifique quais aspectos da demonstração devem ser destacados para gerar engajamento e reduzir barreiras. Quais elementos da teoria da difusão da inovação (como vantagem relativa, compatibilidade, complexidade, experimentação e observabilidade) são mais relevantes para persuadir cada perfil. Sugestões práticas para adaptar a comunicação e o formato da demonstração conforme o perfil de cada persona.

A empresa que irá realizar a demonstração, tem como forças A empresa se destaca por oferecer um portfólio completo de soluções em robótica colaborativa, incluindo Cobots e AMRs, com alta qualidade, precisão e confiabilidade. Seus produtos são fáceis de programar e permitem integração colaborativa entre pessoas e robôs, melhorando as condições de trabalho e aumentando a segurança. Além disso, conta com suporte global e uma marca associada à inovação, o que reforça sua credibilidade no mercado.; fraqueza Apesar da robustez tecnológica, a empresa enfrenta desafios relacionados ao custo mais elevado em comparação com concorrentes de baixo custo, especialmente os novos entrantes chineses. A adoção das soluções exige treinamento especializado, o que pode aumentar o ciclo de vendas. Outro ponto é a necessidade de educar o mercado sobre os benefícios da robótica colaborativa, o que demanda esforços adicionais em marketing e relacionamento.”

APÊNDICE G – SIMULAÇÃO DO MAPA DA PERSUASÃO GERADO COM AUXÍLIO DE IA GENERATIVA

Persona A – Carlos (Gerente de Manutenção)

Perfil-chave: Técnico, analítico, orientado à confiabilidade e ROI. Adoção cautelosa/pragmática.

Barreiras prioritárias: B1 (ROI), integração com legados (ligado a B5 infraestrutura), B8 (capacitação), B9 (resistência).

Motivadores: Redução de paradas, eficiência da preditiva, dashboards/IoT, resultados concretos.

A. O que destacar na demonstração

- **Confiabilidade e disponibilidade do ativo:** MTBF/MTTR do Cobot, taxas de falha, modos de falha previstos e planos de mitigação.
- **Integração com sistemas legados:** Mostre conectores/OPC-UA, integração com SCADA/MES/ERP (mesmo que em “simulador”), APIs e exemplos de mapeamento de dados.
- **Manutenção preditiva:** Sensores embutidos (torque, vibração), health monitoring, diagnósticos e alertas em tempo real com dashboards simples.
- **ROI prático:** Casos típicos: redução de retrabalho, diminuição de paradas não planejadas, ganho de OEE. Traga **números** do tipo “ciclo antes/depois”, “% de redução de setup”, “payback em 12–24 meses”.
- **Segurança funcional e colaboração:** Zonas de segurança, força/pressão limitada, validação de risco (ISO/TS relevantes); como isso reduz acidentes e retrabalho.
- **Facilidade de programação:** Mostre tarefas de **5–10 minutos** com blocos visuais, teaching pendant, e reutilização de rotinas.

B. Difusão da Inovação – elementos mais relevantes

- **Vantagem relativa:** Demonstre OEE↑, paradas↓, custo de manutenção↓, tempo de setup↓.
- **Compatibilidade:** Evidencie que “funciona com o que ele já tem” (protocolos, layout, energia, redes).

- **Complexidade (↓):** Interfaces intuitivas, templates de tarefas, bibliotecas de processos comuns (pick-and-place, screwdriving, palletização).
- **Experimentação:** Piloto de baixo risco em uma célula de manutenção/linha secundária; sandbox com métricas semanais.
- **Observabilidade:** Dashboards com KPIs de disponibilidade, “antes/depois”, alarmes, relatórios simples exportáveis.

C. Como adaptar a comunicação e formato

- **Formato:** “Demo técnica guiada” + “hands-on rápido” + **checklist de integração**.
- **Linguagem:** Foco em **dados e confiabilidade**; evite jargão excessivo, seja objetivo e numérico.
- **Materiais:**
 - **Plano de integração** (lista de compatibilidades com legados, diagramas de rede, I/O).
 - **Modelo de ROI** com variáveis ajustáveis (turnos, taxa de falha, custo/hora parada).
 - **Guia de manutenção** (preventiva e preditiva) com periodicidades.
- **Ação prática:** Proponha **PoC de 6–8 semanas** com metas claras (ex.: reduzir paradas não planejadas em 20%; aumentar disponibilidade em 3–5 pontos).
- **Endereçar barreiras:**
 - **B1 (ROI):** Planilha com cenários **conservador/base/agressivo**.
 - **B5 (Infraestrutura):** Pré-auditoria de rede/eletricidade/ espaço, plano de adequação mínima.
 - **B8 (Mão de obra):** Trilha de treinamento modular (básico–intermediário–avançado) e certificação; **conteúdo em português**; mentor on-site nas primeiras semanas.
 - **B9 (Resistência):** Mostre ganhos “rápidos e visíveis” e envolva manutenção na configuração – pertencimento gera adesão.

Persona B – Roberto (Diretor de Inovação)

Perfil-chave: Estratégico, visionário, patrocinador da transformação. Adoção proativa.

Barreiras prioritárias: B1 (Capex x payback longo), B3 (ecossistema/Universidades), B9 (cultura), B5 (infraestrutura).

Motivadores: Produtividade, redução de custos, diferenciação competitiva, alinhamento global.

A. O que destacar na demonstração

- **Story de valor e escalabilidade:** Roadmap de automação colaborativa (**Cobot + AMR + Analytics**) para 12–36 meses; **arquitetura de referência** (plant-wide).
- **Total Cost of Ownership (TCO):** Compare Capex/Opex, manutenção, consumo energético, tempo de setup; destaque **resiliência da cadeia** e flexibilidade para mix de produtos.
- **Benchmarks e referências globais:** Casos em Alemanha/México/setores de linha branca/digital; KPIs: produtividade↑ 10–30%, qualidade↑, acidentes↓.
- **Governança de dados e segurança:** Política de **data governance**, segregação de redes OT/IT, criptografia, controle de acesso, registros de auditoria.
- **Parcerias:** Programa com **Universidades** (testbeds, pesquisa aplicada, bolsas), **integradores qualificados** e suporte global da marca (service-level agreements).

B. Difusão da Inovação – elementos mais relevantes

- **Vantagem relativa:** Diferenciação, agilidade de mudança de mix, redução de custos estruturais e risco operacional.
- **Compatibilidade:** Alinhamento com a **arquitetura digital** da empresa (MES/ERP/PLM/IIoT).
- **Experimentação:** **Pilotos estratégicos** com metas de negócio (ex.: reduzir lead time em 15%); depois replicar.
- **Observabilidade:** **Painéis executivos** com indicadores semanais/mensais; storytelling de impactos.
- **Complexidade (↓):** Serviços gerenciados, playbooks de rollout, **capability building** para times internos.

C. Como adaptar a comunicação e formato

- **Formato:** “Executive demo” com narrativa de transformação (30–45 min) + visita técnica guiada (15–30 min).

- **Linguagem:** Valor para o negócio, competitividade, payback; conecte com tendências globais de **Indústria 4.0** e segurança.
- **Materiais:**
 - **Business case** com cenários de escalonamento e **portfólio financeiro** (ROI/TCO/payback por fase).
 - **Mapa de riscos** (técnico, financeiro, cultural) e mitigação.
 - **Programa de parcerias** (Universidades e integradores) com entregáveis/SLAs.
- **Ação prática:** Proponha um **Programa Lighthouse** (2–3 células piloto em áreas com alto impacto), com OKRs trimestrais.
- **Endereçar barreiras:**
 - **B1 (Capex):** Modelos de **leasing**, “Robotics-as-a-Service”, incentivos fiscais (ex.: linhas FINAME, se aplicável).
 - **B3 (Parceiros/Universidades):** Memorandos de entendimento e calendário de projetos de P&D.
 - **B5 (Infraestrutura):** Roadmap de OT/IT com milestones; quick-wins de adequação.
 - **B9 (Cultura):** Plano de **gestão de mudança** (comunicação, champions, ritos de celebração, métricas de adoção).

Persona C – João (Operador Sênior)

Perfil-chave: Prático, experiente; baixa abertura; não fala inglês.

Barreiras prioritárias: B9 (resistência), B8 (capacitação), B5 (infraestrutura simples ao posto), B7 (segurança de dados menos central, mas **segurança operacional** é crítica).

Motivadores: Valorização do conhecimento, treinamento prático, suporte contínuo, participação ativa.

A. O que destacar na demonstração

- **Segurança do trabalho e ergonomia:** Mostre como o Cobot/AMR **reduz esforço físico** e risco; simule um evento com parada segura.
- **Tarefas reais do dia a dia:** Uma atividade conhecida (ex.: apertar parafusos, alimentação de máquina, paletização) com o operador **co-desenhando** a rotina.
- **Interface simples e em português:** Ícones, passos curtos; sem jargões; manuais com fotos.
- **Valorização do conhecimento:** Deixe claro que a expertise do João **orienta** o robô (ele vira “instrutor do robô”).
- **Suporte contínuo:** Mostre canal de suporte local, mentor no chão de fábrica, material de bolso (cartas de processo).

B. Difusão da Inovação – elementos mais relevantes

- **Complexidade (↓):** Aprendizado prático, “apertar e usar”, templates e exemplos repetíveis.
- **Experimentação: Prova prática** de curta duração onde João ensina e vê funcionar; micro-vitórias no turno.
- **Observabilidade:** Resultados visíveis imediatos (menos esforço, menos erros, mais ritmo); feedback visual.
- **Compatibilidade:** Mesma bancada/fluxo com pequenos ajustes; respeito ao layout e rotinas.
- **Vantagem relativa:** Segurança↑, ergonomia↑, qualidade↑, menos retrabalho – benefícios pessoais.

C. Como adaptar a comunicação e formato

- **Formato: Oficina prática** em português, com João operando; sessões curtas de 20–30 min; sem slides complexos.

- **Linguagem:** Simples, direta, respeitosa; evite termos ingleses; foque em “como fazer” e “o que muda no meu turno”.
- **Materiais:**
 - Guias visuais passo a passo (laminados).
 - **Checklists de segurança** e startup/shutdown.
 - Vídeos de 1–2 minutos mostrando tarefas típicas.
- **Ação prática:** Criar **embaixadores operadores**; certificação básica; programa de reconhecimento por contribuições.
- **Endereçar barreiras:**
 - **B8 (Capacitação):** Treinamento **hands-on** com repetição e tutoria; calendário de reforço.
 - **B9 (Resistência):** Deixe evidente que o robô **tira o trabalho pesado/risco** e que o operador **guia** o processo; celebre conquistas.
 - **B5 (Infra):** Garantir ajustes mínimos sem “disrupção” do posto; envolva João nas escolhas.

Matriz de Barreira x Mensagem (resumo rápido)

Barreira	Persona A (Carlos)	Persona B (Roberto)	Persona C (João)
B1: Alto investimento/ROI	Planilha de ROI/OEE, redução de paradas, TCO técnico	Portfólio financeiro, escalabilidade, RaaS/Leasing	Benefício pessoal (ergonomia/segurança), produtividade no posto
B3: Parceiros/Universidades	Lista de integradores certificados e suporte técnico	MoUs, projetos P\&D, ecossistema e SLAs	Treinamento local e mentoria prática
B5: Infraestrutura	Checklist de integração OT/IT; OPC-UA; energia e rede	Roadmap de OT/IT por fases; investimentos escalonados	Ajustes mínimos no posto e layout respeitado
B7: Segurança de Dados	Controles de acesso e logs para IoT/diagnósticos	Arquitetura de segurança, segmentação OT/IT, compliance	Foco em segurança operacional do posto
B8: Mão de obra qualificada	Trilha de certificação manutenção/programação	Capability building; academias internas/externas	Treinamento prático, material visual em português
B9: Resistência à Mudança	Resultados rápidos e envolvimento no setup	Gestão de mudança, champions, narrativa de futuro	Participação ativa, reconhecimento e micro-vitórias

Roteiro sugerido de demonstração (60–90 min, modular)

- 1) **Abertura (5 min):** Objetivo da demo por área (manutenção, diretoria, operação).
- 2) **Segurança e ergonomia (10 min):** Demonstração de colaboração segura e parada controlada.
- 3) **Tarefas reais (15–20 min):**
 - *Operação:* pick-and-place, parafusamento, paletização.
 - *Manutenção:* diagnóstico, troca de ferramenta, rotinas de manutenção preditiva.
- 4) **Integração e dados (15 min):** Conectividade (OPC-UA, APIs), dashboard OEE e alertas; exemplo de integração com MES/ERP (mock se necessário).
- 5) **ROI/TCO e escalabilidade (10–15 min):** Cenários **base/conservador/agressivo**; opções de financiamento/serviços.
- 6) **Treinamento e suporte (10 min):** Trilhas de capacitação (português), canais de suporte local, parcerias.
- 7) **Hands-on por persona (15–20 min):**
 - *Carlos:* programar rotina simples + ver health dashboard.
 - *Roberto:* mapa de rollout e governança.
 - *João:* ensinar uma tarefa e executar com segurança.
- 8) **Q&A orientado a barreiras (10 min) + próximos passos (PoC, cronograma, KPIs).**

KPIs e Evidências a capturar durante/apos a demo

- **Disponibilidade do robô** (% tempo operacional); **MTTR** e eventos de falha simulada.
- **Ciclo antes/depois** (tempo, variação, qualidade).
- **Ergonomia:** redução de esforço; registrar comentários dos operadores.
- **Integração:** tempo para conectar, latência de dados, alarmes e logs.
- **Segurança:** eventos de parada, validações de força e velocidade.
- **Aprendizagem:** tempo para primeira programação; erros por sessão; confiança percebida (pesquisa rápida).
- **ROI preliminar:** estimativas com dados do ambiente (turnos, volume, custo hora).

Como alavancar as forças e mitigar fraquezas da empresa

Forças: Portfólio completo (Cobots + AMRs), qualidade/precisão, facilidade de programação, integração colaborativa, segurança, suporte global, marca de inovação.

Aplicação na demo:

- Mostre **cenários combinados** (Cobot + AMR abastecendo célula) para mostrar **flexibilidade** e ganhos de fluxo.
- Faça **setup fácil ao vivo** (ensino por demonstração, poucos passos).
- **Segurança e colaboração**: teste prático de parada segura; sensores e cortinas virtuais.

Fraquezas: Custo mais elevado vs. concorrentes low-cost, necessidade de treinamento, ciclo de vendas mais longo, educação do mercado.

Mitigação na demo:

- **TCO/ROI** com foco em **qualidade, confiabilidade, segurança e flexibilidade** (custos ocultos dos low-cost: downtime, retrabalho, falta de suporte).
- **RaaS/Leasing/PoC** para diluir Capex.
- **Programa de capacitação em português** com certificação e **mentoria on-site** inicial.
- **Conteúdo educativo** (playbooks, vídeos) e parcerias com Universidades para acelerar a curva de compreensão.

Próximos passos práticos (recomendação)

- 1) **Pré-engenharia de demo** com checklist por persona (infra, safety, integração, materiais).
- 2) **Planilha de ROI/TCO parametrizável** para Carlos e Roberto.
- 3) **Kit de treinamento básico em português** (João) com vídeos curtos e guias visuais.
- 4) **Proposta de PoC escalonado** (1 célula → 3 células), com OKRs e governança.
- 5) **Plano de comunicação interna** (gestão de mudança): champions, comunicados, ritos de celebração e reconhecimento aos operadores.

Se quiser, eu preparo um **script detalhado de demo** com falas, perguntas de sondagem por persona e materiais (checklists, slides executivos, roteiro de hands-on, e uma planilha de ROI “plug-and-play”). Quer que eu já estruture esses artefatos com base nas suas linhas de produto (Cobots e AMRs) e no contexto de autopeças?