

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALFENAS – UNIFAL
Programa de Pós-Graduação em Economia

VALQUÍRIA APARECIDA ASSIS

**OS DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A PARTICIPAÇÃO DO BRASIL NA
INDÚSTRIA 4.0: PERSPECTIVAS DA CNI**

VARGINHA/MG

2026

VALQUÍRIA APARECIDA ASSIS

**OS DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A PARTICIPAÇÃO DO BRASIL NA
INDÚSTRIA 4.0: PERSPECTIVAS DA CNI**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado em Economia da Universidade Federal de Alfenas como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. André Luiz da Silva Teixeira

Coorientador: Prof. Dra. Janaína de Mendonça Fernandes

VARGINHA

2026

Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal de Alfenas
Biblioteca Campus Varginha

Assis, Valquíria Aparecida.

Os Desafios e Oportunidades para a Participação do Brasil na Indústria 4.0: Perspectivas da CNI / Valquíria Aparecida Assis. - Varginha, MG, 2026. 114 f. -

Orientador(a): André Luiz da Silva Teixeira.

Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Alfenas, Varginha, MG, 2026.

Bibliografia.

1. Indústria 4.0. 2. Inovação Tecnológica. 3. CNI. I. Teixeira, André Luiz da Silva, orient. II. Título.

VALQUÍRIA APARECIDA ASSIS

OS DESAFIOS E OPORTUNIDADES PARA A PARTICIPAÇÃO DO BRASIL NA INDÚSTRIA 4.0: A PERSPECTIVA DA CNI

O Presidente da banca examinadora abaixo assina a aprovação da Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Economia pela Universidade Federal de Alfenas. Área de concentração: Economia e Desenvolvimento.

Aprovada em: 30 de março de 2026.

Prof. Dr. André Luiz da Silva Teixeira
Presidente da Banca Examinadora
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Janaína de Mendonça Fernandes
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Cirlene Maria de Matos
Instituição: Universidade Federal de Alfenas

Profa. Dra. Carla Leila Oliveira Campos
Instituição: Universidade Federal de Alfenas



Documento assinado eletronicamente por **Andre Luiz da Silva Teixeira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 31/03/2026, às 16:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unifal-mg.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1760339** e o código CRC **097E5F16**.

Dedico este trabalho a todas e todos que acreditaram que, mesmo diante de tantos desafios e oportunidades, eu seria capaz de concluí-lo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. André Luiz da Silva Teixeira, que, especialmente nos momentos mais difíceis, acreditou no meu trabalho e me fez acreditar que era possível concluir esta etapa. Reconheço, com sinceridade, que sem seu apoio, orientação e confiança, a conclusão deste curso de pós-graduação não teria sido possível.

Agradeço à minha coorientadora, Profa. Doutora Janaína de Mendonça Fernandes, por ter contribuído de forma tão significativa para a minha formação acadêmica, ensinando-me novas formas de compreender e analisar a pesquisa, além de ter aceitado fazer parte desta trajetória com tanta generosidade.

À minha amada mãe, minhas maiores inspirações deixam meu eterno agradecimento por todo o apoio, amor e exemplo. Às minhas irmãs, Simone, que diariamente me ensina novos significados para a vida, e Patrícia, que sempre me incentivou e acreditou em mim. Às minhas sobrinhas, Mariana, Luiza e Maria Júlia, que representam o futuro de uma nova geração de mulheres fortes e empoderadas.

De maneira muito especial, expresso minha profunda gratidão ao meu companheiro de vida, Guilherme Alves de Oliveira, por estar ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio, compreensão e força ao longo de toda essa trajetória.

Aos meus amigos e amigas, especialmente aos colegas do Corecon-MG e do Sindecon-MG, bem como aos amigos de vida, que compartilharam comigo essa caminhada, oferecendo apoio, incentivo e companheirismo. De forma especial, agradeço à Beatriz Barros, amiga que tive a felicidade de encontrar durante a pós-graduação e que tornou essa jornada mais leve e significativa. Estendo também meu agradecimento ao amigo Breno Leandro, pelo incentivo constante e pelo apoio ao longo dessa trajetória. A Deus, pela sabedoria, força e persistência que me sustentaram ao longo desta caminhada, especialmente nos momentos mais desafiadores.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro concedido durante a realização deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O desenvolvimento econômico em países periféricos deve ser compreendido a partir de sua inserção na estrutura do capitalismo internacional, marcada por relações de dependência que limitam a autonomia tecnológica.

(Tavares, 2019).

RESUMO

Este trabalho busca analisar os desafios e as oportunidades da indústria 4.0 no país, partindo da análise das perspectivas da Confederação Nacional da Indústria (CNI). A pesquisa baseou-se nos documentos elaborados e publicados pela entidade nos períodos de 2016 a 2022, que são especificamente documentos que tratam da transformação para o paradigma da indústria 4.0. Os documentos orientam para uma transformação estrutural que irá reconfigurar todo o sistema de produção do setor industrial brasileiro. A dissertação fundamenta-se em uma abordagem qualitativa e exploratória, baseada na pesquisa documental e técnica de análise de conteúdo de Laurence Bardin, utilizando o software Atlas.ti como suporte. Como referencial teórico, ancora-se na teoria neoschumpeteriana, em que a inovação é vista como alternativa para o desenvolvimento, a dinâmica da difusão tecnológica e as políticas orientadas por missões da economista Mariana Mazzucato. A pesquisa aponta o papel fundamental e estratégico da CNI como agente intermediário entre o governo e o setor industrial, influenciando na formulação de políticas industriais e sendo um incentivador da adoção de tecnologias digitais, uma vez que vê nessa transformação industrial uma oportunidade para as indústrias brasileiras.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Inovação Tecnológica; CNI.

ABSTRACT

This study aims to analyze the challenges and opportunities of Industry 4.0 in Brazil, based on the perspectives of the National Confederation of Industry (CNI). The research is based on documents prepared and published by the institution between 2016 and 2022, specifically those addressing the transition toward the Industry 4.0 paradigm. These documents highlight a structural transformation that is expected to reshape the entire production system of the Brazilian industrial sector. The dissertation is grounded in a qualitative and exploratory approach, based on documentary research and content analysis techniques proposed by Laurence Bardin, with support from the Atlas.ti software. The theoretical framework is anchored in neo-Schumpeterian theory, in which innovation is viewed as a key driver of development, along with the dynamics of technological diffusion and mission-oriented policies proposed by economist Mariana Mazzucato. The research highlights the fundamental and strategic role of the CNI as an intermediary agent between the government and the industrial sector, influencing the formulation of industrial policies and promoting the adoption of digital technologies, as it sees this industrial transformation as an opportunity for Brazilian industries.

Keywords: Industry 4.0; Technological Innovation; National Confederation of Industry (CNI).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo de difusão tecnológica	52
Quadro 1 – Etapas da análise de conteúdo	58
Quadro 2 – Diretrizes para análise de conteúdo	60
Quadro 3 – Composição de <i>corpus</i>	61
Quadro 4 – Categorias de desafios e citações.....	63
Quadro 5 – Categorias de oportunidades e citações	65
Gráfico 1 – Oportunidades X Desafios.....	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Frequência das macrocategorias	68
Tabela 2 – Frequência entre categorias das oportunidades	70
Tabela 3 – Frequência entre categorias dos desafios.....	71
Tabela 4 – Tabela-síntese da Macrocategoria Oportunidades, com foco nas categorias principais	90
Tabela 5 – Tabela-síntese da macrocategoria Desafios.....	100

LISTA DE SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ATLAS.ti	<i>Software</i> de análise de dados qualitativos utilizado para a codificação e sistematização do corpus documental
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
C&T	Ciência e Tecnologia
CA	Capacidade Absortiva
CERN	Conselho Europeu de Pesquisa (<i>Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire</i>)
CI	Circuito Integrado
CLP	Controlador Lógico Programável
CNI	Confederação Nacional da Indústria
COVID-19	<i>Coronavirus Disease of 2019</i> . Pandemia global que atuou como catalisador para a revalorização da política industrial e expôs vulnerabilidades nas cadeias de suprimentos
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
ECD	Estrutura-Condução-Desempenho (Modelo analítico de organização industrial)
ENIAC	<i>Electronic Numerical Integrator and Computer</i>
ERT	<i>European Round Table for Industry</i>
GPTs	<i>General Purpose Technologies</i> (Tecnologias de Propósito Geral)
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICTs	Instituições de Ciência e Tecnologia
IEDI	Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial
IEL	Instituto Euvaldo Lodi
IoT	<i>Internet of Things</i> (Internet das Coisas)
KET	<i>Key Enabled Technologies</i> (Tecnologias Facilitadoras Essenciais)
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MEI	Mobilização Empresarial pela Inovação
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>

OCDE	Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PINTEC	Pesquisa de Inovação (realizada pelo IBGE)
PMEs	Pequenas e Médias Empresas
SEO	<i>Search Engine Optimization</i>
SNI	Sistema Nacional de Inovação
TICs	Tecnologias da Informação e Comunicação
WWW	<i>World Wide Web</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 JUSTIFICATIVA	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO (I): A POLÍTICA INDUSTRIAL, AS ASSOCIAÇÕES PATRONAIS E AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS.....	19
3.1 POLÍTICA INDUSTRIAL: DEFINIÇÃO, OBJETIVOS, INSTRUMENTOS	21
3.2 POLÍTICAS ORIENTADAS POR MISSÕES	23
3.3 O PAPEL DAS ASSOCIAÇÕES PATRONAIS NESSAS POLÍTICAS	29
3.4 AS TRÊS PRIMEIRAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS	37
3.5 QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL	43
4 REFERENCIAL TEÓRICO (II): INOVAÇÃO E DIFUSÃO TECNOLÓGICA.....	48
4.1 O CONCEITO DE INOVAÇÃO NAS BASES SCHUMPETERIANAS.....	48
4.2 DIFUSÃO TECNOLÓGICA: TRAJETÓRIAS, RITMOS E POLÍTICAS DE INOVAÇÃO	50
5 METODOLOGIA.....	57
5.1 A ANÁLISE DE CONTEÚDO E OS CORPORA DE INVESTIGAÇÃO.....	58
5.2 CONSTRUÇÃO DO <i>CORPUS</i> DA PESQUISA E DAS CATEGORIAS.....	61
6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS	67
6.1 COMPORTAMENTO GERAL: MACROCATEGORIAS E CATEGORIAS MAIS CITADAS EM GERAL.....	67
6.2 OPORTUNIDADES	73
6.2.1 Oportunidade 1: inovações de produtos/serviços.....	74
6.2.2 Oportunidade 2: aumento de produtividade	76
6.2.3 Oportunidade 3: aumento da eficiência na produção.....	79
6.2.4 Oportunidade 4: reforço de competitividade.....	81
6.2.5 Oportunidade 5: ampliação dos investimentos em tecnologias digitais	84
6.2.6 Uma breve síntese analítica das demais categorias referentes às oportunidades	86
6.3 DESAFIOS	92
6.3.1 Desafio 1: difusão das tecnologias.....	93
6.3.2 Desafio 2: desconhecimento das tecnologias digitais.....	94
6.3.3 Desafio 3: estrutura, cultura e gestão da empresa	95
6.3.4 Uma breve síntese analítica das demais categorias referentes aos desafios.....	96
6.3.5 Em síntese.....	99
6.4 SÍNTESE GERAL DAS ANÁLISES	103
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105

8 REFERÊNCIAS	107
----------------------------	------------

1 INTRODUÇÃO

A Primeira Revolução Industrial surgiu no século XVIII na Inglaterra e se caracterizou pela inovação tecnológica provocada pelo surgimento da manufatura, seguida das inovações nos meios de transporte marítimos e terrestres (ferrovias e máquina a vapor, cuja invenção originou a produção mecânica). A partir desses acontecimentos surge o capitalismo, que se desenvolve e progressivamente se espalha para outros países, por meio de uma ação coordenada pelo Estado. Portanto, a Primeira Revolução Industrial ficou marcada por um processo de acumulação. Da Inglaterra (capitalismo originário), a primeira revolução gerou um desenvolvimento simultâneo em muitos países, promovendo profundas mudanças econômicas, sociais, políticas e culturais, mas também trouxe como consequências as desigualdades sociais.

No final do século XIX surgem as fábricas, e com elas uma nova onda tecnológica marca o surgimento da Segunda Revolução Industrial. As linhas de montagem geram produção em massa acessível para o consumo em larga escala. Já no século XX, a Terceira Revolução Industrial, iniciada em meados de 1960, foi marcada pela introdução dos eletrônicos e das tecnologias de informação nos processos industriais, ou seja, na produção automatizada. Em meados do século XXI, iniciou-se a Quarta Revolução Industrial e, embora ainda esteja em curso, já representa uma mudança de paradigma, como demonstram os exemplos dos novos modelos de fazer negócio e a reformulação da produção, do consumo, da educação, da saúde e do transporte. “E a amplitude e a profundidade dessas mudanças anunciam a transformação de sistemas inteiros de produção, gerenciamento e governança” (Schwab, 2016a, p. 15).

Diante dessa transformação que está acontecendo no mundo, chamada de Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 (usadas de forma intercambiável aqui), a Confederação Nacional da Indústria¹ (CNI), desde 2016, tem trabalhado em conjunto com as empresas industriais brasileiras para conscientizá-las sobre a importância de se participar desse movimento rumo à Indústria 4.0. Trabalha também junto ao governo, para criar políticas de industrialização capazes de apoiar o desenvolvimento tecnológico das empresas brasileiras, como tem acontecido em outros países industrializados.

¹ A Confederação Nacional da Indústria, associação sindical de grau superior, fundada em 12 de agosto de 1938, reconhecida por Carta Ministerial de 17 de setembro de 1938, com investidura ratificada pelo Decreto Federal n. 12.321, de 30 de abril de 1943, é constituída com prazo de duração indeterminado, para fins de representação, estudos e coordenação dos interesses das categorias econômicas da indústria.

Para a CNI (Confederação [...], 2017), existem desafios tanto no setor público como no privado, mas, acima de tudo, existem grandes oportunidades. A indústria brasileira tem a oportunidade de diminuir a distância em relação aos países desenvolvidos ao utilizar tecnologias digitais para obter um salto de produtividade. Mas é necessário que haja um sentido de urgência, uma vez que os principais países industrializados colocaram essas transições no centro das suas estratégias de política industrial.

Sabendo que a Quarta Revolução Industrial é um fenômeno global, a CNI apontava, em 2016, um notável desconhecimento sobre o conceito de Indústria 4.0 no setor industrial brasileiro, em que mais da metade das empresas ainda não estão familiarizadas com as tecnologias que definem esta nova era industrial. Essa constatação é ainda mais desafiadora quando se considera a diversidade tecnológica existente no setor, sugerindo que a estratégia para implementar a Indústria 4.0 no Brasil deve levar em conta as diferenças tecnológicas entre os diversos segmentos industriais, o que potencializa as dificuldades de adaptação ao conceito em uma perspectiva ampla (Confederação [...], 2016a). Portanto, é essencial identificar qual seria a infraestrutura tecnológica básica para adentrar na Indústria 4.0, com o intuito de preparar as empresas para a iminente transformação. Além disso, considerando a vasta gama de aplicações e benefícios oferecidos pelas tecnologias 4.0, é fundamental entender essas possibilidades dentro das diferentes dimensões de desempenho industrial específicas ao contexto brasileiro, ressaltando a importância deste tema para a prática e a adoção efetiva dessas tecnologias pelas empresas nacionais.

Partindo desse diagnóstico, a CNI iniciou a elaboração de uma série de documentos e ações para difundir o conceito de Indústria 4.0, a sua importância e as tecnologias centrais ao empresariado brasileiro. O presente trabalho se debruça sobre tais documentos, buscando compreender quais são os desafios e as oportunidades da CNI para o avanço da Indústria 4.0 no país.

O presente trabalho tem como objetivo analisar os documentos oficiais publicados pela Confederação Nacional da Indústria entre 2016 e 2022 que tratam dos desafios e das oportunidades da adoção de tecnologias ligadas à Quarta Revolução Industrial no Brasil. A pesquisa busca analisar como a CNI, enquanto entidade representativa do setor produtivo nacional, interpreta e organiza as demandas associadas à Indústria 4.0. Em especial, pretende-se examinar os desafios que, segundo a CNI, limitam a implementação da Indústria 4.0 no país, observando aspectos como infraestrutura tecnológica, capacitação da mão de obra, disponibilidade de recursos financeiros e marcos regulatórios adequados. Ao mesmo tempo,

busca-se investigar as oportunidades destacadas nos relatórios, tais como o aumento da produtividade, a diversificação de mercados, o fortalecimento da competitividade internacional e a modernização da base industrial brasileira.

Para isso, será empregada a técnica de categorização proposta por Bardin (2011), com apoio do software Atlas.ti,² que permite identificar e agrupar os principais temas abordados nesses documentos de forma sistemática e comparável. A partir da identificação das categorias mais recorrentes, estas são analisadas de acordo com a literatura, estabelecendo um diálogo crítico entre a visão institucional da CNI e as interpretações acadêmicas sobre o tema. Dessa forma, espera-se que o estudo contribua para o entendimento das prioridades, estratégias e limitações percebidas por um dos principais atores econômicos do país, oferecendo subsídios para a formulação de políticas industriais e práticas empresariais mais alinhadas às transformações tecnológicas em curso.

A presente dissertação está estruturada em seis seções, além desta Introdução. A próxima seção traz uma breve justificativa para o estudo, seguida por duas seções teóricas. A seção três discute o referencial teórico sobre a política industrial e as associações e está dividida em subseções. Na primeira subseção, tem-se uma definição de política industrial; na segunda, os principais instrumentos de política industrial. Já a quarta seção dedica-se ao referencial teórico sobre inovação e difusão tecnológica. A quinta seção trata sobre a metodologia do estudo, seguida pela sexta seção, dedicada à análise dos resultados. Por fim, são tecidas as considerações finais.

² O ATLAS.ti é uma poderosa ferramenta de trabalho para a análise qualitativa de grandes volumes de dados textuais, gráficos, de áudio e vídeo. Ele oferece uma variedade de ferramentas para realizar as tarefas associadas a qualquer abordagem sistemática para dados não estruturados, ou seja, dados que não podem ser analisados de forma significativa por abordagens estatísticas formais.

2 JUSTIFICATIVA

As associações empresariais, como a CNI, desempenham um papel relevante nas sociedades contemporâneas, buscando constantemente a aglutinação e a expressão organizacional, além de uma atuação assistencial e burocrática. O recente processo de reorganização econômica nacional rompe com o modelo tradicional de desenvolvimento, introduzido inicialmente na década de 1930 e caracterizado pela formação de um parque produtivo industrial complexo, diversificado e integrado, com menor dependência do exterior. Atualmente, sob a pressão da especialização e da competitividade, ocorrem rápidas e profundas transformações na economia e, conseqüentemente, no mundo empresarial (Pochmann, 1998).

Dessa forma, os sindicatos patronais revelam-se importantes na formulação e implementação de políticas industriais, influenciando o desenvolvimento econômico e a competitividade dos setores produtivos. Essas associações patronais, que representam os interesses das empresas, desempenham um papel crucial em um contexto onde os mercados são predominantemente oligopolizados (Pochmann, 1998).

Os argumentos de Pochmann (1998) destacam a importância dessas associações para momentos de mudança, como o atual contexto da Quarta Revolução Industrial, a qual traz desafios adicionais ao setor empresarial. Já a teoria de Schumpeter ressalta que o sucesso econômico de uma sociedade está intrinsecamente ligado à capacidade de suas empresas de inovar e se adaptar às mudanças. No contexto atual, marcado pela Quarta Revolução Industrial, essa capacidade de inovação e adaptação se torna ainda mais crucial. Grandes empresas, segundo a Teoria Schumpeteriana, têm um papel preponderante na intensificação do ritmo de inovações, o que é essencial para se manterem competitivas em um mercado globalizado (Brasil; Nogueira; Forte, 2011).

Nesse cenário, a atuação da Confederação Nacional da Indústria na promoção e implementação de novas tecnologias nas indústrias brasileiras ganha destaque. A CNI desempenha um papel estratégico nesse contexto ao poder orientar e apoiar as empresas na adoção das inovações trazidas pela Quarta Revolução Industrial. Essa adaptação não é apenas uma questão de modernização, mas uma necessidade para garantir a competitividade e a sustentabilidade da indústria nacional em um ambiente global cada vez mais dinâmico e tecnologicamente avançado. Assim, faz-se importante o desenho de políticas públicas e

estratégicas empresariais que incentivem na inovação, e a CNI pode exercer influência sobre ambos, enquanto um intermediário entre governo e empresariado.

Desde 2016, a CNI tem promovido iniciativas focadas em conscientizar os empresários sobre as mudanças tecnológicas em andamento. Nesse mesmo ano, a CNI conduziu a primeira Sondagem Especial Indústria 4.0, direcionada ao setor industrial. A pesquisa revelou que uma parte significativa da indústria brasileira ainda desconhecia as oportunidades e os desafios trazidos por essas novas tecnologias, evidenciando um amplo campo para investigação e atuação.

Posicionando-se como um ator central na articulação política e na promoção da inovação tecnológica, a CNI desempenha um papel estratégico nesse processo de transformação. Dessa forma, esta pesquisa busca estudar os principais desafios e oportunidades identificados pela CNI para o avanço da Quarta Revolução Industrial no Brasil.

3 REFERENCIAL TEÓRICO (I): A POLÍTICA INDUSTRIAL, AS ASSOCIAÇÕES PATRONAIS E AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

Este capítulo está organizado da seguinte forma: primeiramente, será apresentada uma definição de política industrial, destacando seus objetivos e a importância do alinhamento com a política de inovação na perspectiva neoschumpeteriana. Em seguida, serão discutidos alguns dos principais instrumentos de política industrial, destacando sua importância e complementaridade. A subseção seguinte abordará a política orientada por missões, apresentando-a enquanto uma forma de se fazer tais políticas e explicando sua definição e características. Será discutido o papel das associações patronais nessas políticas, ressaltando sua relevância para a implementação eficaz da política industrial. Por fim, será apresentada uma breve descrição das revoluções industriais, com maior enfoque no que seria a Quarta Revolução Industrial.

Historicamente, a política industrial foi um dos principais motores de desenvolvimento econômico, especialmente em países que buscavam rápida industrialização e modernização de suas economias. No entanto, com a globalização e a crescente interdependência econômica, muitas nações começaram a repensar suas abordagens em relação à política industrial, buscando não apenas crescimento econômico, mas também sustentabilidade e resiliência (Kupfer; Hasenclever, 2012).

Nos últimos anos – especialmente após a crise financeira global de 2008 e, mais recentemente, a pandemia de covid-19 –, houve uma revalorização da política industrial como uma ferramenta essencial para enfrentar crises e promover a recuperação econômica. A pandemia, em particular, expôs vulnerabilidades nas cadeias de suprimento globais, ressaltando a importância de uma base industrial nacional autossuficiente. Nesse contexto, a política industrial emergiu como uma resposta estratégica para garantir que as economias sejam capazes de responder a choques externos e, ao mesmo tempo, promover inovação e competitividade (Diegues; Roselino, 2021).

Para Kupfer e Hasenclever (2012), correntes teóricas distintas, como a abordagem tradicional neoclássica e a alternativa schumpeteriana, oferecem diferentes perspectivas sobre a melhor forma de organizar e coordenar os esforços industriais. Enquanto a abordagem tradicional se concentra na alocação eficiente de recursos e na maximização dos lucros, a abordagem schumpeteriana coloca a inovação e a dinâmica de criação de riqueza no centro da

análise econômica, enfatizando a importância das estratégias empresariais e das capacidades institucionais para impulsionar o desenvolvimento industrial.

Essa evolução teórica, prosseguem os mesmos autores, na “Introdução” ao seu importante livro *Economia industrial* (2012), tem implicações diretas para a formulação e a implementação da política industrial contemporânea. Hoje, lembram Kupfer e Hasenclever (2012), há um reconhecimento crescente de que a política industrial deve ir além da simples regulação do mercado, para se tornar um motor ativo de inovação e transformação estrutural.

Kupfer e Hasenclever (2012) destacam que os objetivos centrais da política industrial incluem a promoção da competitividade, o incentivo à inovação e a transformação estrutural das economias. A política industrial busca, essencialmente, criar um ambiente propício para que setores estratégicos se desenvolvam, superem barreiras tecnológicas e ampliem sua capacidade de competir em mercados globais. Para atingir esses objetivos, são utilizados diversos instrumentos, como financiamento da inovação, por meio de crédito e subvenções, e a utilização de compras públicas para estimular setores emergentes.

O caso chinês é um exemplo emblemático da aplicação bem-sucedida de uma política industrial abrangente. A China, nas últimas décadas, implementou uma série de políticas industriais que têm sido fundamentais para sua rápida ascensão como potência econômica global. O país utilizou uma combinação de planejamento estatal, apoio a setores estratégicos e investimentos massivos em infraestrutura, com foco na inovação tecnológica. O resultado foi a transformação da China em uma das maiores economias do mundo, com uma base industrial robusta e diversificada (Diegues; Roselino, 2021).

A pandemia de covid-19 também acelerou a necessidade de reavaliar as políticas industriais. As interrupções nas cadeias de suprimento globais e a demanda por produtos essenciais, como equipamentos médicos e vacinas, colocaram em evidência a necessidade de políticas industriais que garantam a autossuficiência e a capacidade de resposta rápida a crises. Governos em todo o mundo estão agora mais conscientes da importância de manter uma base industrial forte e de investir em tecnologias emergentes para se prepararem para futuras crises (Diegues; Roselino, 2021).

Diante desse contexto, a política industrial contemporânea não pode ser vista apenas como uma ferramenta para promover o crescimento econômico, mas também como um meio de assegurar a resiliência e a sustentabilidade das economias. A inovação, em particular, no sentido de Schumpeter, tornou-se um elemento central da política industrial, com muitos

países adotando políticas de inovação que se alinham estreitamente com suas estratégias industriais (Kupfer; Hasenclever, 2012).

Não se pode esquecer, por fim, que, como ressaltam Cavalcante, Rapini e Leonel (2021), é necessário reconhecer a importância do alinhamento entre a política industrial e a política de inovação, destacando que, na ótica neoschumpeteriana, a inovação é o principal motor do desenvolvimento econômico e tais políticas se confundem. A próxima seção define tais políticas e apresenta alguns dos seus objetivos e instrumentos.

3.1 POLÍTICA INDUSTRIAL: DEFINIÇÃO, OBJETIVOS, INSTRUMENTOS

A política industrial, de acordo com Kupfer e Hasenclever (2012), é entendida como um conjunto de estratégias e intervenções promovidas pelo governo com o propósito de impulsionar o desenvolvimento e a competitividade de setores específicos da economia. Para os mesmos autores, o principal objetivo da política industrial é criar um ambiente que favoreça o crescimento sustentável das indústrias nacionais, por meio de incentivos à inovação, modernização tecnológica e aprimoramento da eficiência produtiva.

Há duas correntes, prosseguem Kupfer e Hasenclever (2012), que costumam embasar os estudos em política industrial, quais sejam: os oriundos do trabalho de Bardin e, por outro lado, os que derivam das pesquisas de Schumpeter. Para esses autores, a primeira corrente, estruturada inicialmente a partir dos trabalhos de Joe S. Bardin e posteriormente desenvolvida por F. M. Scherer, é conhecida como o modelo Estrutura-Condução-Desempenho (Modelo ECD). Essa abordagem tem como foco principal a análise de como os recursos escassos são alocados dentro da economia, operando sob as hipóteses de equilíbrio de mercado e maximização dos lucros.

O Modelo ECD propõe, informam Kupfer e Hasenclever (2012), que há uma relação causal entre a estrutura de mercado (como o grau de concentração das empresas), a conduta das empresas (como políticas de preços, publicidade e inovação) e o desempenho econômico (como a eficiência e a rentabilidade). De acordo com essa visão, a estrutura de mercado influencia diretamente a conduta das empresas, o que, por sua vez, determina o desempenho econômico do mercado.

Por outro lado, na perspectiva neoschumpeteriana, a inovação é considerada o principal motor do desenvolvimento econômico. Por isso, o alinhamento entre política industrial e política de inovação é essencial para assegurar que as economias possam se

adaptar às mudanças tecnológicas e manter sua competitividade em um mercado global em constante transformação. A política industrial, portanto, deve ser não apenas reativa, mas também proativa, antecipando tendências tecnológicas e direcionando o desenvolvimento industrial para setores com grande potencial de crescimento e inovação (Cavalcante, Rapini; Leonel, 2021).

Para Kupfer e Hasenclever (2012), os instrumentos da política industrial são diversos e têm como objetivo principal criar um ambiente favorável ao desenvolvimento industrial e à inovação. Um dos instrumentos mais relevantes é o financiamento da inovação, que pode ocorrer por meio de crédito, subvenções e incentivos fiscais.

O crédito subsidiado, por exemplo, conforme Silva (2018), oferece condições financeiras mais acessíveis para que as empresas invistam em pesquisa e desenvolvimento (P&D), reduzindo os custos inerentes à inovação. Além disso, a subvenção direta é uma ferramenta importante, pois proporciona recursos não reembolsáveis para projetos inovadores, incentivando a exploração de novas ideias e tecnologias.

Para Silva (2018), outro instrumento essencial da política industrial é a utilização de compras públicas para estimular setores estratégicos. Ao garantir a demanda por produtos e serviços inovadores, o governo pode incentivar o desenvolvimento de novas tecnologias e fortalecer a competitividade de setores emergentes. As compras públicas são particularmente importantes em setores onde a demanda inicial pode ser limitada, tornando o apoio governamental crucial para o sucesso de novos projetos.

Conforme Kupfer e Hasenclever (2012), há que se considerar, ainda, que as políticas de regulação e defesa da concorrência também têm um papel fundamental na política industrial. A regulação pode ser empregada para definir padrões de qualidade, segurança e sustentabilidade, incentivando a adoção de novas tecnologias e práticas industriais mais eficientes. A defesa da concorrência, por sua vez, busca assegurar um ambiente de mercado justo e competitivo, prevenindo práticas monopolistas que possam comprometer a inovação e o desenvolvimento industrial.

Uma forma de coordenar essas diferentes políticas e instrumentos são as políticas orientadas por missões. Essas políticas desempenham um papel central na coordenação não apenas dos esforços públicos, mas destes com os esforços privados também, para alcançar objetivos específicos de desenvolvimento industrial e inovação. Essas políticas são estruturadas em torno de metas claras, como a sustentabilidade ambiental ou o avanço tecnológico em áreas estratégicas, e visam alinhar as ações dos diversos atores envolvidos.

Ocorre que, no contexto acima, mencionado por Cavalcante, Rapini e Leonel (2021), a integração e a complementaridade dos instrumentos de política industrial são fundamentais para maximizar o impacto desses esforços. Ao orientar as políticas para missões específicas, cria-se um direcionamento estratégico que facilita a coordenação entre diferentes setores da economia e as necessidades sociais, garantindo que os recursos e investimentos sejam aplicados de forma eficiente e eficaz.

Além disso, informa Mazzucato (2018), as políticas orientadas por missões geram sinergias ao conectar diversos instrumentos de incentivo, como subsídios, parcerias público-privadas e programas de pesquisa e desenvolvimento. Ao integrar essas ferramentas, as políticas não apenas estimulam a inovação, mas também promovem a competitividade industrial, reduzindo barreiras à entrada de novas tecnologias e aumentando o impacto de iniciativas tecnológicas. A aplicação coordenada desses instrumentos contribui para a criação de ecossistemas de inovação, onde os avanços em um setor podem impulsionar progressos em outros, gerando efeitos multiplicadores que beneficiam a economia como um todo.

Por fim, o papel das políticas orientadas por missões está também em garantir que as inovações não ocorram de maneira isolada, mas sim como parte de um esforço coletivo voltado para o bem comum. Ao focar em desafios societais, como a transição energética ou o combate às mudanças climáticas, essas políticas tornam-se mecanismos para mobilizar recursos de forma alinhada a metas específicas. Essa abordagem estratégica permite que as indústrias e o governo trabalhem em conjunto para enfrentar os principais desafios da sociedade, promovendo não apenas o desenvolvimento econômico, mas também benefícios sociais amplos e duradouros (Mazzucato, 2018).

Feita essas considerações acerca da política industrial e, também, das políticas orientadas por missões nesse contexto, trata-se, a seguir, especificamente, das políticas orientadas por missões.

3.2 POLÍTICAS ORIENTADAS POR MISSÕES

As missões para a política de inovação têm ganhado destaque como uma abordagem dinâmica e orientada para resolver desafios complexos enfrentados pela sociedade contemporânea. Em vez de simplesmente lançar fundos para problemas específicos, as missões visam mobilizar recursos e esforços de diversos atores, tanto públicos quanto privados, em direção a metas concretas e ambiciosas.

A política de inovação orientada por missões está longe de ser um passo no desconhecido. Há uma teoria substancial, evidências, estudos de caso e experiência acumulada ao longo de muitas décadas de prática bem-sucedida. Também é importante entender os desafios associados à obtenção do compromisso político necessário e a legitimidade pública por trás de tais políticas ambiciosas. Para colher os substanciais benefícios dessa abordagem, é necessário abandonar a ideologia que muitas vezes informa – e desinforma – sobre o papel que o Estado pode desempenhar na economia (Mazzucato, 2018).

Os atores dos setores públicos e privados e do terceiro setor podem trabalhar juntos de novas maneiras para cocriar e moldar os mercados do futuro. Pode-se aprender com experiências práticas de políticas para promover um quadro mais coerente e coeso entre setores, instituições e nações. Somente dessa forma o crescimento liderado por investimentos pode ajudar a resolver não apenas o problema do crescimento, mas também os desafios difíceis do século XXI que se aproximam (Mazzucato, 2018).

Neves *et al.* (2023) afirmam que a temática da inovação orientada por missão, incluindo a inovação social, tem ganhado destaque como objeto de estudo científico. Contudo, é nos círculos governamentais e nos documentos institucionais que a discussão sobre essas missões é mais frequente, embora com abordagens diversas. As múltiplas e variadas crises enfrentadas por países desenvolvidos ou em desenvolvimento destacaram que a prosperidade da sociedade não pode ser alcançada apenas com inovação no setor privado, ou apenas no setor público; exemplos diversos mostram que apenas países nos quais uma variedade de formas organizacionais explora o potencial da cultura inovadora têm conseguido superar os desafios complexos, embora o termo “inovação orientada por missão” não seja novo – suas primeiras menções datam dos anos 1970, em projetos da indústria aeroespacial americana. Ao longo dos anos, observou-se que, embora sua essência permaneça, o conceito evoluiu e foi integrado em várias disciplinas do conhecimento.

Mazzucato (2018) afirma que as políticas orientadas para missões são políticas públicas abrangentes que se baseiam em conhecimentos de ponta para alcançar objetivos específicos, ou seja, uma espécie de “ciência de alto escalão aplicada a grandes problemas”. Enquanto a missão histórica arquetípica é exemplificada pela conquista da NASA (National Aeronautics and Space Administration) de levar um homem à Lua, as missões contemporâneas têm como foco abordar desafios mais amplos, exigindo um compromisso de longo prazo para o desenvolvimento de soluções que são igualmente sociais e tecnológicas.

O envolvimento ativo de governos e organizações transnacionais na formulação de estratégias para uma economia mais sustentável pode ser interpretado sob essa perspectiva orientada para missões, assim como esforços direcionados para melhorar o bem-estar da população idosa e proporcionar melhores oportunidades de emprego para os jovens. Na verdade, esses desafios – sejam eles ambientais, sejam demográficos, econômicos ou sociais – tornaram-se justificativas centrais para a ação nas agendas de políticas de inovação, oferecendo direcionamento estratégico para políticas de financiamento e iniciativas de inovação. Contudo, as missões sociais são muito mais complexas, pois são menos definidas de maneira clara e devem ser definidas em colaboração com diversos interessados. Por exemplo, enquadrar o desafio da desigualdade é muito mais difícil do que lidar com os objetivos concretos da corrida espacial (Mazzucato, 2018).

Todavia, esses desafios exigem grandes mudanças regulatórias e comportamentais em nível nacional e social. Isso levanta a questão de por que a inovação conseguiu alcançar feitos tão extraordinários, como a missão de levar um homem à Lua, mas ainda luta para lidar de forma eficaz com problemas mais mundanos, como a pobreza, o analfabetismo e o surgimento de guetos e favelas. Argumenta-se que, embora a política possa ter parte da culpa, o verdadeiro problema é que soluções puramente científicas e tecnológicas não são suficientes para resolver esses problemas. É necessário um entendimento multidisciplinar que combine sociologia, política, economia e tecnologia para enfrentar esses desafios, juntamente com uma decisão consciente de direcionar a inovação para eles. E é exatamente isso que uma missão bem planejada pode alcançar (Mazzucato, 2018).

Nessa linha, Teixeira e Rapini (2022) apontam que as políticas orientadas por missões podem servir como uma abordagem para coordenar diferentes políticas, embora tais missões devam ser concebidas dentro de um contexto de desenvolvimento que incorpore a inovação. As missões, agora desvinculadas da soberania nacional e da defesa, passam a estar relacionadas a soluções tecnológicas para os grandes desafios sociais do século XXI. Dessa forma, as políticas orientadas por missões buscam encontrar soluções tecnológicas para problemas e desafios de importância social, por meio de grandes projetos estratégicos. Isso resultaria na obtenção de subprodutos que contribuem para a melhoria das capacidades técnicas de diversos setores industriais, com potencial para influenciar toda a estrutura produtiva dos países.

No contexto da América Latina, destaca-se que as políticas orientadas por missão devem ser acompanhadas por processos de mudança estrutural, além de serem articuladas

com outros setores. Nesse sentido, a Política de Ciência e Tecnologia (C&T) requer políticas industriais que promovam um processo acelerado de aprendizado, baseado em uma ampla diversificação produtiva. A ideia central da agenda recente enfatiza o papel proativo e empreendedor do Estado, que assume riscos e lidera o processo de inovação, especialmente nas fronteiras da inovação (Teixeira; Rapini, 2022).

No entanto, para alcançar esse objetivo, o Estado precisa possuir certos atributos em suas capacidades, como direcionalidade (definir prioridades coletivas e direcionar a demanda), articulação da demanda (antecipar as necessidades dos usuários e coordenar com a aquisição pública), flexibilidade (antecipar mudanças e mobilizar os atores) e coordenação. Este último atributo resume a necessidade de gerenciar políticas de diferentes dimensões – como mercado de trabalho, educação, indústria e comércio – e diferentes instrumentos de política de inovação (Teixeira; Rapini, 2022).

A política de inovação orientada por missões tem um papel importante a desempenhar na entrega de um crescimento de melhor qualidade enquanto aborda desafios importantes, mas as mudanças de mentalidade, estruturas teóricas, capacidades institucionais e políticas necessárias estão longe de serem triviais.

Mazzucato (2018) orienta que as missões não podem acontecer sem novos conjuntos de ferramentas e que há a necessidade de a própria política ser vista como algo que molda e cria mercados, em vez de apenas consertá-los, e a necessidade de ferramentas específicas, incluindo o uso de financiamento e a capacidade dos atores estatais de experimentar, explorar e desenvolver capacidades para aprender. Experimentos bem-sucedidos de políticas orientadas por missões requerem todos os seis fatores em vigor: (1) difusão e tecnologia, (2) viabilidade econômica, (3) sentido de direção partilhado entre os agentes, (4) controle descentralizado por agências públicas, (5) desenvolvimento de inovações radicais e incrementais e (6) políticas complementares facilitadoras. Eles exigem uma formulação mais dinâmica de questões-chave. É menos sobre escolher ou não escolher, e mais sobre a capacidade institucional e organizacional de definir amplamente direções, por meio de deliberação estratégica; menos sobre métricas estáticas de custo-benefício, que frequentemente resultam em acusações de “exclusão”, e mais sobre critérios de avaliação dinâmicos que podem nutrir e avaliar processos de moldagem de mercado e capturar os efeitos transversais criados entre setores.

Borrás e Edquist (2013) sustentam que tomar decisões sobre os meios de ação é uma parte essencial no desenvolvimento de políticas. Os mecanismos da política de inovação

devem ser compreendidos como ferramentas práticas de intervenção por parte dos governos e das entidades públicas. Embora esses mecanismos tenham uma intenção específica, isso não implica que todos os meios da política de inovação tenham sido deliberadamente escolhidos e planejados.

Na verdade, a seleção e utilização desses mecanismos muitas vezes não são baseadas em objetivos gerais definidos de forma clara na política de inovação, nem resultam de uma identificação precisa dos problemas. Infelizmente, muitas vezes os meios são selecionados de forma *ad hoc*, em grande parte mantendo esquemas pré-existentes ou atendendo a interesses de grupos específicos, em vez de considerar as necessidades reais e uma avaliação crítica da situação.³

Em geral, é necessário conceber, redesenhar e adaptar os mecanismos políticos às demandas específicas dos sistemas de inovação e ao contexto em que são aplicados. O design dos instrumentos usados na política de inovação pode evoluir ao longo do tempo de acordo com mudanças nas preferências, nos objetivos e nos problemas dentro do sistema de inovação.⁴ Cada mecanismo político é único. Embora alguns possam ser semelhantes na maneira como abordam um problema, sempre haverá diferenças significativas, não apenas em termos de detalhes específicos de escolha e concepção, mas também em relação ao impacto social mais amplo no contexto político, econômico e organizacional em que são aplicados (Borrás; Edquist, 2013).

Nessa linha, Borrás e Edquist (2013) apontam que a seleção dos meios de ação é uma etapa fundamental na elaboração de uma política de inovação. Isso envolve três aspectos cruciais. Primeiramente, uma escolha inicial dos instrumentos específicos mais apropriados dentre uma vasta gama de opções disponíveis. Em segundo lugar, a adaptação concreta ou customização dos instrumentos para se adequarem ao contexto em que serão aplicados. Em terceiro lugar, o desenho de uma combinação de instrumentos ou conjunto de políticas complementares diferentes para abordar os problemas identificados.

Às vezes, os instrumentos de política de inovação são selecionados individualmente, ou seja, considerando-os isoladamente. No entanto, geralmente os instrumentos de política de inovação são combinados em arranjos, o que implica que a escolha dos instrumentos leve em

³ Nessa linha, pode-se argumentar que os *lobbies* afetam a implementação da política e, portanto, é relevante compreender as visões das associações patronais sobre determinados fenômenos, como a Indústria 4.0, o que será feito posteriormente

⁴ Sistema de inovação refere-se ao conjunto de fatores ou determinantes que influenciam os processos de inovação e as próprias inovações, envolvendo organizações, instituições e interações que afetam a geração e difusão de novos produtos e processos (Borrás; Edquist, 2013).

conta sua complementaridade ou os efeitos sinérgicos no sistema de inovação. Ao selecionar os instrumentos, é importante considerar tanto as características individuais quanto os efeitos complementares, sinérgicos e contrastantes de um instrumento em relação à combinação específica na qual está inserido. Uma questão crucial ao discutir a escolha dos instrumentos de política de inovação é a necessidade de adaptar os instrumentos às especificidades do sistema de inovação e, especialmente, às características das estruturas administrativas. Em outras palavras, os instrumentos políticos precisam ser adaptados e customizados de acordo com as necessidades mutáveis do sistema e as capacidades dos gestores públicos (Borrás; Edquist, 2013).

Para Teixeira e Rapini (2022), a coordenação entre políticas é essencial para o resultado da inovação. Os autores argumentam que a coordenação entre as políticas de inovação e as outras políticas têm o potencial de interromper o ciclo vicioso de uma capacidade absorptiva limitada⁵ no Brasil por duas razões. Por um lado, se as políticas macroeconômicas e comerciais forem coordenadas na direção de interromper o ciclo vicioso, elas podem induzir as empresas a adotarem estratégias mais orientadas para o longo prazo e enfrentarem problemas tecnológicos mais complexos e verdadeiramente inovadores. Por outro lado, é necessário também coordenar essas políticas com aquelas que direcionam e/ou apoiam continuamente a construção das capacidades absorptivas das empresas, e isso inclui políticas educacionais que se conectam com as políticas industriais, reduzindo a lacuna no processo de aprendizado da mão de obra, bem como a oferta constante de instrumentos financeiros de apoio à inovação, com ênfase em subsídios econômicos e compras públicas, devido à capacidade daqueles em orientar o processo inovador para projetos mais arriscados e complexos.

Porém, Teixeira e Rapini (2022) apontam que toda essa coordenação requer elementos institucionais que a tornem possível. Isso inclui o estabelecimento de missões ou, em um sentido mais amplo, de um plano de desenvolvimento que leve em conta a inovação e atue como uma política implícita favorável a essa coordenação. Por isso, é necessário avançar na compreensão de que o desenvolvimento tecnológico não é responsabilidade exclusiva do

⁵ A expressão “capacidade absorptiva” (CA) foi estabelecida por Cohen e Levinthal no artigo intitulado “Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation”, de 1990. Nesse trabalho, Cohen e Levinthal explicaram como a CA poderia promover inovação e desempenho inovador dentro das empresas. Doze anos depois, em 2002, Zahra e George propuseram um novo modelo, no qual eles trataram a CA como uma capacidade dinâmica e afirmaram que a CA ajuda as empresas a sustentar vantagens competitivas sobre os concorrentes, aumentando a flexibilidade, a inovação e o desempenho das empresas. A CA é também um “alicerce” das teorias da inovação, bem como uma forte preditora de inovação e transferência de conhecimento dentro das empresas (Mikhailov; Reichert, 2019, p. 3).

Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e que o desenho de políticas de inovação capazes de enfrentar os desafios recentes requer uma reconfiguração institucional mais ampla e coordenada (Teixeira; Rapini, 2022).

Mazzucato (2018) reforça que, se os governos estão cada vez mais buscando um crescimento econômico que seja inteligente (liderado pela inovação), inclusivo e sustentável, é fundamental compreender isso no contexto dos grandes desafios sociais, como as mudanças climáticas, a melhoria da saúde pública e do bem-estar, e a adaptação às mudanças demográficas. As missões não podem ser realizadas sem a adoção de novos conjuntos de ferramentas ou de ferramentas específicas, como o uso de financiamento paciente, e sem considerar a capacidade dos atores estatais de experimentar, explorar e desenvolver habilidades para aprender.

Além disso, Mazzucato (2018) comenta que é essencial compreender os desafios relacionados à obtenção do compromisso político necessário e à legitimação pública por trás de políticas tão ambiciosas. Para colher os benefícios substanciais dessa abordagem, é essencial abandonar a ideologia que muitas vezes influencia – e desorienta – o papel que o Estado pode desempenhar na economia. Nesse sentido, os atores públicos e privados e do terceiro setor podem colaborar de novas maneiras para cocriar e moldar os mercados do futuro, assim como se pode aprender com experiências políticas práticas para promover um quadro mais coeso e coerente entre setores, instituições e nações. Somente dessa forma o crescimento liderado por investimentos pode ajudar a resolver não apenas o problema do crescimento, mas também enfrentar os desafios complexos do século XXI que estão por vir.

Portanto, é fundamental obter o compromisso político e a legitimação pública para implementar políticas ambiciosas que possam enfrentar os desafios complexos do século XXI, pois somente através de uma colaboração eficaz entre atores públicos e privados é possível moldar os mercados do futuro, promovendo um crescimento econômico inteligente, inclusivo e sustentável. E, para tal coordenação, as associações patronais podem exercer um papel relevante, discutido a seguir.

3.3 O PAPEL DAS ASSOCIAÇÕES PATRONAIS NESSAS POLÍTICAS

Segundo Pochmann (1998), as associações patronais no Brasil surgiram na década de 1930, quando o país passava por um processo de transição de uma economia primário-exportadora para uma economia urbano-industrial. Diante desse novo cenário, as associações

patronais passaram não apenas a mediar às relações entre o governo e o setor produtivo, mas também a desempenhar um papel fundamental no desenvolvimento econômico e na manutenção do regime democrático, principalmente em períodos de transição política e econômica do país.

De acordo com Faria (2017), em trabalho acerca da trajetória da CNI na política industrial brasileira, as associações patronais, que representam os interesses das empresas e indústrias em diversos setores, têm uma influência significativa na formação de políticas públicas. No contexto das políticas orientadas por missões, prossegue a autora, essas associações atuam em várias frentes. Primeiramente, elas são intermediárias entre o setor privado e o governo, facilitando o diálogo e a colaboração. Ao representar coletivamente os interesses das empresas, as associações podem ajudar a alinhar os objetivos das missões com as capacidades e necessidades do setor privado. Além disso, as associações patronais podem mobilizar recursos, tanto financeiros quanto em termos de conhecimento e inovação, para apoiar a implementação das missões. Elas têm a capacidade de coordenar esforços dentro de suas indústrias para garantir que as empresas estejam alinhadas com os objetivos das missões, promovendo práticas sustentáveis, inovação tecnológica e colaboração entre empresas. Esse papel é particularmente importante em missões que envolvem desafios complexos, como a transição para energias renováveis, em que a colaboração intersetorial é essencial (Faria, 2017).

Um exemplo notável do papel das associações patronais em políticas orientadas por missões pode ser observado na transição energética na Europa. Associações como a European Round Table for Industry (ERT) e a European Chemical Industry Council (Cefic) têm sido fundamentais na articulação de políticas de descarbonização. Essas associações não apenas pressionam por políticas que sejam favoráveis ao setor privado, como também participam ativamente na elaboração de estratégias de longo prazo que incentivem a inovação e a sustentabilidade nas indústrias que representam (Faria, 2017).

No Brasil, prossegue a mesma autora (Faria, 2017), a Confederação Nacional da Indústria desempenha um papel similar, colaborando com o governo em iniciativas de inovação e sustentabilidade. A CNI tem sido uma voz ativa na promoção de políticas que incentivam a Indústria 4.0 e a transição para uma economia de baixo carbono. Ao alinhar as prioridades das empresas com as políticas públicas, a CNI ajuda a garantir que as missões sejam viáveis e recebam o apoio necessário para serem implementadas com sucesso.

Ao focar especificamente na CNI, com base em Faria (2017), percebe-se que esta desempenha um papel dinâmico e não linear na trajetória da política industrial no Brasil, refletindo as mudanças nas alianças público-privadas e nas demandas do empresariado. A CNI, em alguns momentos, apoia um papel mais ativo do Estado na economia, especialmente quando se trata de incentivos à indústria nacional ou de coordenação de políticas industriais. No entanto, em outros períodos, a organização defende uma maior autonomia da iniciativa privada, especialmente em relação ao capital estrangeiro, mostrando uma oscilação em suas posições, que refletem as divisões internas entre os empresários que favorecem a intervenção estatal e aqueles que preferem parcerias internacionais (Faria, 2017).

Durante diferentes fases da história econômica brasileira, a CNI variou seu protagonismo, alternando entre uma posição de liderança política, como visto entre 1938 e 1950, e uma posição marginal ou secundária, em que sua atuação foi condicionada pelos interesses do capital estrangeiro ou pela intervenção do Estado, como nos períodos de centralização estatal. Em alguns momentos, a CNI buscou maior apoio do governo diante da crescente participação do capital estrangeiro, mas, em outros, sua liderança foi enfraquecida pela incapacidade da indústria nacional de competir de igual para igual com multinacionais, o que resultou em uma reaproximação com o Estado (Faria, 2017).

A relação entre a CNI e o governo também oscilou em resposta a crises econômicas, como quedas no PIB, que frequentemente levaram a rupturas na aliança público-privada. Nessas ocasiões, a CNI ajustou sua posição, ora buscando maior intervenção estatal para proteger a indústria nacional, ora apoiando a abertura econômica e a autonomia da iniciativa privada. A CNI tem atuado, então, de forma flexível e adaptável ao longo da trajetória da política industrial brasileira, refletindo as tensões entre os interesses do empresariado nacional, a dependência de capital estrangeiro e as demandas por maior intervenção governamental (Faria, 2017).

De acordo com Chiarini *et al.* (2020), apesar de sua importância, as associações patronais enfrentam vários desafios ao se envolverem em políticas orientadas por missões. Um dos principais desafios é a necessidade de equilibrar os interesses de curto prazo de suas empresas associadas com os objetivos de longo prazo das missões. Muitas vezes, as empresas estão mais focadas em resultados imediatos, como lucros e competitividade, enquanto as missões exigem investimentos em inovação e mudanças estruturais que podem não trazer retornos imediatos.

Outro desafio é a necessidade de adaptação a um ambiente regulatório em constante mudança. As políticas orientadas por missões frequentemente envolvem novas regulamentações e padrões, que podem ser difíceis de implementar para as empresas. As associações patronais precisam atuar como facilitadoras nesse processo, ajudando suas associadas a entender e se adaptar às novas exigências, enquanto promovem a inovação e a sustentabilidade (Chiarini *et al.*, 2020).

Além disso, continuam os mesmos autores, há o desafio de garantir a representatividade e a inclusão de todas as vozes dentro da associação. As missões geralmente exigem colaboração intersetorial e *multistakeholder*, o que significa que as associações patronais precisam garantir que todas as empresas, independentemente de seu tamanho ou setor, tenham a oportunidade de contribuir e se beneficiar das políticas implementadas.

Como lembra Faria (2017), o papel das associações patronais nas políticas orientadas por missões provavelmente se tornará ainda mais relevante no futuro, à medida que os desafios globais, como as mudanças climáticas e a desigualdade social, exigirem soluções integradas e coordenadas. Para desempenhar esse papel de maneira eficaz, as associações precisarão se adaptar às novas demandas, promovendo uma maior colaboração entre o setor privado, os governos e a sociedade civil.

Deve-se considerar, ainda, no contexto desta discussão, com Chiarini *et al.* (2020), a importância das empresas privadas no sistema de inovação nacional. Conforme os autores, as empresas privadas desempenham um papel essencial dentro do Sistema Nacional de Inovação (SNI) no Brasil, sendo fundamentais na condução de práticas de inovação e no desenvolvimento tecnológico. Entretanto, a relação entre essas empresas e o SNI brasileiro revela uma complexidade significativa, especialmente no que diz respeito à coordenação e à estabilidade das políticas públicas de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I).

O artigo de Chiarini *et al.* (2020) destaca que, embora essas empresas privadas sejam líderes na inovação nacional, há uma falta de suporte institucional que impede o fortalecimento adequado do SNI. Esse impedimento é exacerbado pela fragmentação tanto no setor público quanto no privado, em que a ausência de uma coalizão forte e coordenada entre esses atores cria desafios adicionais para o avanço tecnológico. O governo tem aumentado sua participação em esforços de inovação, afirmam Chiarini *et al.* (2020), mas essa contribuição não tem sido suficiente para elevar a participação privada em Pesquisa e Desenvolvimento de forma significativa. As grandes empresas, muitas vezes, não encontram incentivos suficientes

para investir em inovações de longo prazo, devido à instabilidade e às mudanças frequentes nas políticas públicas.

A falta de uma coordenação eficaz entre os diferentes atores do SNI, incluindo as grandes empresas privadas, impede a criação de um ambiente propício para a inovação de forma sustentável. A ausência de uma coalizão que integre o setor público e o privado resulta em uma situação na qual os esforços para inovar são fragmentados e, muitas vezes, ineficazes. Além disso, durante períodos de crise econômica, como o enfrentado pelo Brasil desde 2013, a tendência é que as empresas reduzam ainda mais seus esforços inovadores, reforçando o ciclo de baixa inovação (Chiarini *et al.*, 2020).

Logo, concluem Chiarini *et al.* (2020), enquanto as grandes empresas desempenham um papel crucial na promoção da inovação, a falta de uma abordagem coletiva e coordenada entre os diferentes atores do SNI limita o potencial de inovação no Brasil. Os autores sugerem que é necessário desenvolver novos padrões de interação entre as empresas domésticas, multinacionais e o Estado, para romper com essa dinâmica negativa e fortalecer o SNI de forma que ele possa realmente fomentar o desenvolvimento econômico e tecnológico do país. Nesse sentido, como discutido, as associações patronais são relevantes para tal interação.

Adicionalmente, Rao (2004) argumenta que tais associações desempenham um papel central na legitimação e promoção de novas indústrias, especialmente durante os primeiros anos de desenvolvimento de um setor emergente. Baseando-se no conceito de ativismo institucional,⁶ essas associações não apenas representam os interesses econômicos dos empresários, mas também atuam como agentes de legitimação social e política.

De acordo com Wollfenbüttel (2022), o ativismo institucional refere-se ao conjunto de práticas e estratégias adotadas por indivíduos ou grupos dentro de uma organização com o objetivo de promover mudanças significativas nas políticas, estruturas e práticas institucionais. Esse tipo de ativismo pode ocorrer em diversos setores, como o governamental, o corporativo e o educacional, e se diferencia do ativismo tradicional por estar inserido diretamente dentro das instituições, aproveitando seus mecanismos internos para alcançar seus objetivos. Ao invés de atuar de fora, pressionando por mudanças, o ativismo institucional opera de dentro, utilizando as redes de poder, influência e decisão existentes para promover inovações e transformações estruturais.

Nesse contexto, o papel das associações patronais pode ser entendido como uma forma de “ativismo institucional”, em que elas não apenas buscam lucros, mas também trabalham

⁶ Nesse contexto, os neoinstitucionalistas sugeriram que os ativistas institucionais seriam empreendedores ideológicos que garantem a legitimidade constitutiva de uma nova indústria ou rotina (Rao, 2004, p. 4).

para assegurar que a nova indústria obtenha legitimidade sociopolítica e constitutiva, permitindo seu crescimento sustentável e a formação de novos empreendimentos (Rao, 2004).

Os trabalhos de Rao (2004) e Wollfenbüttel (2022) discutem esse ativismo principalmente a partir do contexto do mercado automotivo. O estudo da indústria automobilística americana, empreendido por Rao (2004), em seus primeiros anos ilustra como essas associações, muitas vezes lideradas por entusiastas e empresários, foram fundamentais para superar a incerteza que cercava a aceitação do automóvel como meio de transporte confiável. A realização de eventos de demonstração, como os concursos de confiabilidade, organizados por clubes de automóveis, serviu para validar o automóvel diante de consumidores, investidores e o público em geral. Esses eventos, que testavam a durabilidade e o desempenho dos carros em condições reais, contribuíram para a construção de uma narrativa positiva sobre a nova tecnologia, reforçando sua credibilidade e aceitação.

Além disso, o ativismo dessas associações patronais não se limitava a eventos públicos. Elas também desempenharam um papel crucial no *lobby* junto ao governo, influenciando políticas públicas e buscando a regulamentação favorável à indústria nascente. A legalização e a regulamentação do automóvel, juntamente com campanhas publicitárias e a ação de governadores pró-negócios, complementaram os esforços dessas associações na construção de um ambiente político e econômico favorável para o surgimento de novas empresas automotivas (Rao, 2004).

Já o trabalho de Wollfenbüttel (2022) analisa o ativismo institucional no contexto de políticas voltadas para a transição tecnológica no mercado automotivo, como no caso da introdução de veículos elétricos no Brasil. Os atores envolvidos, incluindo associações de consumidores, órgãos governamentais e empresas privadas, muitas vezes utilizam suas posições e redes de influência para moldar o cenário regulatório e incentivar inovações no setor. Por exemplo, políticas como o Inovar-Auto e o Rota 2030 emergiram em grande parte como resultado de pressões internas dentro do governo e da indústria automotiva, que buscavam alinhar o Brasil com tendências globais de eficiência energética e sustentabilidade.

Essas iniciativas, diz o mesmo autor, demonstram a importância de mecanismos institucionais para a promoção da inovação. No entanto, um dos principais desafios enfrentados por esse tipo de ativismo é a resistência das estruturas estabelecidas que se beneficiam do status quo. A implementação de veículos elétricos, por exemplo, foi fortemente impactada pela influência de empresas consolidadas que priorizam o desenvolvimento incremental de tecnologias de motores a combustão, em detrimento de uma transição mais

rápida para a eletrificação. Esse comportamento reflete um bloqueio institucional, em que interesses já consolidados limitam a capacidade de novas tecnologias se desenvolverem plenamente.

Para que o ativismo institucional seja eficaz, é fundamental que haja um alinhamento entre as políticas governamentais e os interesses de inovação dos atores envolvidos. No caso brasileiro, esse alinhamento nem sempre ocorreu de forma eficiente. As políticas setoriais, muitas vezes, não impuseram grandes desafios técnicos às indústrias, o que resultou em uma priorização de inovações incrementais em vez de transformações profundas no setor automotivo. Assim, o ativismo institucional precisa também enfrentar a questão da ambiguidade de certos atores, que podem adotar posturas hesitantes ou contraditórias em relação à inovação (Wolffenbüttel, 2022).

Um exemplo claro desse tipo de bloqueio, destaca Wolffenbüttel (2022), é a ausência de metas claras e de longo prazo para a eletrificação da mobilidade no Brasil. Diferentemente de outras economias que têm se comprometido com a proibição futura de veículos a combustão, o Brasil optou por um conjunto de políticas amplas, que não se comprometem decisivamente com nenhuma tecnologia específica. Isso demonstra como o ativismo institucional pode ser prejudicado pela falta de diretrizes claras e por um ambiente regulatório que privilegia a continuidade de tecnologias tradicionais.

No entanto, o ativismo institucional também pode criar oportunidades para novos atores entrarem em cena. A criação de grupos de discussão sobre eletromobilidade, como aqueles promovidos por associações de veículos elétricos, é um exemplo de como novos atores podem influenciar as políticas setoriais e, eventualmente, moldar a direção das inovações. Essas associações, atuando como empreendedores institucionais, assumiram a responsabilidade de legitimar a tecnologia dos veículos elétricos, promovendo eventos, carreatas e ações de *lobby* que visam aumentar a aceitação e o uso dessa tecnologia (Wolffenbüttel, 2022).

Esse tipo de ativismo também se beneficiou de políticas oriundas de setores diferentes do automotivo, como as iniciativas do setor elétrico que visam desenvolver a infraestrutura de recarga de veículos elétricos no Brasil. Políticas como a Resolução Normativa Aneel 819 e a Chamada Estratégica 22 demonstram como setores externos ao automotivo podem contribuir de forma significativa para o desenvolvimento de tecnologias emergentes, criando novos mercados e legitimando inovações tecnológicas (Wolffenbüttel, 2022).

Contudo, o ativismo institucional no Brasil enfrenta desafios estruturais significativos, particularmente no que diz respeito à falta de uma coordenação eficaz entre diferentes políticas e setores. Sem uma articulação clara entre os vários agentes envolvidos, torna-se difícil criar as externalidades positivas necessárias para que a eletrificação automotiva se desenvolva de forma sustentável. Nesse sentido, é fundamental que o ativismo institucional se concentre não apenas na promoção de políticas isoladas, mas também na criação de redes de colaboração que possam sustentar essas inovações ao longo do tempo (Wolffenbüttel, 2022).

Outro ponto crucial, conforme o mesmo autor, para o sucesso do ativismo institucional é o desenvolvimento de uma infraestrutura institucional que facilite a inovação. Políticas como o Inovar-Auto e o Rota 2030 mostram como uma infraestrutura institucional mal alinhada pode atuar como um bloqueio à inovação, limitando a capacidade do Brasil de acompanhar as tendências globais em eletrificação. Para que o ativismo institucional tenha sucesso, é necessário que haja um esforço coordenado para revisar e reformar essas políticas, de modo a criar um ambiente mais favorável para a inovação.

O ativismo institucional no Brasil pode encontrar uma oportunidade de expansão à medida que as preocupações com as mudanças climáticas e a sustentabilidade se tornam cada vez mais centrais nas agendas globais. Ao utilizar essas questões como pontos de partida para promover a eletrificação da mobilidade, os ativistas institucionais podem alavancar o apoio de um número crescente de atores interessados em promover a transição para uma economia de baixo carbono. Essa abordagem pode ajudar a superar resistências internas e acelerar a implementação de inovações tecnológicas no país (Wolffenbüttel, 2022).

Em suma, observa-se que as associações patronais desempenham um papel crucial no desenvolvimento e na implementação de políticas industriais, especialmente aquelas orientadas por missões, que visam resolver desafios específicos, como a sustentabilidade ou a inovação tecnológica, ou em mercados em consolidação. Elas podem atuar como intermediárias entre o governo e as empresas, ajudando a articular interesses comuns e propondo diretrizes que atendam tanto às demandas das políticas públicas quanto às necessidades do setor produtivo. Ao representar os interesses das indústrias, essas associações podem facilitar a adaptação das empresas às novas regulamentações e promover a adoção de inovações necessárias para o sucesso das missões, como a transição para uma economia de baixo carbono ou o desenvolvimento de novas tecnologias.

Além disso, as associações patronais podem contribuir para o alinhamento de investimentos em pesquisa e desenvolvimento com os objetivos das políticas industriais

orientadas por missões. Elas podem incentivar a formação de parcerias público-privadas e a cooperação entre diferentes setores industriais, além de promover a disseminação de boas práticas e inovações. Ao liderar esforços para capacitar a mão de obra e melhorar a competitividade das empresas associadas, essas organizações podem garantir que os setores industriais estejam preparados para enfrentar os desafios das políticas orientadas por missões e/ou das mudanças tecnológicas em curso. A próxima seção discute tais mudanças a partir do conceito de revoluções industriais.

3.4 AS TRÊS PRIMEIRAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

A Primeira Revolução Industrial iniciou-se na Grã-Bretanha no final do século XVIII, promovendo um desdobramento de cunho econômico, social e político devido ao surgimento de um novo sistema: o capitalismo industrial. Essa mudança do capitalismo comercial para um sistema capitalista industrial foi decorrente da inserção de novas tecnologias, como a introdução de fontes de energias inanimadas e, conseqüentemente, a inserção de máquinas.

Essas novas tecnologias viriam substituir, em parte, a mão de obra humana, constituindo, assim, um enorme impacto durante a Primeira Revolução Industrial, com expressivos ganhos de produtividade, queda nos custos intermediários e aumento na renda per capita. Ressaltamos que a Primeira Revolução Industrial aconteceu de forma exponencial entre poucas indústrias e setores (Schwab, 2016a). A Revolução Industrial, como mostra Braudel (1989), foi possível porque esteve articulada em revoluções de setor por setor, tais como: agricultura, demografia, nas técnicas, nos transportes e no comércio. Sem as mudanças em outros setores não teria sido possível a Revolução Industrial. Ela não alterou somente a base material, mas modificou a configuração da produção de bens e serviços, assim como a sociedade e a cultura.

Embora o setor têxtil tenha realizado um papel fundamental no processo de inovação e crescimento da indústria inglesa durante a Primeira Revolução Industrial, este setor não se apresentou como uma característica de insumo de uso geral, ou seja, o setor industrial têxtil apresentava limitações para promover uma expansão da atividade econômica. Coube à indústria de ferro, com a produção de máquinas e equipamentos, ser o motor propulsor do desenvolvimento econômico (Freeman; Louçã, 2001).

Observamos, dessa forma, que o desenvolvimento e a evolução socioeconômica durante o período de industrialização inglesa foram possibilitados pelo processo de

mecanização, ou seja, a transição do sistema de manufatura para o sistema fabril. Consequentemente, isso levou à Segunda Revolução Industrial Inglesa. Também contribuiu a concorrência intercapitalista, com as inovações constantes do progresso técnico. Trata-se de um processo em que foi dispensado o trabalho vivo para alguns setores econômicos, liberando força de trabalho e criando uma superpopulação relativa. Ao mesmo tempo, a dinâmica do capitalismo, baseado na concorrência, em constante crise, leva ao movimento de queima e concentração de capital, o que gera um capitalismo baseado na grande empresa, em que a concorrência não mais se dá por preço, mas por poder de mercado, que se expressa no capitalismo monopolista. O avanço da industrialização vai reconfigurando as sociedades, que se tornam cada vez mais urbanas (Freeman; Louçã, 2001).

Uma vez estabelecido, esse sistema capitalista será reconfigurado por diversas revoluções tecnológicas a partir da Primeira Revolução Industrial, pois a demanda incessante de lucro está intrinsecamente associada à procura por inovação, como afirmava Schumpeter (1985).

A Segunda Revolução Industrial ocorreu no final do século XIX e no início do século XX. As principais inovações tecnológicas dessa nova fase foram: (i) a superação do ferro pelo aço; (ii) o surgimento da energia elétrica, o que alterou profundamente a economia e as indústrias, além das grandes mudanças no modo de viver das pessoas (Sousa, 2016).

Outra característica fundamental da Segunda Revolução Industrial foi a da criação de linhas de montagens com a produção, o que possibilitou a expansão da industrialização para outros países, como EUA, França, Rússia, Japão e Alemanha. Concomitantemente, criou-se um mercado de massas, sendo os EUA o primeiro país a apresentar ganhos de produtividade e salários (Schafer, 2015).

Na obra *A Era das Revoluções*, Hobsbawm (1977) explora a difusão da Segunda Revolução Industrial na Europa Ocidental e Oriental, incluindo países como Bélgica, França, Alemanha, Itália e Rússia, e sua posterior disseminação em outros continentes, tendo o Japão e os EUA como principais protagonistas. Ele destaca as principais inovações da Era, como a utilização do aço, a eletricidade, o petróleo, o motor à explosão, a locomotiva, o barco a vapor, o desenvolvimento de produtos químicos e os avanços em meios de comunicação, como o telégrafo, o telefone, o rádio e o cinema. Essas inovações também marcam certa continuidade entre as revoluções, o que será mais importante à frente.

Ainda nesse contexto, novas fontes de energia foram empregadas. A descoberta de novas fontes de energia (petróleo e água) impulsionou invenções como o motor a combustão e

a criação de usinas hidrelétricas. A descoberta do urânio (energia nuclear) revolucionou ainda mais a indústria. Todas essas descobertas e invenções representariam uma melhoria nas condições de vida para as pessoas, tornando suas existências mais confortáveis. Para a obtenção de maior lucratividade, a especialização do trabalho foi levada ao extremo, o que amplificou a produção em série, barateando o custo unitário dos artigos (Hobsbawm, 1977). De forma complementar, nesse contexto, o mundo inteiro passaria para um consumo global de produtos industrializados fabricados em diversos países, citados anteriormente.

No fim da Segunda Revolução Industrial, novas indústrias haviam sido criadas, incluindo a automobilística, a de máquinas a diesel, a aeronáutica, a petrolífera, as indústrias químicas de materiais sintéticos e muitas outras. Essas indústrias foram predominantemente estabelecidas em países onde o capitalismo estava se expandindo, incluindo alguns países em desenvolvimento na época.

Os ganhos de produtividade deram base para uma disputa política cujos impactos possibilitaram o surgimento do Estado de Bem-Estar Social, período em que as desigualdades diminuíram nos países centrais e houve até pleno emprego. Esse resultado não foi efeito puramente da tecnologia e do desenvolvimento capitalista, mas fruto da luta política. Particularmente no caso do trabalho, o nível de emprego melhorou por quatro fatores: 1) a luta dos trabalhadores, que conseguiram reduzir substancialmente a jornada de trabalho e ampliar o nível de direitos e proteção social; 2) a incorporação dos trabalhadores, com elevação dos salários e extensão do sistema de crédito, no padrão de consumo fordista; 3) a retirada das crianças e adolescentes, assim como das mulheres, do mercado de trabalho; 4) a constituição e universalização dos serviços sociais (saúde, educação, seguridade, etc.), que empregou um grande contingente de pessoas. Ou seja, as inovações técnicas foram, pela ação política, revertidas em favor da sociedade (Krein, 2019).

Com a crise dos anos 1970 – relacionada ao esgotamento do padrão pós-guerra que se reflete na inflação e também no choque do petróleo (1973-1979) –, houve espaço para uma mudança política, em que os empregadores e suas organizações conseguiram responsabilizar o Estado e a regulação pública da economia e do trabalho pelos problemas existentes. Isso fez com que o neoliberalismo fosse se tornando hegemônico. Nesse contexto, especialmente marcado pela corrida armamentista da Guerra Fria, inovações tecnológicas continuaram a ser amplamente difundidas no mercado de bens e serviços na sociedade, promovendo mudanças que combinam com a globalização da economia. Esta é alimentada pelo avanço da

financeirização – que somente foi possível pelas inovações tecnológicas, no contexto político de então, transformando o capitalismo e a sociedade (Freeman; Louçã, 2001).

Próximo a esse período inicia-se a Terceira Revolução Industrial. Esta começou no meio do século XX (por volta de 1950-1970), sendo também conhecida como Revolução Técnico-Científica ou associada à Revolução das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) ou da microeletrônica. Ela foi impulsionada pela invenção, inovação e difusão de tecnologias como os semicondutores, o *mainframe* da computação (1960), a computação pessoal (1970 e 1980), a robotização em linhas de produção e, mais tarde, a internet (1990) e a biotecnologia (Schwab, 2016, p. 16).

A revolução da microeletrônica foi catalisada pela invenção do transistor no período pós-guerra, marcando um ponto de virada significativo impulsionado pelo clima de insegurança fomentado pela Guerra Fria entre os cidadãos americanos. Segundo Mowery e Rosenberg (2005), diferentemente das inovações críticas anteriores a 1940, o progresso tecnológico nesse período teve suas raízes mais firmemente plantadas na ciência e invenção americanas. A partir dos anos 1950, a indústria de semicondutores nos Estados Unidos se destacou, com a maioria das pesquisas sendo conduzida por empresas do setor elétrico, já estabelecidas pela revolução tecnológica anterior. Entre 1950 e 1955, empresas como a Bell Telephone foram responsáveis por 92% do total de inovações, conforme aponta Dosi (2006), destacando também a estreita conexão entre pesquisa teórica e aplicada estabelecida nesse período no mesmo laboratório.

A evolução dessa indústria prosseguiu nos anos 1960, sendo que em 1961 ocorreu a criação do primeiro circuito integrado (CI) que continha uma série de combinação de transistores num único chip de silício – desempenhando mais de uma função. Esse acontecimento marcou de forma indelével o avanço na eletrônica de semicondutores, cuja empresa Texas Instruments, norte-americana, foi a responsável por inventar e introduzir os CIs nas vendas da indústria nos EUA, que alcançaram aproximadamente US\$ 8 bilhões ao final dos anos 1970. Isso representou um crescimento superior a 20% ao ano (Mowery; Rosenberg, 2005).

Os computadores começaram a utilizar os CIs de forma acelerada, além de estarem presentes em sistemas militares e espaciais, onde também era viável seu uso. Mowery e Rosenberg (2005) afirmam que os CIs modificaram a base da indústria de semicondutores nos EUA, pois as empresas que foram pioneiras comercializavam a maior parte de sua produção para outras empresas, em vez de produzir visando o mercado consumidor interno. O setor

militar norte-americano concedeu grandes contratos de aquisição a empresas como a Texas Instruments, que tinham iniciado sua participação no mercado de semicondutores e não tinham experiência no fornecimento para a defesa.

É possível considerar a indústria de semicondutores como o elo originário dessa Terceira Revolução Industrial, que, junto com as tecnologias da informação e comunicação, induziu grandes inovações e progressos em vários setores econômicos e com um papel de destaque de empresas norte-americanas (Freeman; Louçã, 2001). A Terceira Revolução Industrial contribuiu para que a aplicação de semicondutores fosse amplificada – de controle de processos produtivos de bens de capital à atividade agropecuária; de serviços da área de saúde à equipamentos de telecomunicações; de indústria aeroespacial à defesa, etc. –, sendo considerada difusora tecnológica com alto potencial de criação de vantagens competitivas nos mais diversos eixos produtivos de um país. Nesse contexto, os microcomputadores passam a ser difundidos, e outra grande invenção surge: a internet.

De acordo com Gillies e Cailliau (2000), a invenção da *World Wide Web* (WWW) em 1991 mudou o jogo, resultando de um movimento para construir sistemas inovadores nos países mais avançados. A instituição responsável pela invenção da WWW, o Conselho Europeu de Pesquisa (CERN), é internacional. A invenção foi feita por universidades com alta capacidade tecnológica e científica, especialmente nas áreas de Ciência da Computação e P&D, e por milhares de profissionais qualificados na implementação (Greenstein, 2015, p. 23; p. 405).

A *World Wide Web* é o resultado de uma evolução contínua de novos produtos e processos desenvolvidos para atender às necessidades da computação eletrônica. Essa evolução teve início com o computador ENIAC em 1946 e passou por várias fases, desde o surgimento da indústria de computadores comerciais, até alcançar sua forma atual. (Albuquerque, 2021)

A análise de Chandler (1997) sobre a evolução industrial destaca as fases cruciais que levaram ao desenvolvimento das tecnologias que moldaram o mundo moderno, desde a transição da produção militar para a comercial até a revolução dos microcomputadores e o surgimento de redes de multicomputadores.

Essas transformações tecnológicas criaram as bases para a era digital, marcada pela importância crescente do *software*, das redes e da *World Wide Web*, como Chandler (2001) posteriormente ressaltou (Albuquerque, 2021 *apud* Chandler, 1997; 2001).

Nesse cenário de rápida evolução tecnológica, os mecanismos de busca na internet, como o Google, surgem como uma resposta natural à necessidade de organizar e acessar a vasta quantidade de informações disponíveis na *web*. Além disso, a utilização de palavras-chave, *metatags* e outros elementos de otimização de sites (SEO) tornou-se uma prática comum para ajudar a melhorar a visibilidade do site nas pesquisas. A necessidade de encontrar informações específicas na crescente rede *World Wide Web* levou à invenção do *browser* Mosaic, em 1992, na Universidade de Illinois. A invenção dos *browsers* ampliou significativamente as possibilidades de uso da internet por consumidores não especialistas, abrindo um mercado de acesso à internet e criando valor. A expansão da *World Wide Web* está associada a um grande aumento no uso de computadores *desktop* e *laptops*, bem como *smartphones*, resultando em três bilhões de dispositivos em 2018 (Albuquerque, 2021).

A popularização da internet cresceu rapidamente, com a apropriação pelo público comum aumentando proporcionalmente à evolução das tecnologias. Em 1990, poucas pessoas usavam a internet, mas em 1995 a abertura da internet comercial permitiu que 44 milhões de pessoas a utilizassem. Em 1999, entre seis bilhões de habitantes, 259 milhões de usuários de internet estavam concentrados principalmente nos Estados Unidos, no Japão, no Reino Unido, no Canadá, na Alemanha, no Brasil, na China e na Coreia do Sul, que já conheciam a comunicação em ambientes hipermidiáticos (Gosciola, 2003, p. 76-77).

Rheingold (1996) afirma que a internet surgiu como um meio de “muitos para muitos”, e não como um meio de produção de “uma minoria para uma maioria”, como visto anteriormente com os meios de comunicação como o jornal, o rádio e a televisão, o que propiciou a descentralização do poder, possibilitando a circulação de ideias. A sociedade humana se conectou com a internet como um todo, tendendo a uma democratização virtual. Por meio dela, experimenta-se o “virtualismo”, o princípio embasado no conceito de virtualidade. Nota-se que grande parte das novas gerações “nascem entendendo como usar a internet”, assim como as redes sociais. É uma geração que fica, portanto, frequentemente conectada, 24 horas por dia.

Assim, esse fenômeno da difusão da internet marcaria o final da Terceira Revolução Industrial e o início da chamada Quarta Revolução Industrial, ou a automatização de todos os meios sociais, econômicos, financeiros, comerciais e industriais, acompanhados pelo virtualismo global (Schwab, 2016a).

3.5 QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Esta etapa que abarca uma nova revolução tecnológica, iniciada na guinada do século XXI, baseia-se na revolução digital, caracterizada pela internet com mais mobilidade e ubíqua, pela invenção de sensores cada vez mais diminutos e com maior potência; pela Inteligência Artificial (IA) e pelo aprendizado das máquinas. Trata-se da Quarta Revolução Industrial, que promete interligar o mundo da produção em redes conectadas para formar a “internet das coisas”, dos dados e dos serviços, tornando viável a produção de manufatura descentralizada, autônoma e em tempo real (Schwab, 2016a).

A discussão sobre a Quarta Revolução Industrial, que promove uma transformação na indústria, impactando a competitividade na sociedade e na economia, iniciou-se na Feira de Hannover, acontecida na Alemanha, no ano de 2011. A mudança de paradigma está ancorada na revolução digital, que traz em seu bojo todas as inovações citadas anteriormente, transformando o mundo tal como o conhecemos e promovendo uma ruptura com a Terceira Revolução Industrial, com a implementação da capacidade de máquinas aprenderem e criarem uma grande rede de “coisas” (Schwab, 2016a). Schwab (2016a) aponta que, com maior disponibilidade de dados, de processamentos e algoritmos avançados e da integração de dados, essa ruptura é inevitável, embora a Terceira Revolução Industrial tenha implementado a utilização cada vez menor de trabalhadores, aumentando a produtividade na produção direta de bens. As mudanças surgidas durante essa Quarta Revolução têm recebido diferentes nomes. O termo mais conhecido é o da Indústria 4.0, criado pela empresa alemã Industry-Science Research Alliance durante a Feira de Hannover, tornando esse termo o mais popular. Nos países europeus, o termo usado é *Key Enabled Technologies* (Tecnologias Facilitadoras Essenciais – KET), marcado pela transversalidade. Para a Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), o termo é *The Next Production Revolution* (A Próxima Revolução da Produção), que é visto como bastante vago. Já o governo norte-americano adotou o termo *Advanced Manufacturing* (Manufatura Avançada), sendo que tal termo, tido na literatura como o conceito mais abrangente, atende às especificidades das tecnologias de transformação digital e aplicabilidade deste novo limiar à indústria. Esses termos guardam relação com a política de inovação desses países, surgidas especialmente após a crise de 2008 (IEDI, 2018).

Segundo Schwab (2016a), o termo Indústria 4.0 adotado pelo governo alemão é limitado, pois se refere apenas às aplicações dessas novas tecnologias nas indústrias de

transformação. Ele afirma que as dimensões são muito maiores, que a Quarta Revolução Industrial não se atribui somente a sistemas e máquinas inteligentes e conectadas entre si. Novas invenções acontecem em multidireções, como, por exemplo, em campos que envolvem da genética até a nanotecnologia; de incremento de energias renováveis à engenharia de computadores quânticos. A Quarta Revolução Industrial apresenta esta característica que a distingue das anteriores: fundir diversas tecnologias e as fazer interagir entre as camadas físicas, digitais e biológicas.

Segundo Schwab (2016a), existem três categorias que configuram o conjunto de inovações da Quarta Revolução Industrial: 1) físicas (veículos autônomos, manufatura aditiva, robótica avançada, novos materiais); 2) digitais (internet das coisas, *big data* e a tecnologia *blockchain*); e 3) biológicas (biotecnologia e genética), todas interligadas por uma base principal, as tecnologias digitais.

Contrariamente às outras revoluções industriais anteriores, as inovações tecnológicas da Quarta Revolução não estão ligadas apenas a sistemas e máquinas inteligentes e conectadas. Ela está acontecendo simultaneamente em áreas mais abrangentes, como a sequenciação genética, a nanotecnologia, as energias renováveis e a computação quântica. É essa fusão de tecnologias e interações entre os domínios físico, digital e biológico que difere a Quarta Revolução dos movimentos anteriores (IED, 2018).

No Brasil, a Confederação Nacional da Indústria, através do Instituto Euvaldo Lodi (IEL), dentro da Mobilização Empresarial pela Inovação (MEI), lançou o Projeto Indústria 2027. Esse projeto visa repensar o cenário industrial brasileiro, alinhando-o com as demandas e tendências da Indústria 4.0. O Projeto Indústria 2027 (IEL, 2018) classificou essas novas tecnologias como manufatura avançada em oito *clusters* tecnológicos: Internet das Coisas (IoT), tecnologia de redes, Inteligência Artificial (IA), produção inteligente (impressão 3D e sistemas cyber-físicos), biotecnologia e bioprocessos, nanotecnologia, matérias avançadas e tecnologia de armazenamento de energia renovável.⁷ Esses *cluster* são descritos a seguir:

- 1) **Inteligência Artificial:** da mesma forma como o ser humano utiliza o sistema nervoso e o corpo para sentir, aprender, raciocinar e agir, uma máquina pode ser programada para realizar tarefas de maneira autônoma. O carro autônomo – veículo que se locomove sem motorista humano – é uma das apostas da Inteligência Artificial. Este tipo de carro usa algoritmos de visão por computador baseados em redes neurais

⁷ Embora a internet das Coisas (IoT), a tecnologia de redes, a Inteligência Artificial (IA) e a produção inteligente sejam chamadas de tecnologias da transformação digital e fundamentadas no computador, no *software* e em redes, elas não são consideradas novas tecnologias, e sim a continuidade da Terceira Revolução Industrial.

artificiais e, quando está em movimento, é capaz de identificar, em tempo real, o que está à sua frente – uma pessoa, um animal, um objeto ou semáforo; assim, o veículo toma a decisão de como agir de forma autônoma.

- 2) **Internet das Coisas (IoT):** trata-se do meio digital por onde as versões virtuais de sistemas inteligentes e integrados se comunicam. Com a redução de custos de sensores e a miniaturização de componentes eletrônicos, cresce o número de objetos conectados à Internet (*Smart Objects*), gerando dados obtidos por eles sobre a realidade e dando origem ao termo que descreve sua interação e dinâmica de comunicação.
- 3) **Tecnologia de Redes:** usadas para o transporte de informações, as tecnologias de redes de comunicação possibilitam que os benefícios oferecidos pelas outras tecnologias digitais – Internet das Coisas, Inteligência Artificial e Produção Inteligente e Conectada – sejam aprimorados. Com as tecnologias de redes é possível, por exemplo, comandar fábricas por transmissão sem fio e acompanhar remotamente o funcionamento de veículos e de eletrodomésticos, além de rastrear alimentos.
- 4) **Produção inteligente:** imagine a quantidade de processos existentes na produção de uma fábrica e o número de pessoas envolvidas nesse trabalho. Na Produção Inteligente e Conectada, o controle da produção na indústria passa a ser feito virtualmente. Assim, as fábricas digitais assumem o lugar das fábricas físicas, em uma mudança na estrutura da produção industrial. Isso é possível por meio de sistemas e equipamentos interconectados. As três inovações mais importantes nesses *clusters* são o sistema cyberfísico, manufatura aditiva (impressão 3D), robótica autônoma e colaborativa.
- 5) **Nanotecnologia:** diversos produtos usados no dia a dia têm sido aprimorados graças à nanotecnologia. A refrescância possibilitada pela pasta de dente e a fixação do protetor solar à pele são alguns exemplos. Então, como é possível modificar características de materiais existentes e melhorá-los? Com a nanotecnologia, pode-se manipular moléculas e partículas em escala nanométrica para aplicações específicas. As tecnologias mais avançadas de diagnóstico e terapia em medicina já empregam nanotecnologia, como o controle da liberação de antibióticos no corpo de pessoas doentes. As principais inovações relacionadas à nanotecnologia são nanomedicina e nanocosméticos, nanoeletrônica e novos materiais para computação, vestuário e dispositivos flexíveis e vestíveis, sensoriamento para IoT, nanotecnologia para energia e nanotecnologia para alimentos.

- 6) Biotecnologia e bioprocessos:** envolvem o emprego combinado de engenharia genética, biologia celular e ciência da computação. Por meio da manipulação de seres vivos ou parte deles, é possível obter produtos e processos como, por exemplo, novas vacinas, novos medicamentos e terapias, plantas com maior resistência a pragas e estresses climáticos, além de testes diagnósticos mais precisos e menos invasivos. As principais inovações relacionadas à biotecnologia e aos bioprocessos são: genômica e medicina de precisão; engenharia genética; edição genômica e biologia sintética; medicina diagnóstica por imagem; medicina regenerativa; células-tronco e biomateriais; *e-Science*, aplicações de IoT para a saúde; e novos tipos de pesquisa clínica (medicina individualizada).
- 7) Materiais avançados:** abrangem materiais comuns e em uso – mas que sofreram aprimoramento – e novos materiais que apresentam desempenho superior aos materiais tradicionais em um ou mais propriedades de interesse para uma dada aplicação, em diversas áreas, como na indústria têxtil e de bens de consumo. Na indústria têxtil, podem ser criados novos tecidos de algodão que não amassam, tecidos com atividade bactericida, entre outros. De modo geral, os materiais avançados permitem a melhoria de produtos ou mesmo o desenvolvimento de produtos inovadores nas mais diversas áreas. As principais inovações em materiais são: nanomateriais, materiais autorreparáveis e materiais funcionais, materiais de elevado desempenho (vítreos, ligas leves de elevada resistência mecânica e térmica, aerogéis, materiais para impressão 3D, compósitos, fotovoltaicos, etc.), materiais de fontes renováveis e produtos da biorrefinaria, e terras raras.
- 8) Tecnologias de armazenamento de energia:** uma série de tecnologias de armazenamento e conversão de energia contribuem para o uso inteligente de fontes de energia renováveis e a sustentabilidade. O carro elétrico é um exemplo de aplicação destas tecnologias, principalmente a de baterias de íon-lítio. Esse veículo é sustentável, é movido por meio de um ou mais motores elétricos e utiliza energia elétrica armazenada na bateria. Nas cidades do futuro, em que se deve definitivamente prezar pelo meio ambiente, o transporte individual ou coletivo baseado em motores elétricos com tecnologias de armazenamento de energia sustentáveis surge como uma alternativa de meio de transporte.

Para Schwab (2016a), devido à maior disponibilidade de dados, dos processamentos de algoritmos avançados e da integração dos dados, está ocorrendo uma ruptura à Terceira

Revolução Industrial, o que transforma, assim sendo, a sociedade e a economia global. Dessa maneira, na visão do IEDI (2018), a Quarta Revolução Industrial promete interligar o mundo da produção com as redes conectadas para formar a “internet das coisas”, dos dados e dos serviços, tornando viável a produção de manufatura descentralizada, autônoma e em tempo real. Nesse novo formato de mercado e modelo de negócios que pode alterar a economia do mundo, especula-se que haverá uma maior demanda por mão de obra qualificada. Vale ressaltar que esses novos *clusters* tecnológicos mencionados estão em fases iniciais de desenvolvimento, porém existe um forte consenso sobre a ruptura que essas novas tecnologias podem causar no mundo (IEDI, 2018).

Nesse contexto, torna-se fundamental entender como as associações patronais têm interpretado essa revolução e, a partir disso, influenciado a formulação de políticas relacionadas. Um exemplo disso é a atuação da Confederação Nacional da Indústria no Brasil, a qual tem atuado desde 2016 na realização de estudos sobre o assunto e na divulgação deste para o empresariado e o governo. Isso será mais bem explorado na seção de resultados.

4 REFERENCIAL TEÓRICO (II): INOVAÇÃO E DIFUSÃO TECNOLÓGICA

Trata-se, neste capítulo, de uma discussão sobre o papel da inovação e da difusão tecnológica na transformação econômica e social, a partir das bases teóricas de, entre outros, Schumpeter (1982). O objetivo é compreender de que modo a inovação, entendida como o motor do desenvolvimento capitalista, transcende o simples ato inventivo e se consolida como processo dinâmico e contínuo de mudança estrutural. A partir das concepções schumpeterianas, o texto evidencia a maneira como a inovação se articula com a difusão tecnológica, estabelecendo um elo entre criação e adoção, invenção e prática econômica, teoria e realidade produtiva.

Faz-se, em um primeiro momento, o resgate conceitual da inovação no pensamento de Schumpeter (1988), destacando sua relevância para a economia moderna. Essa retomada teórica é essencial para compreender a dinâmica que sustenta o crescimento econômico e a transformação social a partir da introdução de novos produtos, processos e formas organizacionais. Em seguida, o capítulo aprofunda-se na discussão sobre a difusão tecnológica, analisando a forma como as inovações se propagam no tecido social e econômico e como essa difusão é influenciada por fatores técnicos, institucionais, culturais e políticos.

Por fim, o capítulo busca examinar as trajetórias e evidenciar a interdependência entre inovação e difusão, destacando que o desenvolvimento econômico só se concretiza quando as invenções são amplamente assimiladas e transformadas em resultados produtivos.

4.1 O CONCEITO DE INOVAÇÃO NAS BASES SCHUMPETERIANAS

A difusão tecnológica, conforme Furtado (2006), pode ser entendida como o elo que liga a fase inventiva e a fase comercial da inovação, transformando potenciais técnicos em resultados econômicos e sociais, e deslocando práticas produtivas, padrões de consumo e rotinas organizacionais. Em termos schumpeterianos, trata-se do momento em que a inovação deixa de ser um evento isolado e se converte em força estruturante do desenvolvimento. Em síntese, “a difusão é parte inerente ao processo de inovação e elemento essencial para que a inovação tenha, de fato, impactos econômicos e sociais” (Ferreira; Ruffoni; Carvalho, 2018, p. 178-179).

Compreender a difusão tecnológica implica, antes de tudo, resgatar, ainda que brevemente, o conceito de inovação em Schumpeter, uma vez que este constitui o núcleo

teórico de toda a dinâmica do desenvolvimento econômico moderno. Para Schumpeter (1982), a ideia de desenvolvimento econômico passa, necessariamente, pelo conceito de inovação. Vargas *et al.* (2023, p. 25) lembram que para Schumpeter a inovação:

[...] acontece por meio de cinco tipos básicos: i) introdução de um novo produto ou nova qualidade; ii) introdução de um novo processo de produção ou uma nova forma de administrar comercialmente um produto; iii) abertura de um novo mercado; iv) obtenção de uma nova fonte de oferta de matérias-primas ou produtos parcialmente manufaturados; e v) estabelecimento de um novo processo de organização. Schumpeter reforça o argumento de que a inovação é determinante para o desenvolvimento do sistema econômico. Nesse contexto, o autor associa o processo inovativo das firmas à concorrência existente no mercado. As firmas, através dos seus empresários, são responsáveis por incorporar e difundir as novas tecnologias e inovações como resposta a essa concorrência. A competição é vista como ponto inicial para o desenvolvimento econômico, e as inovações mantêm este desenvolvimento em constante evolução.

Isso se difere em grande medida de outras teorias econômicas (como a clássica ou a marxista), para as quais o acúmulo de capital e a mecanização seriam os responsáveis diretos pelo desenvolvimento. Ao colocar a inovação no centro de sua teoria, Schumpeter (1982) desloca o foco das condições materiais para as forças criadoras que transformam o sistema econômico, compreendendo o desenvolvimento não como simples crescimento quantitativo, mas como um processo qualitativo de transformação contínua.

Assim, Schumpeter (1961) acredita que o acúmulo de capital e a mecanização são apenas consequências do desenvolvimento econômico e que a ideia de inovação permitiria analisá-lo de fato, pois é ela que introduz rupturas e reorganiza os fluxos produtivos, provocando o que o autor denomina posteriormente de destruição criadora.

Não se pode pensar na inovação apenas como a invenção de algo. A primeira é um processo dinâmico e complexo que vai desde a criação de uma ideia até a sua implementação. É justamente nesse sentido que Schumpeter define o fenômeno inovador como algo que transcende o ato técnico da descoberta e se concretiza na esfera econômica, quando a invenção gera efeitos mensuráveis de crescimento e transformação social. Em suas palavras:

[...] uma invenção é uma ideia, esboço ou modelo para um novo ou melhorado artefato, produto, processo ou sistema. Uma inovação, no sentido econômico, somente é completa quando há uma transação comercial envolvendo uma invenção e assim gerando riqueza (Schumpeter, 1988, p. 108).

Essa definição demonstra que, para o autor, o elemento central da inovação é sua incorporação no circuito econômico, o que faz dela o motor do desenvolvimento capitalista.

A própria origem da palavra ajuda a elucidar esse sentido. “Inovação” vem do latim *innovatio* e está relacionada à concepção de criar algo novo por meio de um método, ideia ou

objeto, gerando assim algo inovador. No contexto contemporâneo, a palavra “inovação” é muito utilizada em relação a ideias e invenções relacionadas à exploração de novos horizontes (Zawislak *et al.*, 2018). Essa concepção reforça a dimensão de movimento e transformação, própria da inovação, que se liga intimamente à difusão tecnológica: uma vez criada e introduzida, a inovação precisa circular, ser assimilada e apropriada socialmente para cumprir seu papel no processo de mudança.

É nesse ponto que se torna relevante também compreender a perspectiva organizacional da inovação. Amabile *et al. apud* M.L.Guimarães (2016, p. 9) definem inovação

[...] como a implementação bem-sucedida de ideias criativas dentro de uma organização. O ambiente organizacional, assim, além de fornecer recursos tangíveis para favorecer a inovação, deve motivar a inovação por meio de práticas de gestão que indiretamente produzem efeito na criatividade de equipes e indivíduos.

Essa visão amplia a noção schumpeteriana, trazendo-a para o nível microeconômico, no qual a inovação depende tanto de condições estruturais (investimento, tecnologia, infraestrutura) quanto de fatores intangíveis, como cultura organizacional, cooperação e ambiente favorável à experimentação. Ela também aproxima o conceito da prática contemporânea da gestão da inovação, destacando que a difusão interna do conhecimento é parte fundamental do processo inovador (M.L.Guimarães, 2016).

Sejam quais forem as definições de inovação que se empregue, algo se pode dizer que todas têm em comum, a saber: o fator de se fazer algo de uma forma diferente. Isso tem implicações no mercado, uma vez que, para além de criar algo que não existe, aumenta a competitividade de um produto específico ou de um serviço determinado. Essa ideia de diferença e transformação é o elo que une o conceito schumpeteriano ao fenômeno da difusão tecnológica, pois é por meio da disseminação das inovações que o novo se consolida, reestrutura setores e redefine padrões produtivos (Schumpeter, 1988).

4.2 DIFUSÃO TECNOLÓGICA: TRAJETÓRIAS, RITMOS E POLÍTICAS DE INOVAÇÃO

A difusão tecnológica, nesse sentido, é o prolongamento natural da inovação: é quando o impulso criador de Schumpeter (1982) se torna um movimento coletivo de adoção, imitação e aprendizado, espalhando-se pela economia e redefinindo o que é considerado possível e

eficiente. Assim, compreender a difusão tecnológica exige reconhecer a centralidade da inovação como processo histórico e social de transformação contínua (Schumpeter, 1982).

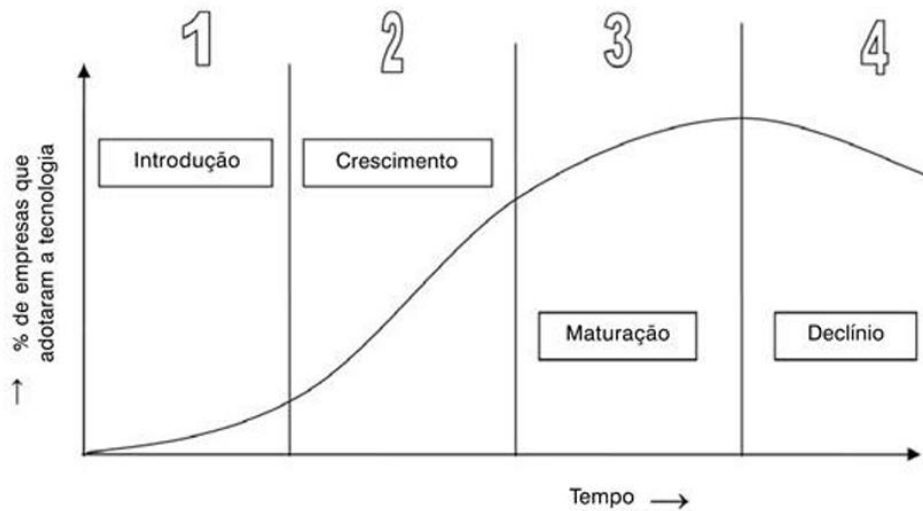
A literatura de difusão, embora ampla, converge para uma definição basilar que é particularmente útil como ponto de partida. Na formulação clássica, a difusão é “o processo pelo qual uma inovação é comunicada através de certos canais, ao longo do tempo, entre os membros de um sistema social” (Rogers, 1962, p. 5). O mesmo eixo conceitual aparece em Hall: “o processo pelo qual indivíduos e firmas em uma economia adotam uma nova tecnologia ou substituem uma velha tecnologia por uma nova” (Hall, 2004, p. 2). Esse enquadramento permite tratar a difusão não como etapa periférica, mas como núcleo da mudança tecnológica, pois “a dinâmica da inovação, conforme apontou Schumpeter já em 1912, é composta por três fases: a invenção, a inovação, e a difusão (propagação de novos produtos e processos pelo mercado)” (Ferreira; Ruffoni; Carvalho, 2018, p. 178-179).

Para além da definição, a difusão apresenta dimensões que interessam à análise: direção (ou trajetória tecnológica), velocidade (ou ritmo), condicionantes técnicos, econômicos e institucionais, e impactos econômicos, sociais e ambientais. Tigre (2006, p. 107) sintetiza: “O processo de difusão provoca maiores impactos econômicos do que a inovação, na medida em que representa a efetiva adoção de uma nova tecnologia por segmentos mais amplos da sociedade”.

Em termos de trajetória, a difusão realimenta a própria inovação, porque a adoção em larga escala evidencia problemas, necessidades de ajuste e oportunidades de versão incremental, num circuito de aprendizagem: “Os processos de inovação e difusão [...] não podem ser totalmente separados, pois [...] a difusão alimenta e direciona a trajetória de inovação, revelando as necessidades cambiantes da demanda por soluções técnicas (Tigre, 2006, p. 89).

Tigre (2006, p. 96) apresenta um modelo de difusão tecnológica, sintetizado na Figura 1 a seguir e interpretado em seguida.

Figura 1 – Modelo de difusão tecnológica



Fonte: Tigre (2006, p. 96).

Quanto ao ritmo, observa-se o padrão em “S”, marcado por quatro fases: introdução, crescimento, maturação e declínio. A primeira delas é a fase de introdução, destaca Tigre (2006), momento em que apenas poucas empresas passam a adotar o novo produto, serviço ou processo, ainda sob um alto grau de incerteza quanto aos resultados da inovação. Com o êxito dos primeiros adotantes e a melhoria gradual do desempenho tecnológico, inicia-se a fase de crescimento, marcada pela aceleração da difusão e pelo aumento do conhecimento acumulado sobre a tecnologia. Nessa etapa, são realizadas inovações incrementais destinadas a aperfeiçoar o desempenho e o design do produto, além de investimentos voltados à ampliação da escala produtiva.

Na fase seguinte, prossegue o mesmo autor, de maturidade, as vendas tendem a se estabilizar, as inovações tornam-se menos frequentes e os processos passam a apresentar maior padronização. Por fim, na fase de declínio, a tecnologia começa a perder espaço, à medida que novas soluções e inovações surgem e substituem progressivamente as anteriores.

Esse padrão combina pioneiros (adoção por inovação) e seguidores (adoção por imitação). A evidência brasileira mostra a força da imitação: “a difusão dos produtos investigados [...] caracteriza-se por ser, essencialmente, um processo de imitação” (Ferreira; Ruffoni; Carvalho, 2018, p. 175-177).

Entre os condicionantes desse processo de difusão, destacam-se infraestrutura, renda e escolaridade, bem como assimetrias de informação e padrões institucionais, que variam marcadamente entre economias centrais e periféricas: “A replicação a países periféricos pode

não fazer sentido [..., pois] baixas renda e escolaridade; infraestrutura inadequada; disparidades sociais [...] afetam a trajetória de difusão [na periferia]” (Ferreira; Ruffoni; Carvalho, 2018, p. 176-179).

Entre os condicionantes estruturais do processo de difusão tecnológica, a infraestrutura ocupa posição central, uma vez que condiciona tanto o acesso físico quanto o acesso informacional às inovações. Conforme argumentam Munguia e Llewellyn (2019), muitos estudos sobre adoção tendem a privilegiar características do adotante ou do contexto amplo, sub-representando atributos da própria tecnologia e as condições que viabilizam sua operacionalização. Em economias periféricas, a precariedade de infraestrutura, vale dizer, seja logística, seja comunicacional ou de suporte técnico, altera a percepção de viabilidade da inovação, eleva custos de transação e amplia incertezas. A ausência de redes de apoio consolidadas reduz a experimentabilidade e a observabilidade, dimensões reconhecidas como fundamentais para o aprendizado e para a consolidação da decisão de adoção.

A renda, por sua vez, atua como restrição material direta à incorporação tecnológica, mas também como variável mediadora da avaliação de risco e retorno esperado. Procópio *et al.* (2024) evidenciam que fatores como robustez financeira e acesso ao crédito aparecem de forma recorrente como associados à adoção. Em contextos de baixa renda, a capacidade de absorver eventuais fracassos é limitada, o que reforça comportamentos mais cautelosos e seletivos. A decisão deixa de ser apenas uma comparação técnica entre alternativas e passa a envolver cálculos de sobrevivência econômica, sobretudo quando os recursos disponíveis são escassos e os mercados são instáveis.

Nesse sentido, a renda não apenas influencia a decisão inicial, mas também a permanência da tecnologia no sistema produtivo. Como destacam as abordagens dinâmicas da adoção discutidas na literatura revisada por Procópio *et al.* (2024), o processo envolve etapas de teste, revisão e possível abandono. Em economias periféricas, a limitação de capital pode interromper esse ciclo de aprendizagem, impedindo que o potencial benefício de longo prazo se consolide. Assim, a trajetória de difusão tende a ser mais fragmentada e desigual, concentrando-se em segmentos com maior capacidade financeira.

A escolaridade constitui outro condicionante decisivo, pois amplia o capital humano e fortalece a capacidade de interpretar informações técnicas, avaliar compatibilidade e compreender riscos. Tanto Munguia e Llewellyn (2019) quanto Procópio *et al.* (2024) registram o nível educacional como variável frequentemente associada à adoção. Do ponto de vista teórico, maior escolaridade favorece a internalização de novos conhecimentos e reduz a

complexidade percebida da inovação. Em contextos periféricos, onde o acesso à educação é historicamente desigual, esse fator pode produzir assimetrias internas significativas, concentrando a difusão em grupos mais escolarizados.

As assimetrias de informação aprofundam esse quadro ao interferirem nas fases iniciais do processo de aprendizagem. Munguia e Llewellyn (2019) ressaltam que a interação entre atributos da inovação e percepção dos adotantes é frequentemente negligenciada. Quando o acesso à informação qualificada é restrito, a avaliação não experimental da tecnologia torna-se mais dependente de redes informais e de validações sociais. Em economias periféricas, a menor densidade de canais institucionais de difusão pode retardar a circulação de evidências sobre desempenho, ampliando a incerteza e a heterogeneidade das decisões.

Os padrões institucionais, por sua vez, estruturam os incentivos e reduzem, ou ampliam, os custos de coordenação. Procópio *et al.* (2024) destacam a relevância da participação em organizações coletivas, da assistência técnica e do acesso a crédito como elementos que compõem o ambiente institucional da adoção. Instituições robustas criam mecanismos de compartilhamento de conhecimento, fortalecem a confiança e diminuem riscos percebidos. Já em contextos institucionais frágeis, a difusão tende a depender mais fortemente de iniciativas individuais, o que amplia desigualdades e dificulta a consolidação de trajetórias tecnológicas estáveis.

Ocorre que a articulação entre infraestrutura, renda, escolaridade, informação e instituições evidencia que a difusão tecnológica é um fenômeno multidimensional, cuja dinâmica varia conforme a estrutura socioeconômica. Como sugerem Procópio *et al.* (2024), trata-se de um processo complexo, influenciado por fatores individuais, contextuais e tecnológicos. À luz de Munguia e Llewellyn (2019), torna-se necessário reequilibrar a análise para contemplar simultaneamente atributos da inovação e condicionantes estruturais. As diferenças entre economias centrais e periféricas, portanto, não se resumem a variações quantitativas de acesso, mas configuram arranjos institucionais e estruturais distintos que redefinem o ritmo, a abrangência e a estabilidade da difusão tecnológica.

Conforme Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018), há na literatura o entendimento de que a difusão é contexto-dependente e que, no Brasil, seus determinantes incluem riscos, incertezas, comunicação midiática e interpessoal, e experiência de uso.

No campo das políticas, Cassiolato e Lastres (2005, p. 34-35) argumentam que a eficácia da difusão depende de sistemas de inovação articulados, capazes de mobilizar

processos de aquisição e uso de conhecimentos e capacitações produtivas e inovativas como parte integral das estratégias de desenvolvimento. Em termos de desenho de política,

[...] as novas políticas [...] visam a promover a consolidação das bases regionais, o reforço de malhas de pequenas e médias empresas e o desenvolvimento de atividades estratégicas, superando visões dicotômicas e lineares da inovação e enfatizando geração, aquisição e difusão de conhecimentos como processos interativos (Cassiolato; Lastres, 2005, p. 40).

Avançando para os tipos de difusão, é útil distinguir a difusão vertical (intraempresa e intrassetorial), a difusão horizontal (entre firmas de um mesmo segmento e ao longo da cadeia) e a difusão transversal (entre setores, com transbordamentos interindustriais). Essa taxonomia dialoga com a prática das empresas e com análises setoriais de encadeamentos produtivos (Tigre, 2006).

Na difusão vertical, conforme Tigre (2006), o foco recai sobre a capacidade de absorção e o aprendizado organizacional: treinamento, rotinização, compatibilização de equipamentos e integração de áreas. Ao internalizar a tecnologia, a firma ajusta processos, reconfigura tarefas e desenvolve microinovações incrementais.

A difusão horizontal envolve replicação competitiva e cooperação concorrencial: padrões de processo, práticas de qualidade, protocolos de interoperabilidade e acordos de suprimento migram por *benchmarking* e por pressão de clientes e reguladores. Políticas que fomentam redes e consórcios ampliam esse efeito (Cassiolato; Lastres, 2005, p. 40).

A difusão transversal, por seu turno, é a mais disruptiva: tecnologias genéricas cruzam fronteiras setoriais, acionando recombinações de conhecimento. Digitalização, materiais avançados e IA são exemplos contemporâneos: sua circulação altera “a estrutura da indústria, [gera] destruição e criação de empresas e setores” (Tigre, 2006, p. 91) e reposiciona competências.

Internamente à firma, a difusão costuma iniciar em “ilhas piloto” (linhas, células ou unidades), expandindo via padrões e manuais. O aprendizado por uso viabiliza melhorias graduais e estabilidade operacional, condição para ganhos de produtividade e qualidade. Esse circuito incremental, em regra, não depende apenas de P&D formal (Tigre, 2006).

Em cadeias industriais, dizem Cassiolato e Lastres (2005), a difusão horizontal opera pela pressão de requisitos técnicos e logísticos: fornecedores absorvem normas, clientes impõem prazos e certificações, e plataformas digitais criam efeitos de rede. Políticas de compras públicas e de normalização técnica amplificam a velocidade de absorção.

Em nível intersetorial, transbordamentos dependem de capacidades tecnológicas prévias e de instituições de interface (universidades, ICTs, extensionismo).

No plano macro, “os diferentes contextos, sistemas cognitivos e regulatórios e formas de articulação [...] são reconhecidos como fundamentais na geração, aquisição e difusão de conhecimentos, particularmente os tácitos” (Cassiolo; Lastres, 2005, p. 40). A ênfase recai sobre arranjos coletivos e sobre a interatividade de atores.

Ao discutir impactos, Tigre (2006) ressalta que a difusão reconfigura estrutura setorial, emprego e meio ambiente. Isso implica observar difusão não apenas pelo prisma de *market share*, mas de recomposição de capacidades, variedades organizacionais e trajetórias tecnológicas setoriais.

Nos termos schumpeterianos, a difusão amplia o alcance das mudanças espontâneas e descontínuas (ondas) à medida que novas combinações se consolidam em rotinas. Assim, ela é tanto resultado quanto motor da destruição criadora, estabilizando novas tecnologias como padrões de setor (Tigre, 2006, p. 91).

Do ponto de vista da gestão da inovação, a difusão é oportunidade e risco: oportunidade de capturar ganhos de escala e de escopo, risco de comoditização acelerada do diferencial competitivo. Em mercados imitativos, a estratégia de propriedade intelectual, o *time-to-scale* e a velocidade de aprendizagem organizacional tornam-se críticos (Tigre, 2006).

5 METODOLOGIA

Como destacado anteriormente, este trabalho tem como objetivo evidenciar os desafios e as oportunidades da Indústria 4.0 no país, na visão da CNI. Adotou-se uma abordagem qualitativa, de caráter exploratório, fundamentada na pesquisa documental, com revisão bibliográfica não sistemática. Para a realização deste trabalho, utilizou-se a técnica de análise de conteúdo, conforme os princípios propostos por Laurence Bardin (2011). Foram selecionados documentos da CNI nos períodos de 2016 a 2022, devido a sua relevância institucional e pelo papel estratégico que a instituição desempenha no setor industrial brasileiro. A escolha temporal entre 2016 e 2022, *corpus* deste trabalho, visa garantir a relevância, a confiabilidade e a adequação decorrente das publicações da CNI, que contempla nesse intervalo os principais documentos pertinentes ao tema “Indústria 4.0”.

O primeiro documento publicado pela CNI sobre o tema foi a pesquisa *Sondagem Industrial Especial Indústria 4.0*, nº 66, em abril de 2016, que trata do panorama relacionado ao nível de conhecimento das indústrias e a utilização das tecnologias digitais voltados para a indústria 4.0 no contexto brasileiro. Em 2022, cinco anos depois, a CNI lançou a segunda pesquisa *Sondagem Especial Indústria 4.0*, nº 83, que possibilitou observar os avanços e as transformações da adoção da indústria 4.0 no Brasil. Nesse mesmo período, a CNI publicou diversos documentos que também fazem parte deste trabalho, configurando um recorte temporal importante para a análise dos desafios e das oportunidades relacionadas à indústria 4.0 na indústria brasileira.

Para a elaboração da análise de conteúdo, foi utilizado o *software* Atlas.ti como ferramenta para codificação e interpretação do *corpus* documentado, formado por 11 documentos, acessados no site da CNI⁸ entre os períodos de 2023 e 2024. A escolha se justifica por se tratar de um *software* de análise qualitativa que possibilita gerenciar grandes volumes de texto, atribuir códigos e agrupar categorias, conferindo uma maior sistematização e transparência para a pesquisa.

O *software* Atlas.ti foi utilizado como uma ferramenta para seguir a metodologia proposta por Bardin (2011). Em especial na parte da pré-análise, o programa auxiliou na organização dos documentos e na construção do *corpus*. Na etapa da exploração, auxiliou na criação e no refinamento dos códigos, assim como no agrupamento das categorias e subcategorias. Por último, na fase de tratamento dos resultados e análise, possibilitou a

⁸ Disponível em: <https://cni.portaldaindustria.com.br>. Acesso em: 17 maio 2026.

visualização entre categorias, a marcação de trechos importantes para o trabalho e a sistematização. É importante reforçar que o *software* não substituiu o trabalho de análise humano, mas consistiu em uma ferramenta que eleva o rigor, a rastreabilidade e a consistência da análise qualitativa.

Este capítulo está dividido em duas subseções. A primeira apresenta os elementos teóricos da análise de conteúdo, a segunda pela construção do *corpus* da pesquisa, onde são apresentados os documentos levantados, como tal levantamento foi feito e como as categorias analisadas foram definidas.

5.1 A ANÁLISE DE CONTEÚDO E OS CORPORA DE INVESTIGAÇÃO

A análise de conteúdo tem se organizado como uma técnica para a análise de dados oriundos de pesquisas qualitativas, como esta que aqui se desenvolve. Moraes (1999) explica que a análise de conteúdo é uma técnica de pesquisa utilizada para analisar e interpretar o conteúdo de diversos tipos de documentos e textos. Essa análise, através de descrições detalhadas e qualitativas, ajuda a compreender as mensagens de forma mais profunda do que uma simples leitura. Para isso, ela se organiza com uma trajetória analítica própria, que precisa ser apropriada pelo pesquisador. No Quadro 1, apresenta-se essa trajetória analítica, conforme Bardin (2011):

Quadro 1 – Etapas da análise de conteúdo

Etapa	Descrição	Procedimento
1. Definição do Problema	Identificação do objetivo e das perguntas de pesquisa.	Clarificação do que se deseja descobrir ou entender. Formulação de hipóteses e objetivos específicos.
2. Seleção do Corpus	Escolha dos documentos ou materiais que serão analisados.	Definição dos critérios de inclusão e exclusão. Coleta de materiais, como textos, vídeos, áudios, imagens, etc.
3. Pré-Análise	Leitura flutuante e exploração inicial do material coletado.	Leitura rápida do <i>corpus</i> para ter uma visão geral. Organização do material em categorias preliminares. Anotações iniciais e reflexões sobre o conteúdo.
4. Codificação	Quebra do material em unidades de análise (palavras, frases, parágrafos, imagens).	Identificação e registro de padrões, temas ou categorias. Utilização de <i>software</i> de análise de dados qualitativos, se necessário.

5. Categorização	Agrupamento das unidades de análise em categorias significativas.	Desenvolvimento de categorias baseadas em critérios teóricos ou emergentes do <i>corpus</i> . Revisão e ajuste das categorias para maior precisão.
6. Análise e Interpretação	Interpretação dos dados categorizados e análise dos padrões e relações identificadas.	Exploração das relações entre as categorias. Conexão dos resultados com a literatura existente e com as hipóteses iniciais.
7. Validação dos Resultados	Verificação da confiabilidade e validade dos resultados obtidos.	Testes de confiabilidade intercodificadores. Revisão dos resultados por outros pesquisadores ou partes interessadas.
8. Relatório Final	Redação e apresentação dos resultados da análise.	Estruturação do relatório com introdução, metodologia, resultados, discussão e conclusão. Uso de tabelas, gráficos e exemplos do <i>corpus</i> para ilustrar.
9. Reflexão e Ajustes	Reflexão sobre o processo de análise e considerações para futuras pesquisas.	Identificação de limitações do estudo. Sugestões para aprimoramento de futuras análises de conteúdo. <i>Feedback</i> e revisão contínua do método.

Fonte: Elaborado pela autora, conforme Bardin (2011).

Esta metodologia é essencial nas investigações sociais, pois vai além de uma simples análise de dados, representando uma abordagem única com suas próprias características e possibilidades. Ao longo do tempo, tem ocorrido uma valorização crescente de abordagens qualitativas, utilizando estratégias como a indução e a intuição para uma compreensão mais aprofundada dos fenômenos estudados. Como método de pesquisa, a análise de conteúdo envolve procedimentos específicos para processar dados científicos, sendo uma ferramenta indispensável na área da comunicação. Os materiais analisados podem incluir cartas, jornais, entrevistas, entre outros, sendo necessário processá-los para facilitar a compreensão e interpretação. Na abordagem qualitativa, a análise de conteúdo parte de pressupostos para captar o sentido simbólico de um texto, que pode ter diferentes significados e perspectivas (Bardin, 2011).

Conforme mencionado, há diversos tipos de conteúdo que podem ser submetidos à análise de conteúdo, mas, neste estudo, o foco recai sobre documentos. Dalla Valle e Ferreira (2023) afirmam que, após o primeiro contato com o material (leitura inicial), passa-se para a escolha daqueles que serão utilizados na análise. Esse procedimento é intrincado e demanda que o pesquisador se envolva profundamente no conteúdo, considerando aqueles que possam fornecer informações relevantes para a questão em estudo. Além disso, é necessário levar em conta a categoria dos documentos que serão analisados, selecionando-os de forma a compor

um conjunto de informações significativo. Para isso, é fundamental seguir quatro diretrizes que visam conferir maior relevância e precisão às escolhas realizadas, como apresentado a seguir:

Quadro 2 – Diretrizes para análise de conteúdo

Regra	Descrição
Regra da Exaustividade	Consiste em identificar e selecionar todos os elementos do <i>corpus</i> que fazem parte do campo definido, revisitando as fontes quantas vezes necessário para garantir que nenhum material relevante seja excluído sem justificativa pertinente.
Regra da Representatividade	Refere-se à seleção de uma amostra do material que seja representativa do universo inicial. Esta amostra deve permitir a descoberta das características dos elementos presentes e contemplar critérios que possibilitem uma análise generalizada, embora nem sempre aplicável a todos os contextos.
Regra da Homogeneidade	Observa se os materiais são homogêneos e obedecem aos critérios de escolha, tratando do mesmo tema. Aplica-se critérios de inclusão e exclusão que devem estar alinhados ao problema e objetivos da pesquisa, sendo especialmente útil para comparar resultados semelhantes.
Regra da Pertinência	Avalia se o material tem relação direta com o tema/objeto de análise. Requer uma leitura detalhada e completa do material para evitar exclusões errôneas, garantindo que apenas materiais realmente relevantes sejam incluídos.

Fonte: Elaborado pela autora com base em Dalla Valle e Ferreira (2023).

Os quatro procedimentos supramencionados serão aplicados na análise dos documentos que formam o *corpus* desta pesquisa. Todos são documentos produzidos pela Confederação Nacional da Indústria e tratam sobre o tema da Indústria 4.0. Essa instituição atua como representante da indústria brasileira. Ela promove ações que buscam consolidar uma agenda de política industrial e pública que sejam focadas no empreendedorismo e na produção industrial.

Por se tratar de uma análise qualitativa, busca-se passar pela perspectiva analítica do pesquisador que a realiza. É importante, em todo processo, manter o rigor metodológico e explicar com detalhes as etapas seguidas. Nesse sentido, a seção do trabalho que se segue busca mostrar todo o procedimento realizado, desde a coleta dos documentos até a aplicação da técnica pelo pesquisador.

5.2 CONSTRUÇÃO DO *CORPUS* DA PESQUISA E DAS CATEGORIAS

Os documentos deste trabalho foram encontrados através do acesso do site da CNI, na seção de publicações, onde estão reunidos os materiais realizados pela instituição. Os documentos, todos elaborados pela CNI, apresentam uma linguagem simples, são voltados para a população em geral e apologéticos da Indústria 4.0, que é o seu conceito central.

A escolha dos documentos buscou atender aos critérios previamente estabelecidos com o propósito de garantir sua pertinência, a fim de atender ao objetivo da pesquisa. Vale ressaltar que o principal critério se relacionava à relevância temática, que trata especificamente sobre os desafios e as oportunidades da indústria do Brasil diante da transformação tecnológica. A seleção dos documentos foi feita diretamente no site oficial da CNI⁹ no período entre 2023 e 2024, utilizando como critérios:

- 1) Fonte institucional: foram utilizados somente documentos elaborados pela própria CNI.
- 2) Escopo temático: os documentos selecionados foram os que abordaram diretamente o tema da Indústria 4.0.
- 3) Disponibilidade pública: apenas documentos de acesso público e disponíveis para download no site da CNI foram incluídos na amostra documental.
- 4) Priorizou-se a seleção de documentos publicados a partir de 2016, ano em que a CNI iniciou seu debate no tema da Indústria 4.0.

A partir disso, o *corpus* foi composto conforme mostra o Quadro 3:

Quadro 3 – Composição de *corpus*

Número	Nome
1	Sondagem especial – Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira (publicado em 2016)
2	Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil (publicado em 2016)
3	Oportunidades para a Indústria 4.0: aspectos da demanda e oferta no Brasil (publicado em 2017)
4	Carta da Indústria 4.0 (publicado em 15 mar. 2018)
5	Mapa Estratégico da Indústria 2018-2022 – (publicado em setembro de 2018)
6	Indústria 2027 – Riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas (publicado em 2018)

⁹ Disponível em: www.cni.com.br. Acesso em: 17 maio 2025.

7	Investimentos em Indústria 4.0 (publicado em 2018)
8	A difusão das tecnologias da Indústria 4.0 em empresas brasileiras (publicado em 2020)
9	Indústria 4.0 e Digitalização da Economia. Brasília: CNI, 2018b. (Propostas da Indústria para as Eleições de 2018, v. 32).
10	Proposta da Indústria para Eleições 2022
11	Sondagem especial – Ano 21, n. 83 (publicado em abr. 2022)
12	Indústria 4.0 eleições 2018 (publicado em 2018)

Fonte: Elaborado pela autora, (2025).

Os documentos foram coletados diretamente do site oficial da CNI, por meio de uma busca detalhada nas seções dedicadas à Indústria 4.0 e áreas correlatas, abrangendo o período de 2016 a 2022. Foram analisados relatórios, artigos, publicações técnicas e outros documentos relevantes disponíveis publicamente no portal, a fim de compilar um panorama amplo sobre os desafios e oportunidades da Indústria 4.0 no Brasil.

Durante o processo de codificação e a busca de padrões, relações e tendências, entendeu-se com profundidade aquilo que é próprio em termos categoriais nos documentos avaliados. Após, procurou-se na literatura pesquisada aquilo que está alinhado com a CNI com possíveis desafios e oportunidades a serem enfrentados no que tange à Indústria 4.0 no país. Essa busca comparativa sempre parte das categorias analíticas e seus significados dentro dos *corpora* analisados, para que significados que são produzidos pela literatura sejam avaliados a partir dos *corpora* (Bardin, 2011).

Com essa abordagem, é possível compreender quais são os desafios, as oportunidades e perspectivas da CNI, dialogando com autores que apresentem dados, estudos de caso e abordagens e que também tragam estudos sobre a indústria 4.0. Para isso, deve-se definir as categorias a serem analisadas, as quais estão relacionadas aos desafios e às oportunidades para a adoção da Indústria 4.0. Cada categoria representa um eixo de análise ou um tema central extraído dos documentos.

As categorias de oportunidades e desafios foram definidas seguindo a técnica de análise de conteúdo de Laurence Bardin, empregando o *software* Atlas.ti na organização e sistematização dos dados. O processo de criação dessas categorias envolveu três fases, sendo elas pré-análise e codificação, categorização por agrupamento e validação por frequência. As categorias estão organizadas em duas macrocategorias, que são desafios e oportunidades. Embora a pesquisa realizada seja documental e focada na CNI, as categorias identificadas

foram baseadas na lógica da PINTEC/IBGE,¹⁰ o que garante um rigor científico na literatura sobre o tema debatido. Assim, a categorização não apenas organiza a análise da CNI, mas também contribui para o panorama técnico-científico para o avanço da Indústria 4.0 no país.

O *corpus* contou com 12 documentos oficiais da CNI, publicados entre 2016 e 2022, que discutiram temas da Indústria 4.0 no contexto do país. Por meio desses documentos, foi realizada uma leitura flutuante inicial (pré-análise) com o objetivo de identificar os desafios e as oportunidades relacionados à transformação digital. Com relação à codificação, foram organizadas por meio do *software* Atlas.ti, possibilitando a identificação de padrões semânticos e recorrências de temas. Dessa forma, as categorias foram definidas a partir da frequência, relevância e convergência desses códigos no decorrer da análise dos documentos. Tais categorias estão sintetizadas no Quadro 4. Neste, há também uma citação de um documento que exemplifica cada categoria.

Quadro 4 – Categorias de desafios e citações

Categoria – Desafios	Citações nos documentos
Falta de qualificação profissional	Os profissionais da indústria brasileira precisam ser requalificados.
Desconhecimento das tecnologias digitais	O avanço da Indústria 4.0 no Brasil depende de maior conhecimento das tecnologias digitais por parte das empresas.
Alto custo de implantação	Os altos custos iniciais de aquisição e adaptação tecnológica dificultam a adoção, especialmente por pequenas e médias empresas.
Incerteza do investimento	A falta de clareza sobre os retornos do investimento e os riscos envolvidos gera hesitação nas decisões empresariais.
Estrutura, cultura da empresa e gestão	As estruturas organizacionais rígidas e pouco colaborativas dificultam a

10 A PINTEC (Pesquisa de Inovação) é uma pesquisa do IBGE, realizada em parceria com a ABDI e a UFRJ, que investiga as atividades de inovação tecnológica em empresas brasileiras. Ela mede o comportamento inovador, investimentos em P&D, parcerias e obstáculos, sendo crucial para criar indicadores de ciência e tecnologia.

	integração de novas práticas tecnológicas.
Ausência de política industrial	Faltam políticas públicas claras e eficazes que incentivem a modernização tecnológica do setor industrial.
Ausência de linhas de financiamento apropriadas	O governo precisa oferecer linhas de financiamento específicas para tecnologias digitais.
O mercado não está preparado (clientes e fornecedores)	Clientes e fornecedores muitas vezes não estão tecnologicamente preparados para interagir em cadeias produtivas digitalizadas.
Adaptação de <i>layouts</i>	As mudanças exigem reconfiguração física dos espaços industriais, o que pode gerar custos e obstáculos técnicos.
Implementação de integração de tecnologias digitais	Implantar sistemas integrados entre setores produtivos demanda tempo, investimento e capacitação técnica especializada. A incorporação da robótica avançada, dos sistemas de conexão máquina-máquina, da internet das coisas e dos sensores.
Difusão das tecnologias	Processo pelo qual uma nova tecnologia se espalha e é adotada por empresas.
Concorrência entre projetos de investimentos	As empresas de grande porte sempre saem na frente.
Infraestrutura (energia elétrica, telecomunicações)	São fatores que afetam o custo de produção – como no caso da energia – ou o custo de transação e logística – como a infraestrutura de transporte e de telecomunicações. A limitação da infraestrutura básica compromete a

	conectividade e o fluxo de dados essenciais à Indústria 4.0.
Infraestrutura digital	Para acelerar a adoção de tecnologias digitais no país, o governo deve promover o desenvolvimento da infraestrutura digital (banda larga).

Fonte: Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Quadro 5 – Categorias de oportunidades e citações

Categoria – Oportunidades	Comentários
Aumento da produtividade	As tecnologias da Indústria 4.0 podem reduzir o tempo e aumentar o volume de produção sem perda de qualidade.
Aumento da eficiência	Promovem uso mais racional de insumos e energia, otimizando cada etapa do processo produtivo.
Otimizar processos de automação	Automatização inteligente de etapas melhora a consistência e reduz falhas humanas nos processos industriais.
Aumento da eficiência no processo de planejamento/protótipo	<i>Software</i> e simulações digitais permitem desenvolver protótipos mais rápidos e com menor custo.
Redução de custos operacionais	A integração de dados e monitoramento em tempo real contribui para decisões mais eficazes e economia de recursos.
Integração dos processos	Integração entre áreas da empresa (como TI e produção) melhora a fluidez das operações e aumenta a produtividade.
Criação de novos produtos ou modelos de negócios	Capacita a indústria a criar produtos personalizados, além de explorar novos modelos de negócios baseados em serviços.
Melhora na qualidade dos produtos ou	Sensores e sistemas inteligentes

serviços	detectam falhas e garantem padrão de qualidade elevado.
Maior flexibilidade das linhas de produção	Permite que diferentes produtos sejam feitos em uma mesma linha de produção.
Reforço da competitividade Ampliação de mercado	A adoção tecnológica proporciona diferenciação frente à concorrência nacional e internacional.
Novas profissões	Criação de novos postos de trabalho com foco em tecnologia.
Investimento em tecnologias digitais	Estimula empresas a modernizar suas estruturas com tecnologias como IA, IoT e Big Data.
Inovações do produto	Os produtos passam a incorporar inteligência, conectividade e personalização.
Integração com outros elos das cadeias produtivas	Melhora a comunicação e o fluxo de informações entre fornecedores, empresas e clientes.
Ampliação da cooperação entre agentes econômicos	Parcerias estratégicas, fusões e alianças para fortalecimento da cadeia produtiva.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Por meio do processo de codificação, identificação de padrões, relações e tendências, buscou-se compreender de forma aprofundada os elementos categoriais presentes nos documentos analisados. A partir dessas categorias analíticas, foi realizada uma pesquisa direcionada na literatura acadêmica, com o objetivo de identificar pontos de convergência entre os significados construídos no *corpus* documental e as abordagens teóricas existentes. Essa comparação foi sempre orientada pelas categorias extraídas da análise dos documentos. Isso permite interpretar os conceitos e significados produzidos pela literatura à luz do material empírico. Essa abordagem permitiu identificar, com maior precisão, os desafios e as oportunidades da Indústria 4.0 segundo a CNI, promovendo um diálogo qualificado com autores que investigam a Indústria 4.0 por meio de dados, estudos de caso e diferentes referenciais teóricos.

6 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Em uma primeira leitura, observou-se que os documentos, todos elaborados pela CNI, adotam uma postura amplamente favorável à Indústria 4.0, que constitui o conceito central desses materiais. Neles, a Indústria 4.0 é retratada como uma continuação das diferentes revoluções industriais, sendo apresentada como uma alternativa estratégica para a reindustrialização do Brasil e o crescimento econômico do país. Embora sejam textos majoritariamente descritivos e exploratórios sobre o tema, carecem de dados científicos que possam conscientizar de forma concreta os empresários sobre as soluções propostas para a macroeconomia brasileira.

A seguir, são apresentados os resultados pela análise de conteúdo (*software Atlas.ti*), que buscou compreender os maiores desafios e oportunidades da Indústria 4.0 no país, na perspectiva da CNI. A CNI, sabendo dessa importância, tem trabalhado desde 2016 na sensibilização da indústria e na advocacia por políticas públicas que apoiem o desenvolvimento tecnológico das empresas brasileiras.

Para isso, este capítulo está dividido em três subseções. A primeira faz uma análise mais geral, identificando qual a macrocategoria mais importante e as categorias mais relevantes em geral. As duas próximas subseções destringem as categorias da primeira e da segunda macrocategorias com mais citações, respectivamente.

6.1 COMPORTAMENTO GERAL: MACROCATEGORIAS E CATEGORIAS MAIS CITADAS EM GERAL

A partir das análises dos dados coletados, foram determinadas duas macrocategorias, Desafios e Oportunidades, totalizando 403 ocorrências juntas. Ao analisar os dados, revelou-se que a macrocategoria “Oportunidade” apresentou maior frequência total quando comparada à macrocategoria “Desafio”. Oportunidades registrou um total de 210 ocorrências, representando 52,11% do total, com uma frequência média de 17,5 por categoria; enquanto Desafio apresenta 193 ocorrências, o que equivale a 47,89% do total de citações, com uma frequência média de 14,84 por categoria.

Embora exista um certo equilíbrio entre as duas macrocategorias analisadas, a de Oportunidades aparece mais citada pelos documentos da CNI, o que sugere que os textos tendem a perceber o fenômeno investigado mais sob a perspectiva das potencialidades e

possibilidades de avanço do que propriamente sob a ótica das limitações. Essa predominância, ainda que sutil, pode indicar uma leitura mais propositiva do contexto, evidenciando expectativas de melhoria, ampliação de acesso ou transformação positiva associada ao objeto em análise. A Tabela 1 sintetiza esses valores.

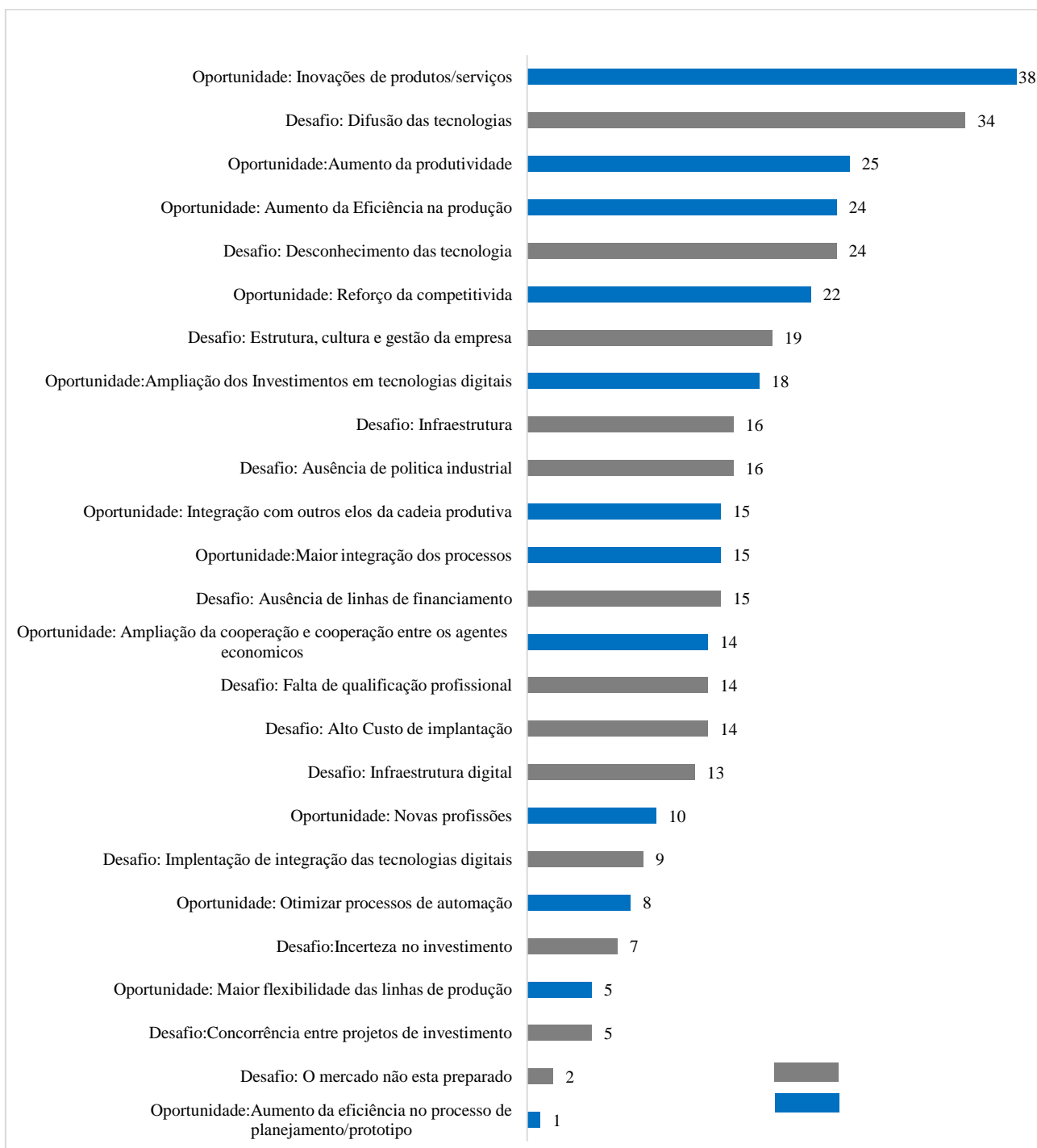
Tabela 1 – Frequência das macrocategorias

Macrocategorias	Somatória das frequências		Frequência média
	Nº	%	
Oportunidades	210	52,11	17,5
Desafios	103	47,89	14,84
Total	403	100	

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

Isso pode ser visto como um sinal de que as oportunidades foram tratadas com mais regularidade pela CNI entre 2016 e 2022, ou seja, mesmo com os desafios apontados pela CNI, como, por exemplo, a difusão tecnológica, a CNI tem procurado dar mais importância às oportunidades que a Indústria 4.0 pode proporcionar ao setor industrial brasileiro. Os resultados revelam um retrato bastante equilibrado, além da forma como a CNI visualiza a adoção da Indústria 4.0. Ao mesmo tempo que reconhece um potencial expressivo de transformação, também explicita um conjunto de barreiras que dificultam transformar esse potencial que é a Indústria 4.0 em ação concreta no chão de fábrica e nas cadeias produtivas. O Gráfico 1 a seguir traz todas as categorias, visando identificar as mais importantes em geral.

Gráfico 1 – Oportunidades X Desafios



Fonte: Elaboração própria, (2026).

Legenda: Em azul, são as categorias de oportunidade; em cinza, as de desafio.

Nota-se que o Gráfico 1 evidencia, em termos gerais, um relativo equilíbrio entre as duas macrocategorias, mas com leve predominância das categorias de Oportunidades quando consideradas no conjunto das menções. As categorias mais citadas incluem “Inovações de produtos/serviços” (38), “Aumento da produtividade” (25) e “Aumento da eficiência na produção” (24), Reforço da competitividade (22) e Ampliação do investimento em tecnologias (18), o que demonstra que, no panorama global das respostas, os textos tendem a associar o fenômeno analisado a ganhos potenciais de desempenho, competitividade e modernização.

Ainda que desafios relevantes apareçam com frequência significativa, como “Difusão das tecnologias” (34), “Desconhecimento das tecnologias” (24) e Estrutura, cultura e gestão da empresa (19), o volume e a posição das oportunidades no topo do gráfico indicam que elas ocupam lugar central na percepção dos respondentes quando comparadas a todas as demais categorias.

Essa leitura mais ampla sugere que, embora haja reconhecimento consistente de entraves estruturais, institucionais e organizacionais, o discurso predominante é orientado por uma expectativa de avanço e transformação positiva. A leve superioridade das oportunidades pode indicar que os atores envolvidos enxergam o contexto investigado menos como um cenário de bloqueios e mais como um campo de possibilidades estratégicas, no qual os desafios aparecem como obstáculos a serem superados para viabilizar ganhos já vislumbrados. Vale ressaltar que a articulação que a CNI tem realizado é de incentivar e convencer os empresários dos melhoramentos que a adoção das tecnologias digitais irá trazer, representando uma oportunidade para o crescimento da competitividade e da inovação e a transformação da indústria brasileira.

Feita essa análise mais ampla, prossegue-se com uma análise por macrocategoria. As Tabelas 2 e 3 trazem as citações das categorias nas macrocategorias de Oportunidade e Desafio respectivamente.

Tabela 2 – Frequência entre categorias das oportunidades

Qtde	Categoria	Freq.	%
1	Inovações de produtos/serviços	38	18,1%
2	Aumento da produtividade	25	11,9%
3	Aumento da eficiência na produção	24	11,43%
4	Reforço da competitividade	22	10,48%
5	Ampliação dos investimentos em tecnologias digitais	18	8,57%
6	Integração com outros elos da cadeia produtiva	15	7,14%

7	Maior integração dos processos	15	7,14%
8	Ampliação da cooperação e cooperação entre os agentes econômicos	14	6,67%
9	Novas profissões	10	4,76%
10	Otimizar processos de automação	8	3,81%
11	Maior flexibilidade das linhas de produção	5	2,38%
	Total	210	100,00%

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A Tabela 2 evidencia que as menções se concentram majoritariamente em categorias associadas a ganhos diretos de desempenho produtivo e posicionamento estratégico, com destaque para “Inovações de produtos/serviços” (18,1%), que ocupa isoladamente a maior frequência relativa, seguida por “Aumento da produtividade” (11,9%) e “Aumento da eficiência na produção” (11,43%). Juntas, essas três categorias somam mais de 40% das menções, indicando que os respondentes percebem o fenômeno analisado, sobretudo como vetor de modernização produtiva e geração de valor. Em um segundo bloco, aparecem dimensões relacionadas à competitividade e aos investimentos em tecnologias digitais, bem como à integração ao longo da cadeia produtiva, o que reforça uma visão sistêmica do processo. As categorias com menor frequência, como “Maior flexibilidade das linhas de produção” (2,38%) e “Otimizar processos de automação” (3,81%), surgem como desdobramentos mais específicos dentro desse horizonte mais amplo de transformação estrutural. De modo geral, a distribuição percentual sugere que a ênfase recai sobre estratégias de inovação e fortalecimento competitivo como elementos centrais da percepção dos participantes.

Tabela 3 – Frequência entre categorias dos desafios

Qtde	Categorias	Freq.	%
1	Difusão das tecnologias	34	17,62%
2	Desconhecimento das tecnologias	24	12,44%
3	Estrutura, cultura e gestão da empresa	19	9,84%
4	Infraestrutura	16	8,29%
5	Ausência de política industrial	16	8,29%
6	Ausência de linhas de financiamento	15	7,77%
7	Falta de qualificação profissional	14	7,25%
8	Alto custo de implantação	14	7,25%
9	Infraestrutura digital	13	6,74%
10	Implementação de integração das tecnologias de digitalização	9	4,66%
11	Incerteza no investimento	7	3,63%

12	Concorrência entre projetos de investimento	5	2,59%
13	O mercado não está preparado	2	1,04%
	Total	193	100 %

Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

A Tabela 3, por sua vez, revela que as menções se concentram principalmente em entraves relacionados à difusão e à apropriação das tecnologias, com destaque para “Difusão das tecnologias” (17,62%) e “Desconhecimento das tecnologias” (12,44%), que, somadas, representam cerca de 30% das ocorrências. Esse dado indica que os principais desafios percebidos não se limitam à existência da tecnologia em si, mas dizem respeito à sua disseminação, compreensão e incorporação efetiva pelos agentes econômicos. Em seguida, aparecem fatores de natureza organizacional e estrutural, como “Estrutura, cultura e gestão da empresa” (9,84%) e “Infraestrutura” (8,29%), além de condicionantes institucionais, como “Ausência de política industrial” (8,29%) e “Ausência de linhas de financiamento” (7,77%), evidenciando que os obstáculos ultrapassam o plano técnico e alcançam dimensões institucionais e sistêmicas. Categorias como “Alto custo de implantação” (7,25%), “Infraestrutura digital” (6,74%) e “Incerteza no investimento” (3,63%) reforçam a percepção de risco e limitação financeira, enquanto itens menos frequentes, como “O mercado não está preparado” (1,04%), aparecem como barreiras mais pontuais. De modo geral, a distribuição percentual sugere que os desafios são percebidos como multifacetados, combinando limitações de conhecimento, capacidade organizacional e ambiente institucional, o que aponta para a necessidade de ações articuladas em diferentes níveis.

Feita essa análise mais geral, o próximo passo é analisar mais detalhadamente algumas categorias específicas. Seguindo a metodologia de Bardin (2011), foram descartadas as categorias que tiveram poucas menções, por não terem grau de saturação suficiente para serem consideradas nessa etapa da análise.

Para fins de análise das categorias, adotaram-se critérios quantitativos e qualitativos para a definição das mais citadas pelos documentos da CNI. Conforme a teoria de Bardin, adotou-se como parâmetro a seleção das categorias com maior frequência média de ocorrência nos *corpora* analisados.

Dessa forma, os percentuais de análise das categorias variam 18,1% para as oportunidades e 17,62% para os desafios, correspondendo às frequências médias identificadas, ou seja, essas categorias se destacam em relação aos termos de recorrência nos documentos analisados da CNI. A escolha desse critério tem por objetivo assegurar

consistência metodológica e relevância discursiva, sendo que as categorias com menores ocorrências a esses percentuais correspondem a citações pontuais. Logo, o recorte proposto garante confiabilidade que as categorias selecionadas representam eixos temáticos recorrentes e estruturantes do *corpus*, retratando aspectos efetivamente consolidados nos documentos analisados.

Segue-se, então, para uma análise das categorias mais relevantes para a macrocategoria das Oportunidades. Para cada categoria analisada, são citados trechos considerados com maior aderência a elas, que mais a reflitam.

6.2 OPORTUNIDADES

Na categoria das oportunidades, a CNI tem a expectativa de que a Indústria 4.0 seja um instrumento de competitividade para as indústrias brasileiras. A categoria mais citada foi “Inovações de produtos/serviços”, sendo citada 38 vezes, o que equivale a 19,5% das citações dentro da macrocategoria de oportunidades, sendo considerada a categoria mais relevante dentro dela. Em seguida, a categoria “Aumento da produtividade” é citada 25 vezes (12,8%), “Aumento da eficiência na produção”, 24 (12,3%), “Reforço da competitividade”, 22 (11,3%) e “Ampliação dos investimentos em tecnologias digitais”, 18 (9,2%).

Adiante, será feita a análise das principais oportunidades associadas à implementação da Indústria 4.0 no Brasil, com base especialmente nos autores Schwab (2016a; 2016b), Lee e Malerba (2020) e Mazzucato e Semieniuk (2017). Pretende-se compreender como essas formulações teóricas dialogam com os documentos produzidos pela CNI, os quais oferecem um diagnóstico detalhado sobre a situação tecnológica da indústria brasileira. Após as leituras sistemáticas dos textos da CNI, emergiram categorias que evidenciam movimentos estruturantes da transformação digital, permitindo identificar, de forma rigorosa, quais oportunidades se apresentam para o setor produtivo nacional no contexto da Quarta Revolução Industrial.

Para cada categoria analisada, foram selecionados trechos considerados mais relevantes e com maior aderência aos elementos que a caracterizam.

6.2.1 Oportunidade 1: inovações de produtos/serviços

Esta categoria aborda uma dimensão central da Indústria 4.0: a capacidade de transformar radicalmente o que é produzido, como é produzido e como os modelos de negócio se reconfiguram diante da digitalização. Esta foi a categoria de oportunidade mais citada nos documentos da CNI.

Percebe-se, ao longo da análise, que a Indústria 4.0 não se restringe a uma transformação dos processos produtivos, mas inaugura um campo ampliado de criação de novos bens, serviços e modelos de negócio. O primeiro trecho afirma que:

Devido aos impactos significativos da digitalização tanto na produção quanto no desenvolvimento de produtos e na forma de se fazer negócio, tais mudanças têm sido consideradas por alguns como a quarta revolução industrial, dando origem ao termo indústria 4.0 como alternativa à expressão produção avançada (Confederação [...], 2016b, p. 2).

Essa formulação é fundamental porque associa explicitamente a digitalização não apenas à eficiência produtiva, mas à transformação do próprio desenvolvimento de produtos e das estratégias empresariais. Essa caracterização dialoga com Albuquerque (2017), ao destacar que revoluções tecnológicas alteram a “velocidade, extensão e impactos” do sistema capitalista, indicando que a digitalização atual deve ser compreendida como um novo ciclo de transformação estrutural que abre espaço para produtos radicalmente novos e para recombinações tecnológicas de amplo alcance.

O segundo trecho reforça essa leitura ao afirmar:

As mudanças nos processos produtivos podem vir acompanhadas de inovações nos produtos. A tendência é de criação de produtos mais inteligentes e independentes, em relação aos atuais. O carro autônomo e o robô doméstico são dois exemplos de produtos que estão surgindo, embora haja uma diversidade de inovações a serem incorporadas a produtos já existentes, tais como equipamentos conectados à internet, com maior ou menor grau de autonomia para a execução de determinadas tarefas (Confederação [...], 2018b, p. 23).

Aqui, a digitalização é apresentada como elemento estruturante de uma nova etapa tecnoprodutiva. Tal compreensão converge com a definição de Indústria 4.0 como fenômeno que “busca transformar a comunicação entre homens e máquinas e entre as próprias máquinas” por meio de inteligência artificial, *big data* e automação. Essa integração sistêmica de tecnologias cria oportunidades para o surgimento de produtos conectados, plataformas inteligentes e serviços baseados em dados, deslocando o eixo

competitivo da mera produção física para soluções integradas produto-serviço (Kagermann; Wahlster; Helbig, 2013).

As oportunidades associadas a esse novo paradigma também devem ser compreendidas à luz da dinâmica das revoluções tecnológicas descrita por Albuquerque (2017). Conforme o autor ressalta, a inovação está no centro da dinâmica do sistema e desencadeia processos de destruição criadora.

Assim, a Indústria 4.0 não apenas aprimora bens existentes, mas possibilita o surgimento de novos mercados e a redefinição de cadeias produtivas. A digitalização massiva funciona como tecnologia de propósito geral, irradiando efeitos para múltiplos setores, o que amplia o leque de oportunidades para inovação de produtos e serviços inteligentes, personalizados e baseados em conectividade permanente (Mazzucato, 2018).

O excerto demonstra, ainda, que a Indústria 4.0 abre espaço tanto para inovações radicais, como o carro autônomo, quanto para inovações incrementais incorporadas a produtos tradicionais, convertendo-os em dispositivos inteligentes conectados. Tal movimento corresponde ao que a literatura neoschumpeteriana identifica como combinação de inovações radicais e incrementais dentro de um novo paradigma tecnoprodutivo (Albuquerque, 2017). Essa transformação, entretanto, não ocorre de forma automática ou homogênea. Como apontam Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018), a difusão das inovações é “contexto-dependente” e pode ser condicionada por fatores socioeconômicos como renda, escolaridade e infraestrutura.

Portanto, as oportunidades de criação de produtos inteligentes dependem das capacidades estruturais e institucionais do país. No caso brasileiro, a consolidação dessas oportunidades exige políticas que reduzam assimetrias e ampliem a base de adoção tecnológica, sob pena de que tais inovações permaneçam restritas a nichos.

Nesse sentido, a discussão de Diegues *et al.* (2022) é elucidativa ao argumentar que as políticas industriais devem considerar os níveis de capacitações – tecnológicas, produtivas e organizacionais – dos agentes locais. A emergência de produtos inteligentes e autônomos implica domínio de competências em *software*, análise de dados, integração de sistemas e design digital. Logo, a oportunidade tecnológica só se converte em vantagem competitiva quando articulada a políticas que fortaleçam capacidades locais e promovam transversalidade tecnológica.

Uma dessas políticas seria a orientada por missões. Para Mazzucato (2018), tais políticas não se limitam a corrigir falhas de mercado, mas envolvem cocriação e

formação do mercado. No contexto da Indústria 4.0, isso significa que o Estado pode desempenhar papel ativo na indução de mercados para carros autônomos, soluções de mobilidade inteligente, saúde digital ou manufatura conectada. Assim, as oportunidades de inovação em produtos e serviços emergem também da coordenação estratégica entre setor público e privado.

Por fim, a análise dos trechos evidencia que a Indústria 4.0 deve ser compreendida como uma janela histórica de oportunidade. Ao redefinir a base tecnológica da produção e do desenvolvimento de produtos, a digitalização amplia o espaço para a criação de bens inteligentes, serviços digitais e novos modelos de negócio baseados em dados e conectividade. Entretanto, conforme apontam os autores mobilizados nesta categoria, a materialização dessas oportunidades depende de condições estruturais, capacidades acumuladas e políticas adequadas.

A Indústria 4.0, portanto, representa simultaneamente uma ruptura tecnológica e um desafio institucional: abre possibilidades inéditas de inovação de produtos e serviços, mas exige coordenação sistêmica para que tais possibilidades se convertam em desenvolvimento efetivo.

6.2.2 Oportunidade 2: aumento de produtividade

Esta categoria evidencia como a Indústria 4.0 representa uma oportunidade estratégica para a indústria brasileira recuperar competitividade e reduzir a defasagem em relação às economias avançadas. Os trechos da CNI selecionados mostram que as tecnologias digitais não apenas aceleram processos, mas transformam estruturalmente o desenvolvimento de produtos, a capacidade de personalização, a integração das cadeias de valor e a eficiência sistêmica.

As mudanças associadas à implementação das tecnologias digitais no âmbito da Indústria 4.0 são explicitamente vinculadas à dimensão produtiva quando se afirma que:

As mudanças associadas a tais tecnologias deverão produzir impactos significativos sobre a produtividade das empresas, de forma a reduzir o lead time no desenvolvimento de produtos e maior capacidade de atender a demandas específicas e personalizadas dos consumidores (Confederação [...], 2018b, p. 139).

Esse trecho indica que o aumento da produtividade não deve ser compreendido apenas como elevação quantitativa da produção por trabalhador ou por unidade de capital, mas como reconfiguração do tempo produtivo e da capacidade de resposta às

demandas. A redução do *lead time* implica compressão do ciclo de inovação, elemento central da dinâmica capitalista já destacada por Schumpeter (1961), para quem a inovação é o motor da destruição criadora.

Nessa perspectiva, o ganho de produtividade decorre da aceleração dos fluxos de informação e da integração entre concepção, desenvolvimento e manufatura, o que aproxima a fase de invenção da fase de difusão, conforme a tríade schumpeteriana discutida por Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018, p. 178).

Essa expectativa de ganhos sistêmicos é reforçada quando o documento afirma que:

Essas expectativas serão realizadas, as transformações na indústria serão importantes: as empresas serão mais eficientes e produtivas e capazes de fornecer bens e serviços atualizados e adequados às demandas dos consumidores; as cadeias de valor terão capacitação tecnológica avançada; Como as empresas competem disputando mercados em ambiente competitivo, nenhum de seus concorrentes também possui nível tecnológico elevado (Confederação [...], 2018b, p. 59).

Aqui, a produtividade aparece associada à eficiência sistêmica e à elevação do padrão tecnológico das cadeias de valor. Tal formulação dialoga diretamente com Albuquerque (2017), quando ele sustenta que revoluções tecnológicas reconfiguram o sistema capitalista ao introduzirem novas *general purpose technologies* (GPTs), capazes de irradiar efeitos por todo o aparato produtivo. A Indústria 4.0, nesse sentido, configura-se como fase associada à difusão de tecnologias digitais que, ao se combinarem, ampliam a produtividade não apenas no nível da firma, mas no conjunto da economia.

O caráter estratégico da produtividade é explicitado quando se declara que: “O aumento da produtividade da indústria brasileira é uma das prioridades nacionais” (Confederação [...], 2018f, p. 24).

Essa prioridade deve ser compreendida à luz da trajetória recente da economia brasileira, marcada por perda relativa de dinamismo industrial. Gordon e Cassiolato (2019, p. 3) destacam que a dinâmica de crescimento das economias modernas é cada vez mais impulsionada pelo processo inovativo no âmbito do Sistema Nacional de Inovação. Assim, a produtividade não é apenas uma variável microeconômica, mas expressão da capacidade do país de articular políticas, instituições e empresas em torno de uma agenda tecnológica coerente.

Essa preocupação ganha contornos ainda mais concretos quando se afirma que:

O aumento da produtividade da indústria brasileira é uma das prioridades nacionais. Trabalho da CNI demonstra que a produtividade da indústria brasileira em comparação com os principais países competidores caiu por mais de dez anos consecutivos até 2014. Nesse contexto, a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 se impõe para que a defasagem da indústria brasileira não se amplie nos próximos anos (Confederação [...], 2018f, p. 24).

O que se nota é que a Indústria 4.0 é vista como resposta a uma trajetória de defasagem relativa. Nesse ponto, dialoga-se com Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018, p. 177), que alertam que a difusão tecnológica é contexto-dependente e que a replicação de modelos de países centrais pode não fazer sentido em economias periféricas. Logo, o aumento de produtividade via digitalização depende das condições estruturais, renda, escolaridade, infraestrutura, que moldam a capacidade de absorção tecnológica.

A dimensão empírica do ganho produtivo aparece de modo contundente quando se registra que “7 a cada 10 empresas (72%) apontaram o Aumento da produtividade como um dos cinco principais benefícios obtidos pela empresa com o uso de tecnologias digitais, tornando esse benefício o mais assinalado” (Confederação [...], 2022b, p. 14).

Esse dado indica que, no plano microeconômico, as firmas já percebem efeitos concretos da digitalização. Tal percepção pode ser interpretada à luz da análise de Paula e Paes (2021, p. 1.048), que afirmam que a Indústria 4.0 busca “tornar a produção mais ágil, econômica e autônoma”. A agilidade e a autonomia produtiva reduzem desperdícios, aumentam a previsibilidade e ampliam a eficiência operacional, traduzindo-se em maior produtividade.

Por fim, a dimensão estratégica e geopolítica da produtividade é sintetizada na afirmação de que: “A indústria brasileira tem a chance de, por meio do emprego de tecnologias digitais, dar um salto de produtividade que nos permitirá reduzir a distância para as nações envolvidas” (Confederação [...], 2017, p. 2).

Esse “salto” remete ao conceito de mudança de paradigma tecnológico discutido por Albuquerque (2017), segundo o qual revoluções tecnológicas criam janelas de oportunidade para países que conseguem se inserir nas novas trajetórias. Contudo, como apontam Gordon e Cassiolato (2019), o papel do Estado é fundamental na mitigação de riscos e incertezas inerentes ao processo inovativo. Assim, o aumento da produtividade via Indústria 4.0 não é automático: ele depende de políticas públicas capazes de estruturar um ambiente favorável à difusão e à absorção tecnológica.

Em síntese, pode-se dizer que os trechos destacados convergem ao enquadrar a Indústria 4.0 como oportunidade histórica de elevação da produtividade industrial

brasileira. Tal oportunidade se materializa na redução de *lead time*, na elevação da eficiência das cadeias de valor, na percepção concreta de ganhos pelas empresas e na possibilidade de reposicionamento competitivo internacional.

Entretanto, conforme a literatura carregada indica, esses ganhos estão condicionados à estrutura do Sistema Nacional de Inovação, às políticas de mitigação de risco e às especificidades do contexto brasileiro. A produtividade, portanto, emerge não como efeito colateral da digitalização, mas como eixo estruturante de uma estratégia de desenvolvimento ancorada na transformação tecnológica.

6.2.3 Oportunidade 3: aumento da eficiência na produção

Esta categoria destaca uma das contribuições centrais da Indústria 4.0 para o ambiente industrial brasileiro: a possibilidade de transformar profundamente processos produtivos por meio de monitoramento contínuo, manutenção preditiva, automação avançada, análise de dados em tempo real e sistemas inteligentes que otimizam recursos.

Esses elementos refletem uma mudança estrutural descrita pela literatura especializada, especialmente por Schwab (2016a) e por Kagermann *et al.* (2023), que entendem a Quarta Revolução Industrial como um processo de intensificação da produtividade e da precisão operacional, sustentado por sistemas cyber-físicos e fluxos massivos de dados.

O primeiro trecho é claro ao afirmar que:

Ao monitorar todo o processo, a empresa consegue alocar eficientemente suas máquinas, identificar problemas rapidamente e reduzir gargalos, otimizar processos, reduzir defeitos nos produtos e até mesmo prevenir problemas antes de construir a planta ou protótipo. Consegue, também, aumentar a eficiência no uso de recursos, como energia elétrica, o que contribui para a redução de custos (Confederação [...], 2016a, p. 2).

Esse excerto evidencia que a Indústria 4.0 transforma a eficiência em resultado direto da capacidade de monitoramento em tempo real e da integração entre dados e operação. Não se trata apenas de produzir mais, mas de produzir melhor, com menos perdas, menos retrabalho e menor consumo de insumos.

Essa perspectiva dialoga com a compreensão schumpeteriana da inovação como elemento central da dinâmica econômica, que destaca que a inovação, em qualquer de seus cinco tipos básicos, está no centro da dinâmica do sistema. No caso da Indústria

4.0, a inovação organizacional e tecnológica permite a reorganização interna dos fluxos produtivos, reduzindo gargalos e antecipando falhas. A eficiência, nesse contexto, é fruto da aplicação sistemática da ciência e da tecnologia à produção, aspecto já apontado por Marx na análise da grande indústria, também discutida por Albuquerque (2017).

A prevenção de problemas antes mesmo da construção física da planta produtiva, mencionada no trecho, indica o uso de simulações digitais, prototipagem virtual e integração de dados. Isso reduz custos de investimento e retrabalho, aumentando a eficiência estrutural do empreendimento. Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018, p. 178) lembram que a difusão é etapa essencial para que a inovação gere impactos econômicos. Assim, a eficiência só se concretiza quando as tecnologias digitais são efetivamente incorporadas às rotinas produtivas, transformando a lógica operacional da firma.

O segundo trecho introduz uma dimensão setorial importante:

Os benefícios obtidos também mostram que as tecnologias digitais conseguem trazer soluções específicas para cada setor. Por exemplo, entre os cinco setores da indústria de transformação que mais assinalaram o Aumento da eficiência energética como benefício, quatro deles se encontram entre os 10 mais eletrointensivos da indústria (Confederação [...], 2022b, p. 14).

Aqui, a eficiência aparece como adequação tecnológica às características estruturais de cada setor. Em indústrias eletrointensivas, a gestão inteligente do consumo energético representa redução direta de custos e melhoria da competitividade.

Essa especificidade confirma a tese de que a difusão tecnológica é “contexto-dependente”, conforme enfatizam Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018, p. 177). A eficiência energética não é um benefício genérico, mas depende da estrutura produtiva e do padrão tecnológico de cada atividade. Assim, a Indústria 4.0 oferece ferramentas adaptáveis, capazes de gerar ganhos diferenciados conforme a intensidade energética ou a complexidade dos processos.

O terceiro trecho amplia essa análise ao afirmar que:

A combinação do Big Data com o emprego da Inteligência Artificial propicia a manutenção preditiva das máquinas e dos equipamentos e assegura maior precisão nos procedimentos, eficiência no uso de insumos e maior qualidade nos serviços executados. O emprego dessas tecnologias pode desenvolver ambientes interativos autônomos, isto é, sem a intervenção humana (Confederação [...], 2018b, p. 19).

A manutenção preditiva é exemplo concreto de aumento de eficiência: ao antecipar falhas, evita paradas não planejadas, reduz custos de manutenção corretiva e prolonga a vida útil dos equipamentos.

A precisão nos procedimentos e a eficiência no uso de insumos reforçam o caráter racionalizador da digitalização. Albuquerque (2017) argumenta que revoluções tecnológicas reconfiguram o aparato produtivo ao introduzirem tecnologias com múltiplas possibilidades de combinação. *Big Data* e Inteligência Artificial funcionam como tecnologias de propósito geral, capazes de otimizar diferentes etapas do processo produtivo, do controle de qualidade à logística interna.

A criação de “ambientes interativos autônomos” representa um novo estágio de eficiência operacional. A automação baseada em dados reduz variabilidade, erros humanos e inconsistências, aumentando a confiabilidade do sistema produtivo. Entretanto, Gordon e Cassiolato (2019) ressaltam, como já se viu, que a inovação ocorre no âmbito do Sistema Nacional de Inovação e depende de aprendizado interativo. Logo, a eficiência não deriva apenas da tecnologia em si, mas da capacidade institucional e organizacional de integrá-la aos processos produtivos.

Os trechos analisados, pode-se dizer, demonstram que a Indústria 4.0 oferece oportunidades substanciais de aumento de eficiência na produção por meio do monitoramento contínuo, da gestão energética inteligente, da manutenção preditiva e da automação autônoma. Diferentemente da categoria “produtividade”, associada ao volume produzido, aqui a ênfase recai na qualidade do processo, na redução de desperdícios e na racionalização do uso de recursos. À luz da literatura mobilizada, esses ganhos configuram expressão concreta de uma nova fase das revoluções tecnológicas, cuja efetividade depende da capacidade de difusão, aprendizado e articulação institucional no contexto brasileiro.

6.2.4 Oportunidade 4: reforço de competitividade

Esta categoria exige compreender a Indústria 4.0 como vetor estratégico de posicionamento das empresas e do país na economia internacional. O primeiro trecho afirma:

A Indústria 4.0 está transformando a produção com novos processos, produtos e modelos de negócios. As empresas que não se adequarem a essa nova realidade podem perder mercados ou, em casos extremos, até deixar de existir. Ao mesmo tempo, essa revolução é uma grande oportunidade para o

setor industrial brasileiro tentar diminuir a diferença de produtividade em relação aos países desenvolvidos (Confederação [...], 2020b, p. 7).

A competitividade aparece aqui como imperativo estrutural: adaptar-se não é opcional, mas condição de sobrevivência. Essa formulação dialoga diretamente com Schumpeter, para quem “a inovação, em qualquer de seus cinco tipos básicos, está no centro da dinâmica do sistema” (Albuquerque, 2017, p. 54), pois é ela que sustenta a vantagem competitiva e os lucros extraordinários.

A advertência de que empresas podem “perder mercados” ou “até deixar de existir” remete à lógica da destruição criadora. Albuquerque (2017, p. 54) enfatiza que a inovação alimenta o processo de “destruição criadora” que caracteriza o capitalismo. Assim, a Indústria 4.0 não apenas amplia eficiência interna, mas redefine os parâmetros da competição internacional. Quem lidera a incorporação de tecnologias digitais consolida posições estratégicas; quem se atrasa amplia sua vulnerabilidade estrutural.

O segundo trecho aprofunda a dimensão macroeconômica da competitividade: “Processos mais eficientes representam ganhos de produtividade, que se refletem em maior investimento e mais empregos. Esse círculo virtuoso é o caminho para o desenvolvimento do país” (Confederação [...], 2017, p. 2).

Aqui, competitividade não é apenas atributo empresarial, mas mecanismo de desenvolvimento. Cassiolato e Lastres (2005, p. 34) destacam que, em um contexto de crescente incorporação de conhecimento nas atividades produtivas, “a inovação passou a ser entendida como variável ainda mais estratégica para a competitividade de organizações e países”. O círculo virtuoso mencionado no trecho só se sustenta quando a inovação se insere de forma sistêmica no aparato produtivo.

A terceira citação explicita os novos fundamentos competitivos:

Tais modelos abrem a porta para que as empresas apoiem suas estratégias em novos fatores de competitividade: nos processos e nas cadeias de valor, as novas tecnologias permitem otimizar a gestão de toda a cadeia e aumentar a precisão dos parâmetros de eficiência, combinar escala com diferenciação e customização e, no limite, personalizar produtos (Confederação [...], 2018b, p. 17).

A competitividade passa a ser construída ao longo de cadeias integradas e inteligentes. Cassiolato e Lastres (2005, p. 35) argumentam que a inovação deve ser compreendida como “processo sistêmico e interativo”, o que implica coordenação entre empresas, fornecedores, instituições científicas e políticas públicas.

A combinação entre escala e customização representa ruptura com o modelo fordista tradicional. Essa transformação sustenta novos padrões competitivos baseados em flexibilidade, conectividade e resposta rápida à demanda, atributos centrais para competir em mercados globalizados (Paula; Paes, 2021).

O quarto trecho reforça o papel estratégico da inovação:

As empresas mais competitivas são as que mais investem em inovação. A indústria precisa inovar, visando à implantação de fábricas inteligentes, flexíveis, ágeis e conectadas com suas cadeias de fornecimento. A indústria brasileira deve e precisa ousar no desenvolvimento de produtos inteligentes e conectados, que utilizem tecnologias disruptivas, capazes de afetar o mercado internacional (Confederação [...], 2017, p. 3).

A competitividade internacional está diretamente vinculada à capacidade de investir em tecnologias disruptivas. Gordon e Cassiolato (2019) ressaltam que o processo inovativo ocorre no âmbito do Sistema Nacional de Inovação e envolve risco e incerteza. Portanto, competir internacionalmente exige não apenas iniciativa privada, mas articulação institucional robusta.

O último trecho amplia essa estratégia para o nível ecossistêmico:

Para as empresas e os ecossistemas que podem acompanhar a fronteira de produtividade, a estratégia recomendada é investir em modelos de negócio integrados, conectados e inteligentes, abrangendo toda a cadeia de valor, para maximizar ganhos de produtividade e sustentar a competitividade internacional (Confederação [...], 2018b, p. 20).

A competitividade deixa de ser atributo isolado da firma e passa a depender de ecossistemas integrados. Cassiolato e Lastres (2005, p. 35) defendem que políticas eficazes devem mobilizar “processos de aquisição e uso de conhecimentos e de capacitações produtivas e inovativas”, estruturando sistemas de inovação capazes de sustentar vantagens duradouras.

Revela-se que a Indústria 4.0 constitui oportunidade estratégica de reforço de competitividade ao redefinir padrões produtivos, integrar cadeias de valor, estimular investimento inovativo e alinhar empresas à fronteira tecnológica. Percebe-se que a competitividade internacional depende da capacidade de internalizar a lógica da inovação como elemento estruturante do desenvolvimento. A Indústria 4.0, portanto, não é apenas modernização tecnológica, mas estratégia de inserção competitiva no capitalismo contemporâneo.

6.2.5 Oportunidade 5: ampliação dos investimentos em tecnologias digitais

Esta categoria descreve um movimento emergente e decisivo na reconfiguração da indústria brasileira. O investimento crescente em digitalização, automação, desenvolvimento de produtos e novos modelos de negócio indica que a Indústria 4.0 já provoca deslocamentos significativos no país, ainda que de forma gradual e desigual.

O primeiro trecho afirma:

A Indústria brasileira está mais digital que cinco anos atrás. Em 2021, 69% das empresas industriais já utilizavam pelo menos uma tecnologia digital em uma lista que apresenta 18 diferentes aplicações. Em 2016, as empresas que faziam uso de alguma tecnologia digital eram 48%, em uma lista com 10 opções (Confederação [...], 2022b, p. 8).

Esses dados revelam a aceleração da digitalização, coerente com o diagnóstico de Schwab (2016b, p. 2) de que a Quarta Revolução Industrial avança com “velocidade sem precedentes” e em ritmo “exponencial, em vez de linear”. O salto de 48% para 69% confirma que a indústria brasileira acompanha, ainda que parcialmente, esse ritmo global. O segundo trecho indica que “as empresas começam a se mover para incorporar tecnologias digitais para além do processo de produção, ou seja, tecnologias aplicadas em desenvolvimento de produto e em produtos e modelos de negócio” (Confederação [...], 2018b, p. 11).

Essa ampliação do escopo da digitalização dialoga com a análise de Kagermann *et al.* (2023), que afirmam que tecnologias da Indústria 4.0 alteram simultaneamente a flexibilidade necessária e a flexibilidade disponível, permitindo novos produtos, personalização e integração do ciclo de vida do produto. O que a CNI descreve é justamente esse movimento de maturação digital.

Adiante, reforça-se a cautela empresarial: “Não obstante, a maioria das empresas que planejam investe em tecnologias que já utilizam. Embora a tecnologia já seja utilizada pela empresa, o plano de investimento nessa mesma tecnologia sugere que ela ainda não está totalmente implantada” (Confederação [...], 2018b, p. 12).

Essa tendência de investir primeiro no que já é conhecido confirma a leitura de Kagermann *et al.* (2023) de que a Indústria 4.0 exige adaptações contínuas e progressivas, pois a flexibilidade ideal não é alcançada de uma vez, mas por ajustes sucessivos que equilibram capacidade tecnológica e necessidade operacional.

Posteriormente, percebe-se que:

Em 2018, 48% das grandes empresas industriais pretendem investir em tecnologias digitais, ou seja, em Indústria 4.0. Segundo CNI (2018), 81% das grandes empresas industriais planejam investir em 2018. Dessa forma, seis em cada dez empresas que pretendem investir (60%), planejam investir em tecnologias digitais (Confederação [...], 2018b, p. 17).

Esta afirmação dialoga diretamente com a noção de “milagre do lado da oferta” apresentada por Schwab (2016a), que argumenta que a Quarta Revolução Industrial trará ganhos de eficiência, queda nos custos logísticos e abertura de novos mercados. O aumento da intenção de investimento das empresas brasileiras mostra que elas reconhecem esse potencial e buscam posicionar-se competitivamente.

A CNI também afirma que:

As empresas que planejam investir em tecnologias digitais o farão principalmente naquelas tecnologias que já utilizam, ainda que também possam investir em outras tecnologias (70% das empresas que pretendem investir o farão em mais de um tipo de tecnologia). Em média, 60% das empresas que pretendem investir em um tipo de tecnologia digital já utilizam esse tipo de tecnologia. Esse comportamento ocorre mais nos casos de Automação digital sem sensores, uso de Controlador Lógico Programável – CLP sem sensores e de Automação digital com sensores para controle de processos. No primeiro caso, 84% das empresas que pretendem investir na tecnologia já a utilizam. No segundo, o percentual é de 80% (Confederação [...], 2018c, p. 19).

Esse comportamento incremental confirma a tese de Schwab (2016a) de que a inovação se difunde a partir da conexão entre sistemas já existentes e novas capacidades tecnológicas, o que acelera a adoção sem exigir rupturas completas. A repetição desse padrão indica que o Brasil se encontra em etapa intermediária de maturidade digital.

O mesmo trecho especifica que investimentos ocorrem sobretudo em automação com ou sem sensores e CLP, destacando percentuais elevados como 84% e 80%. Isso relaciona-se com Kagermann *et al.* (2023), que ressaltam que tecnologias de monitoramento e automação aumentam a flexibilidade produtiva e reduzem variabilidade, permitindo respostas mais rápidas às demandas. O foco brasileiro nessas tecnologias indica que a busca inicial é por eficiência e estabilidade operacional.

Afirma-se ainda que: “Outra característica da digitalização na indústria brasileira é o foco nos processos, ou seja, no aumento da eficiência” (Confederação [...], 2016a, p. 5). Essa ênfase na eficiência aparece de forma explícita nos escritos de Schwab (2016b), que aponta queda de custos de comunicação e logística e ganhos de produtividade como resultados imediatos da Quarta Revolução Industrial. Portanto, o foco em processos revela uma estratégia compatível com as primeiras fases de adoção da Indústria 4.0.

Em conjunto, os trechos analisados revelam que a ampliação dos investimentos em tecnologias digitais no Brasil segue tendências globais, mas com uma dinâmica incremental e voltada inicialmente para eficiência, não para ruptura. Esse comportamento é coerente com Schwab (2016b), que descreve a transformação em ritmo exponencial, e com Kagermann *et al.* (2023), que enfatiza a necessidade de equilíbrio entre flexibilidade necessária e disponível. A CNI demonstra que a indústria brasileira está avançando, mas ainda de modo prudente, priorizando tecnologias consolidadas antes de expandir para soluções mais sofisticadas.

6.2.6 Uma breve síntese analítica das demais categorias referentes às oportunidades

Embora as ocorrências dessas categorias tenham ficado abaixo do limiar de 8,5% previamente estabelecido, vale sintetizá-las analiticamente, porque elas funcionam como marcadores de completude do diagnóstico: mesmo menos frequentes, apontam vetores estruturantes da Indústria 4.0 que, quando considerados em conjunto, permitem visualizar a configuração sistêmica das oportunidades identificadas pela CNI. Em outras palavras, a baixa incidência não implica baixa relevância teórica, já que a Indústria 4.0, tal como discutem Schwab (2016a, 2016b) e Kagermann *et al.* (2023), entre outros, não se define por um único eixo tecnológico, mas pela convergência entre conectividade, dados e reorganização institucional; por isso, integrar essas categorias à leitura geral ajuda a produzir uma visão global do movimento de transição de arranjos lineares e segmentados para ecossistemas produtivos em rede, nos quais coordenação, interoperabilidade e capacidades de aprendizado são condições de competitividade (Mazzucato; Semieniuk, 2017; Lee; Malerba, 2020).

A categoria integração com outros elos da cadeia produtiva aparece como oportunidade, pois explicita a transformação das relações produtivas em direção a fluxos contínuos de informação que conectam desenvolvimento, produção e pós-venda, tal como enunciado nos documentos da CNI (Confederação [...], 2022b). Ao descrever que a comunicação entre máquinas por sensores permite integrar etapas da cadeia de valor “incluindo, até mesmo, o pós-venda” (Confederação [...], 2022b), a CNI traduz, em linguagem aplicada, a ideia de que a Quarta Revolução Industrial opera pela fusão entre os mundos físico e digital, na qual redes, sensores e dados remodelam a lógica da produção (Schwab, 2016a, 2016b). Essa leitura também se articula ao entendimento de

que sistemas cyber-físicos funcionam como “tecidos conectores” capazes de organizar a produção em tempo real e ampliar o alcance das cadeias globais de valor (Kagermann *et al.*, 2023), deslocando o foco da modernização de etapas isoladas para a reconfiguração estratégica de relacionamentos econômicos. Nessa direção, a integração não é apenas técnica: ela supõe coordenação e sustentação institucional para viabilizar redes integradas de inovação e investimentos público-privados capazes de manter infraestrutura, padrões e capacidades tecnológicas no longo prazo (Mazzucato; Semieniuk, 2017), o que reforça a dimensão sistêmica indicada pelos próprios documentos industriais (Confederação [...], 2022a).

A maior integração dos processos internos, por sua vez, remete à conversão do chão de fábrica em ambiente conectado e orientado por dados, no qual atividades antes fragmentadas passam a ser sincronizadas continuamente por automação digital, IoT e sistemas cyber-físicos (Schwab, 2016a, 2016b). Quando a CNI aponta que tecnologias diretamente relacionadas ao processo produtivo, como automações digitais, são as mais adotadas e destaca a “automação digital com sensores para controle de processo” como a tecnologia mais assinalada em diferentes níveis de intensidade tecnológica (Confederação [...], 2022b), o documento evidencia que a integração se materializa, no plano operacional, pela captura e circulação de dados em tempo real, capazes de reduzir erros, acelerar fluxos e permitir ajustes automáticos. Essa constatação dialoga com a caracterização de Schwab (2016b) de que sistemas autônomos e conectados tornam-se componentes essenciais para sincronizar processos e elevar a eficiência, porque deslocam o controle de rotinas isoladas para uma coordenação contínua baseada em dados.

A ampliação da cooperação entre agentes econômicos é apresentada como oportunidade estrutural porque a Indústria 4.0, ao intensificar conectividade e integração de dados, torna insuficiente a lógica de produção isolada, exigindo arranjos colaborativos e ecossistemas interempresariais (Confederação [...], 2016a, p. 18). A formulação de que as operações serão “cada vez mais integradas” (Schwab, 2016a) indica que a integração tecnológica demanda integração institucional, pois, se as fronteiras entre as esferas física, digital e biológica se confundem, também se reconfiguram as fronteiras organizacionais e as responsabilidades distribuídas entre agentes (Schwab, 2016a). Essa necessidade de cooperação se torna mais clara quando se considera que a transformação é sistêmica, isto é, envolve produção, gestão e governança, e, portanto, nenhum agente econômico detém sozinho todas as

competências e infraestrutura requeridas para operar no novo paradigma (Schwab, 2016a; 2016b).

No plano técnico, a centralidade da “integração em rede” (Kagermann *et al.*, 2023) e da coordenação contínua para equilibrar flexibilidade necessária e disponível nos sistemas produtivos reforça a materialidade dessa cooperação: cadeias deixam de ser soma de partes e passam a funcionar como ecossistemas interdependentes, cuja eficiência depende de interoperabilidade e troca permanente de dados (Kagermann *et al.*, 2023). Assim, a cooperação mencionada pela CNI é simultaneamente condição de funcionamento técnico e de competitividade sistêmica, pois monitoramento em tempo real e reconfiguração de processos só se efetivam quando há padronização e compartilhamento entre fornecedores, fabricantes e operadores (Kagermann *et al.*, 2023; Schwab, 2016b; Confederação [...], 2016a, p. 18).

O tópico “novas profissões” sintetiza o efeito da Indústria 4.0 sobre o trabalho ao indicar que a reorganização produtiva baseada em dados, automação e inteligência artificial desloca ocupações tradicionais e cria novas atividades, exigindo requalificação e adaptação dos sistemas de formação (Schwab, 2016a; 2016b). A CNI explicita esse ponto ao afirmar que o direcionamento de recursos por instituições de financiamento e a formação de mão de obra especializada se articulam às instituições voltadas à inovação tecnológica no processo de adaptação aos novos paradigmas (Confederação [...], 2022b), além de registrar o “surgimento de novas atividades e novas profissões” e a consequente necessidade de adaptações no padrão de formação de recursos humanos (Confederação [...], 2016a, p. 18). Em síntese, a emergência de novas profissões, tal como formulada pela CNI, não é mero “efeito colateral” tecnológico, mas parte constitutiva do ecossistema 4.0, no qual competitividade repousa sobre requalificação permanente e reorganização das capacidades produtivas (Schwab, 2016a; 2016b; Lee; Malerba, 2020).

A maior flexibilidade das linhas de produção expressa a passagem de sistemas rígidos para arranjos adaptativos e modulares, nos quais sensores e automação avançada permitem ajustar parâmetros produtivos em tempo real e reduzir a exigência de grandes escalas para custos médios competitivos (Kagermann *et al.*, 2023; Confederação [...], 2016a). Ao afirmar que “o uso de sensores” permite flexibilizar a linha e reduzir a necessidade de escalas elevadas (Schwab, 2016), a CNI descreve o fundamento técnico da flexibilidade como capacidade de controle distribuído e responsivo (Confederação [...], 2016a), o que se articula ao argumento de que conectividade e dados criam

mecanismos de otimização contínua e rompem com o paradigma fordista de padronização em massa (Schwab, 2016a; 2016b).

Tabela 4 – Tabela-síntese da Macrocategoria Oportunidades, com foco nas categorias principais

Categoria de Oportunidade	Peso (CNI)	Núcleo conceitual	Evidências (CNI)	Base teórica	Relações com as demais categorias	Síntese
Inovações de produtos/serviços	38 citações (19,5%)	Transformação do desenvolvimento de produtos, criação de bens inteligentes e reconfiguração de modelos de negócio baseados em dados e conectividade.	Sondagem (abr. 2016, nº 66, p. 2): digitalização impacta produção, desenvolvimento de produtos e forma de fazer negócio; Indústria 4.0 Eleições (2018b, p. 23): tendência a produtos mais inteligentes, conectados e autônomos.	Schwab (2016a; 2016b); Kagermann <i>et al</i> (2023); Mazzucato (2018); Albuquerque (2017); Diegues <i>et al.</i> (2022).	Depende de investimentos digitais (base tecnológica); produz ganhos de produtividade via eficiência e redução de <i>lead time</i> ; sustenta competitividade ao diferenciar oferta e ampliar valor.	Categoria estruturante: desloca a base competitiva para soluções produto-serviço e para inovação orientada por dados.
Aumento da produtividade	25 citações (12,8%)	Redução de <i>lead time</i> , aceleração do ciclo de desenvolvimento e ampliação do desempenho sistêmico (firma e cadeia).	Indústria 2027 (p. 139): impactos sobre produtividade e redução de <i>lead time</i> ; Oportunidades para a Indústria 4.0 (p. 24): prioridade nacional; Sondagem Especial (abr. 2022, nº 83, p. 14): 72% indicam produtividade como benefício.	Schumpeter (1961; 1988); Albuquerque (2017); Gordon e Cassiolato (2019); Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018).	Resulta da eficiência produtiva (monitoramento, predição, automação); retroalimenta competitividade; cria incentivos para ampliar investimentos e avançar para a inovação de produtos/serviços.	Eixo econômico: traduz digitalização em desempenho mensurável e abre espaço para reposicionamento competitivo.
Aumento da eficiência na produção	24 citações (12,3%)	Otimização de recursos e processos via dados em tempo real, manutenção preditiva, automação e controle mais preciso.	Sondagem (abr. 2016, nº 66, p. 2): monitoramento reduz gargalos, defeitos e custos; Sondagem Especial (abr. 2022, nº 83, p. 14): eficiência energética como benefício; Indústria 4.0 Eleições (2018b, p. 19): Big Data + IA = manutenção preditiva, precisão e eficiência de insumos.	Schwab (2016a; 2016b); Kagermann <i>et al.</i> (2023); Albuquerque (2017).	Funciona como base operacional para produtividade; favorece investimentos incrementais; eleva competitividade por custo, qualidade e confiabilidade; abre espaço para inovação ao liberar capacidade e reduzir desperdícios.	Categoria operacional: racionaliza o processo produtivo e sustenta ganhos contínuos com menor variabilidade e maior previsibilidade.

Categoria de Oportunidade	Peso (CNI)	Núcleo conceitual	Evidências (CNI)	Base teórica	Relações com as demais categorias	Síntese
Reforço da competitividade	22 citações (11,3%)	Reposicionamento em mercados, sobrevivência empresarial e integração competitiva em cadeias de valor mais inteligentes.	Difusão das tecnologias 4.0 (p. 7): risco de perder mercados se não adaptar; Carta da Indústria 4.0 (p. 2-3): círculo virtuoso produtividade-investimento e necessidade de ousar em produtos conectados; Indústria 2027 (p. 17, 20): escala + customização e modelos integrados na cadeia.	Cassiolato e Lastres (2005); Gordon e Cassiolato (2019); Paula e Paes (2011); Schwab (2016a).	Depende de produtividade e eficiência; é reforçada por inovação de produtos/serviços e por investimentos digitais; exige coordenação ecossistêmica (cadeias e instituições).	Categoria estratégica: converte ganhos tecnológicos em vantagem competitiva sustentada, sobretudo em ambiente internacional.
Ampliação dos investimentos em tecnologias digitais	18 citações (9,2%)	Aumento da adoção e maturação digital, frequentemente incremental e voltada a processos (automação/CLP, sensores, etc.).	Sondagem Especial (2022, p. 8): 69% usam ao menos uma tecnologia digital (vs. 48% em 2016); Investimentos em Indústria 4.0 (2018b, p. 11-12, 17, 19): expansão para além da produção, mas foco em tecnologias já utilizadas (84% e 80% em alguns casos).	Schwab (2016a; 2016b); Kagermann <i>et al.</i> (2023).	Categoria habilitadora: viabiliza eficiência e produtividade; cria condições para inovação; sustenta competitividade ao manter trajetória de atualização tecnológica.	Base material do ciclo: sem investimento consistente, as demais oportunidades tendem a permanecer parciais ou concentradas em nichos.

Fonte: Elaboração própria (2026).

6.3 DESAFIOS

Na macrocategoria de Desafios, observamos que, para a CNI, o gargalo principal para o avanço da Indústria 4.0 não é somente ter tecnologia acessível, mas sim possibilitar que ela chegue às empresas e seja incorporada com maturidade. A categoria de “Difusão das Tecnologias” foi a mais citada, 34 vezes, o que corresponde a 17,62% da macrocategoria de Desafios. Essa categoria aponta que a transformação digital encontra barreiras de capilaridade, ou seja, tecnologias existem, porém, as formas como elas são difundidas é que não acompanham o ritmo necessário, principalmente quando avaliado entre pequenas e médias indústrias. Em seguida, a categoria de “Desconhecimento das tecnologias”, citada 24 vezes (12,44%), reforça que o obstáculo é também informacional e de capacitação: muitas organizações ainda não compreendem plenamente o que adotar, para que adotar e como capturar retorno. Soma-se a isso “Estrutura, cultura e gestão da empresa” mencionada 19 vezes (9,84%), mostrando que a Indústria 4.0 é, em grande medida, uma agenda de mudança organizacional: sem liderança, processos, governança e cultura voltadas a dados e inovação.

De modo geral, os textos analisados revelam que a Indústria 4.0, embora reconhecida como estratégica para o futuro da economia, ainda se depara com uma série de entraves interdependentes. De um lado, há desafios de natureza econômica, como o alto custo de investimento inicial e a ausência de linhas de crédito adequadas, que refletem a limitação estrutural do financiamento à inovação.

De outro, persistem obstáculos institucionais e culturais, como a falta de uma política industrial articulada, a baixa integração entre empresas e universidades, e a escassez de mão de obra qualificada. Somam-se a isso os gargalos de infraestrutura produtiva e digital, que impedem a difusão ampla das tecnologias e restringem o potencial competitivo das pequenas e médias empresas.

Ao examinar cada categoria, evidencia-se que a digitalização industrial no Brasil depende não apenas de adoção tecnológica, mas de uma reestruturação sistêmica que envolva políticas públicas consistentes, estratégias empresariais de longo prazo e investimentos contínuos em capital humano e infraestrutura. O conjunto dos desafios aqui discutidos, portanto, não aponta apenas fragilidades, mas também caminhos possíveis para a construção de um ecossistema de inovação mais robusto, inclusivo e competitivo.

A seguir, apresenta-se uma análise das três categorias de desafios mais relevantes, a fim de melhor compreender o cenário enfrentado pelas indústrias brasileiras e os fatores que implicam para o avanço da Indústria 4.0 conforme os documentos da CNI. Para cada categoria discutida, são mencionados trechos vistos como os mais representativos.

6.3.1 Desafio 1: difusão das tecnologias

A difusão das tecnologias digitais constitui o cerne da Indústria 4.0, mas no Brasil esse processo é profundamente desigual e fragmentado. O relatório *A difusão das tecnologias da Indústria 4.0 em empresas brasileiras*” (Confederação [...], 2020a, p. 25) afirma que “a análise brasileira não se apropria de todas as vantagens de pertencer a um grande grupo empresarial industrial, no que diz respeito à difusão das tecnologias habilitadas da Indústria 4.0”.

Essa limitação reflete o que Schumpeter (1982) descrevia como o problema da difusão: a inovação só produz impacto econômico quando é amplamente disseminada. Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018) complementam que a difusão é contexto-dependente, e, no caso brasileiro, fatores como infraestrutura precária, desigualdade de renda e baixa escolarização tornam o processo essencialmente imitativo.

O problema é agravado no caso das pequenas e médias empresas, que, segundo o relatório *Indústria 2027* (Confederação [...], 2018d, p. 145), enfrentam um cenário em que:

[...] as dificuldades de adoção e difusão de novas tecnologias podem estar associadas ao desconhecimento e às limitações de recursos de muitos fabricantes [...] o quadro previsível é de distribuição da difusão restrita a uma parcela dos produtores, o que pode implicar mudanças nas estruturas de mercado, com o desaparecimento de muitas empresas e a destruição de patrimônio e investimentos.

Essa previsão coincide com a análise de Dosi (1988), que demonstra a forma como trajetórias tecnológicas cumulativas geram concentração industrial quando não há políticas públicas de inclusão produtiva. Gordon e Cassiolato (2019) ressaltam que, mesmo em políticas avançadas como o Plano Inova Empresa, o governo acabou deixando de estruturar uma política pública que fosse capaz de induzir mudanças no comportamento das empresas devido à falta de instrumentos eficazes de mitigação de risco e incerteza.

Por outro lado, em relação à customização da difusão tecnológica:

[...] destaca-se, portanto, uma grande diferenciação de situações ocorridas tanto entre as empresas que já adotaram algumas dessas tecnologias, como entre aquelas que ainda não iniciaram esse processo [...] essa configuração ressalta outra característica da difusão dessas tecnologias no setor industrial, que é a sua customização (Confederação [...], 2020a, p. 23).

Esse fator demonstra a coexistência de múltiplos ritmos de transformação. Essa heterogeneidade confirma o argumento de Freeman e Soete (2008) de que a difusão de General Purpose Technologies (GPTs) requer políticas de coordenação e aprendizado coletivo para que seus efeitos sejam amplos e equilibrados. Sem esse esforço, o avanço tecnológico tende a se concentrar em poucos setores e regiões, perpetuando o subdesenvolvimento tecnológico.

6.3.2 Desafio 2: desconhecimento das tecnologias digitais

Vale ressaltar, com respeito a este desafio, os textos que o indicam. Veja-se, por exemplo, este de 2016: “o uso de tecnologias digitais na indústria brasileira é pouco difundido. Do total das indústrias, 58% conhecem a importância dessas tecnologias para a competitividade da indústria e menos da metade as utiliza” (Confederação [...], 2016b, p. 1).

Esses dados indicam que o déficit de informação e capacitação tecnológica constitui um obstáculo central à transformação digital. Para Cassiolato e Lastres (2003), a inovação é um processo de aprendizado coletivo que depende de redes e instituições. No Brasil, a ausência de tais mecanismos de difusão gera assimetrias informacionais e mantém as empresas presas a paradigmas tecnológicos obsoletos.

Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018) explicam que a difusão tecnológica nacional se caracteriza por ser, essencialmente, um processo de imitação, no qual poucas empresas lideram e a maioria segue de forma tardia. Essa estrutura imitativa é agravada pela falta de formação técnica e pela distância entre universidades e setor produtivo. Mazzucato (2013) argumenta que a inovação tem mais sucesso quando há uma relação simbiótica entre os setores público e privado, o que pressupõe políticas de capacitação e compartilhamento de conhecimento.

O relatório *Indústria 4.0 Eleições 2018* (Confederação [...], 2018c) já apontava que o avanço da Indústria 4.0 no Brasil depende de conhecimento maior por parte das empresas dos ganhos da digitalização, incluindo produtividade e novos modelos de

negócio. A ausência dessa compreensão limita não apenas a adoção tecnológica, mas também a capacidade de formular estratégias de transformação digital. Cassiolato e Gordon (2019) mostram que políticas de fomento isoladas, sem articulação educacional e institucional, têm pouco efeito sobre a inovação efetiva.

O dado de que “apenas 7% das empresas utilizam 10 ou mais tecnologias digitais” (Confederação [...], 2022b, p. 7) indica uma fase inicial da digitalização industrial, marcada por adoção superficial e limitada à automação básica. Essa constatação está em consonância com a análise de Freeman e Soete (2008), segundo os quais a introdução de tecnologias de propósito geral, como as digitais, requer aprendizado organizacional e mudança cultural.

Do ponto de vista de Mazzucato (2021), isso implica repensar o papel do Estado não apenas como financiador, mas como promotor do conhecimento coletivo, capaz de orientar a sociedade para missões transformadoras de longo prazo. Sem essa base cognitiva, a Indústria 4.0 no Brasil continuará restrita a nichos, incapaz de promover o salto de produtividade e competitividade de que o país necessita.

6.3.3 Desafio 3: estrutura, cultura e gestão da empresa

A estrutura organizacional e a cultura corporativa das empresas brasileiras ainda representam barreiras significativas à transformação digital. O diagnóstico de 2016 já alertava que “as empresas que não adotarem as tecnologias digitais terão muita dificuldade de se manter competitivas e, conseqüentemente, no mercado” (Confederação [...], 2016b, p. 2).

Esse alerta corresponde ao que Freeman e Soete (2008) descrevem como o caráter disruptivo das tecnologias de propósito geral: elas não apenas elevam a produtividade, mas reconfiguram o modo de gestão e a própria lógica da concorrência. Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018) observam que, sem infraestrutura institucional adequada para o aprendizado tecnológico, as empresas de países periféricos não conseguem absorver plenamente as inovações, tornando-se dependentes de importação de conhecimento e tecnologia.

A transformação exigida é sintetizada no trecho: “[...] o cruzamento de informações que permite conectar o pedido de compra, a produção e a distribuição de forma autônoma [...] exigirá novas formas de gestão e engenharia em toda a cadeia produtiva” (Confederação [...], 2016a, p. 15). Isso indica a transição de modelos

hierárquicos para sistemas integrados e automatizados, que requerem competências de engenharia de dados e inteligência analítica. Mazzucato (2013) argumenta que o Estado deve apoiar essa transição, pois a inovação tem mais sucesso quando há uma relação simbiótica entre os setores público e privado. Assim, o desafio não é apenas técnico, mas cultural e institucional, exigindo o desenvolvimento de novas mentalidades empresariais voltadas à inovação contínua.

Essa dimensão comportamental é explicitada em:

[...] as características comportamentais das empresas são tão ou mais relevantes para o avanço na digitalização: o investimento em capacitação, o desenvolvimento e a implementação de estratégias de modernização digital no longo prazo [...] o futuro das empresas depende da disposição em investir em capacitação e desenvolver estratégias de adoção de tecnologias digitais (Confederação [...], 2018d, p. 68).

Cassiolato e Lastres (2005) entendem a inovação como um fenômeno social sustentado por aprendizado interativo, e não apenas por aquisição de equipamentos. Nesse sentido, a cultura empresarial voltada à adaptação de curto prazo, típica do contexto brasileiro, precisa dar lugar a estratégias de longo prazo orientadas por inovação, cooperação e aprendizado organizacional.

6.3.4 Uma breve síntese analítica das demais categorias referentes aos desafios

Embora as ocorrências dessas categorias tenham ficado abaixo do limiar de 9,84% previamente estabelecido na análise quantitativa, a elaboração de uma síntese analítica se justifica porque tais desafios, ainda que menos frequentes, revelam dimensões estruturais do processo de transição para a Indústria 4.0 no Brasil. Em termos sistêmicos, como sustentam Cassiolato e Lastres (2003, 2005), a compreensão de um Sistema Nacional de Inovação exige olhar para as interdependências entre infraestrutura, financiamento, qualificação e coordenação institucional, e não apenas para os fatores mais recorrentes. Do mesmo modo, a literatura internacional destaca que transformações tecnológicas profundas dependem de condições estruturais e institucionais cumulativas (Freeman, 1989; Dosi, 1988; Mazzucato, 2013, 2021). Assim, mesmo quando menos mencionadas, essas categorias permitem construir uma visão global dos entraves sistêmicos que condicionam a capacidade de absorção, implementação e difusão das tecnologias digitais na indústria brasileira.

O desafio da **infraestrutura produtiva** evidencia que a digitalização não corrige automaticamente deficiências estruturais da base industrial. Conforme assinala a *Carta da Indústria 4.0* (Confederação [...], 2018a), é necessário adotar previamente métodos como manufatura enxuta e produção mais limpa, pois “digitalizar gargalos produtivos potencializa os ganhos de produtividade” (Confederação [...], 2018a), o que implica reconhecer que a tecnologia amplia tanto virtudes quanto ineficiências existentes. Essa leitura encontra respaldo em Tortorella *et al.* (2018), que identificam a ausência de melhorias significativas quando há falhas de implementação e variáveis contextuais adversas. Assim, sem uma base produtiva racionalizada e eficiente, a incorporação de tecnologias digitais tende a amplificar distorções em vez de promover ganhos estruturais, revelando que a Indústria 4.0 depende de uma infraestrutura industrial previamente consolidada.

A **ausência de política industrial** surge como entrave estratégico, pois os próprios documentos empresariais reconhecem que cabe ao governo prover ambiente de negócios, infraestrutura adequada e instrumentos que direcionem o crescimento industrial (Confederação [...], 2018d). Essa lacuna é interpretada por Mazzucato (2013) como falha de visão estratégica, uma vez que o Estado não apenas corrige falhas de mercado, mas cria e molda mercados por meio de investimentos direcionados. A referência ao chamado “Custo Brasil” (Confederação [...], 2022b) reforça o caráter estrutural desse problema, que envolve tributação complexa, burocracia e insegurança jurídica. Cassiolato e Lastres (2003, 2005) e Gordon e Cassiolato (2019) defendem que políticas industriais devem integrar-se a um Sistema Nacional de Inovação articulado. A ausência de políticas de missão, como propõe Mazzucato (2021), agrava a incapacidade de alinhar investimentos públicos a desafios estratégicos como digitalização e transição energética.

A ausência de linhas de financiamento adequadas constitui obstáculo direto à modernização industrial, pois muitos investimentos em digitalização dependem de crédito específico e adaptado às novas tecnologias (Confederação [...], 2018c). A recomendação de que o BNDES adapte programas de fomento evidencia a necessidade de instrumentos financeiros compatíveis com riscos tecnológicos elevados.

A **falta de qualificação profissional** aparece como barreira transversal, sendo a limitação externa mais assinalada pelas empresas (Confederação [...], 2022b). A *Carta da Indústria 4.0* (2018a) reforça que manufatura avançada exige profissionais capazes de programar máquinas complexas e tomar decisões em tempo real. Cassiolato e Lastres

(2003) argumentam que sistemas de inovação dependem da integração entre políticas educacionais e estratégias industriais, enquanto Mazzucato (2013) sustenta que o investimento público em capital humano é central para sustentar ecossistemas inovadores. O déficit formativo, portanto, compromete a capacidade de absorção tecnológica e limita o avanço do país em segmentos intensivos em conhecimento, exigindo fortalecimento institucional e políticas de qualificação tecnológica.

O **alto custo de implementação** é apontado como principal barreira interna à adoção de tecnologias digitais (Confederação [...], 2022b), refletindo não apenas despesas de capital, mas também dificuldades de conversão de projetos-piloto em ganhos produtivos efetivos. Gregolinska *et al.* (2022) descrevem o fenômeno do “purgatório de pilotos”, no qual empresas experimentam tecnologias sem capturar plenamente seus benefícios. Kupfer (2016) observa que, em economias periféricas, a ausência de escala e de incentivos estatais eleva custos unitários das inovações, tornando o retorno mais incerto. Assim, o custo elevado articula-se a fragilidades estruturais e institucionais que limitam a consolidação da transformação digital.

A **infraestrutura digital insuficiente**, especialmente em telecomunicações e banda larga, é entrave crítico ao pleno funcionamento da Indústria 4.0 (Confederação [...], 2018c).

O desafio da **implementação e integração das tecnologias digitais** evidencia que a transição para a Indústria 4.0 é gradual e dependente da base tecnológica existente. Paula e Paes (2021) observam que a Indústria 4.0 envolve mais escalagem e integração de tecnologias disponíveis do que desenvolvimento radical, o que desloca o foco para a capacidade de conectar sistemas cyber-físicos, IoT e automação de forma coerente.

A **incerteza no investimento** decorre da dificuldade de mensurar retornos tecnológicos e da diferença de percepção entre empresas que investem e as que não investem (Confederação [...], 2018d).

A **concorrência entre projetos de investimento** reflete desigualdades estruturais de porte empresarial, pois empresas maiores possuem maior capacidade competitiva e acesso a recursos (Confederação [...], 2018d). Cassiolato e Lastres (2003, 2005) descrevem o sistema produtivo brasileiro como assimétrico e concentrado, no qual poucas firmas capturam instrumentos de fomento. A proposta de privilegiar empresas-âncora que integrem pequenas e médias empresas (Confederação [...], 2018c)

dialoga com a noção de Sistema Nacional de Inovação, ao enfatizar interações produtivas e institucionais como base para fortalecimento das capacidades locais.

Por fim, **o mercado despreparado** evidencia problema de maturidade sistêmica, pois a adoção tecnológica depende da capacidade de absorção de clientes e fornecedores (Confederação [...], 2022b). Ferreira, Ruffoni e Carvalho (2018) sustentam que, em economias periféricas, baixo nível educacional e restrições de renda limitam a difusão tecnológica. Assim, a Indústria 4.0 requer não apenas inovação empresarial, mas ecossistema socioeconômico alfabetizado tecnologicamente, capaz de sustentar cadeias produtivas complexas e interconectadas, consolidando a transformação digital como processo sistêmico, e não meramente empresarial.

6.3.5 Em síntese

Segue uma tabela-síntese (Tabela 5) acerca desta macrocategoria, com enfoque nas três categorias consideradas mais relevantes.

Tabela 5 – Tabela-síntese da macrocategoria Desafios

Categoria de Desafio	Peso (CNI)	Núcleo conceitual	Evidências (CNI)	Base teórica	Relações com as demais categorias	Síntese
Difusão das tecnologias	34 citações (17,62%) – mais citada	Barreira de capilaridade e disseminação: tecnologias existem, mas não chegam/ não se espalham no ritmo necessário, sobretudo entre PMEs.	A Difusão das Tecnologias da Indústria 4.0 (Confederação [...], 2020, p. 25): limitações na apropriação das vantagens de difusão. Indústria 2027 (Confederação [...], 2018c, p. 145): difusão pode ficar restrita a parcela dos produtores, com risco de desaparecimento de empresas. A Difusão (Confederação [...], 2020, p. 23): heterogeneidade e “customização” do processo de difusão.	Schumpeter (1988); Dosi (1988); Freeman; Soete (2008); Ferreira; Ruffoni; Carvalho (2018); Gordon; Cassiolato (2019).	Depende de reduzir o desconhecimento (informação/capacitação) para acelerar adoção. É condicionada por estrutura, cultura e gestão (governança, liderança, estratégia). Quando restrita, tende a ampliar assimetrias e a concentrar mercado (trajetórias cumulativas).	Desafio estruturante: sem difusão ampla, a Indústria 4.0 permanece concentrada e seus ganhos não se tornam sistêmicos.
Desconhecimento das tecnologias digitais	24 citações (12,44%)	Déficit informacional e de capacitação: empresas não compreendem	Sondagem (Confederação [...], 2016b, p. 1): 58% conhecem a importância, mas	Cassiolato; Lastres (2003, 2005); Freeman; Soete (2008);	Alimenta a baixa difusão (sem entendimento, não há adoção). Interação com cultura e gestão: mesmo com	Desafio cognitivo-institucional: sem aprendizado coletivo e

		plenamente o que adotar, por que adotar e como capturar retornos.	menos da metade utiliza. Sondagem Especial (Confederação [...], 2022b, p. 7): apenas 7% utilizam 10 ou mais tecnologias digitais.	Ferreira; Ruffoni; Carvalho (2018); Mazzucato (2013; 2021); Gordon; Cassiolato (2019).	informação, sem estratégia de longo prazo, a adoção é superficial. Reforça assimetrias entre firmas (líderes vs. seguidoras) em dinâmica imitativa.	capacitação, a digitalização tende a ficar em níveis iniciais e fragmentados.
Estrutura, cultura e gestão da empresa	19 citações (9,84%)	Barreiras organizacionais: ausência de liderança, governança, processos e cultura orientados a dados e inovação; exigência de novas formas de gestão na cadeia.	Sondagem (Confederação [...], abr. 2016b, p. 2): empresas que não adotarem terão dificuldade de manter competitividade. Desafios para Indústria 4.0 no Brasil (Confederação [...], 2016a, p. 15): integração autônoma de pedido-produção-distribuição exigirá novas formas de gestão. Indústria 2027 (Confederação [...], 2018c, p. 68): características comportamentais e	Freeman; Soete (2008); Cassiolato; Lastres (2005); Ferreira; Ruffoni; Carvalho (2018); Mazzucato (2013).	Condiciona a difusão interna: sem governança e estratégia, tecnologias não se enraízam. Aumenta o desconhecimento prático (saber fazer/organizar) mesmo quando há consciência da importância. Define capacidade de absorção e integração sistêmica (cadeia de valor).	Desafio organizacional: a Indústria 4.0 é agenda de mudança; sem cultura e gestão adequadas, investimento vira adoção parcial.

			capacitação/estratégia de longo prazo são decisivas.			
--	--	--	--	--	--	--

Fonte: Elaboração própria (2026).

6.4 SÍNTESE GERAL DAS ANÁLISES

Viu-se neste capítulo que a leitura dos textos da CNI convergiu para um quadro de obstáculos interdependentes à implementação da Indústria 4.0 no Brasil e que tais obstáculos se distribuem em eixos bem definidos; além disso, tomados em conjunto, eles explicam a lentidão da difusão tecnológica e a dificuldade de transformar pilotos em ganhos sustentáveis de produtividade e competitividade.

Em termos econômicos imediatos, sobressaem o alto custo de implantação, a ausência de linhas de financiamento e a incerteza no investimento, elementos que funcionam como filtros de entrada: sem crédito adequado, instrumentos de mitigação de risco e previsibilidade, a modernização digital tende a ser postergada ou fragmentada, sobretudo entre pequenas e médias empresas.

Também se evidenciou que a dimensão institucional e sistêmica é decisiva: a ausência (ou insuficiência) de política industrial coordenada, combinada à concorrência entre projetos de investimento que privilegia urgências regulatórias e operacionais em detrimento da modernização tecnológica, produz um ambiente de curto-prazismo. Esse arranjo reforça as assimetrias estruturais do sistema produtivo e limita o alcance das iniciativas pontuais. Em outras palavras, quando financiamento, compras públicas, qualificação e apoio à adoção não estão alinhados por uma estratégia de longo prazo, a difusão das tecnologias digitais permanece lenta, setorialmente concentrada e regionalmente desigual.

No plano das capacidades e da organização interna das firmas, verificou-se que desconhecimento das tecnologias digitais, difusão desigual, estrutura, cultura e gestão pouco orientadas a dados e falta de qualificação profissional formam um bloco de barreiras “internas” que impedem converter investimento em resultado.

A adoção parcial, a baixa integração entre TI e chão de fábrica e a carência de competências para operar sistemas cyber-físicos e analítica avançada explicam por que muitas empresas permanecem em estágios iniciais, com automações isoladas e retornos difusos. Nesse sentido, implementação e integração das tecnologias digitais aparecem menos como compra de equipamentos e mais como mudança organizacional, de processos e de pessoas.

Por fim, ficou claro que as condições de base continuam limitantes: infraestrutura produtiva deficiente e infraestrutura digital insuficiente (banda larga e redes móveis) comprimem a escala e a velocidade de adoção, enquanto um mercado ainda não preparado (clientes e fornecedores) reduz os incentivos para a transformação ao longo das cadeias. O

resultado é um círculo vicioso: baixa difusão gera baixa produtividade, que restringe margens para investir, o que, por sua vez, perpetua a defasagem tecnológica e a dependência de nichos mais capitalizados.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta dissertação teve como principal objetivo analisar os documentos da CNI relacionados aos desafios e às oportunidades da Indústria 4.0 entre 2016 e 2022 no país. No contexto brasileiro, a CNI atua como um agente intermediário estratégico e ativista institucional, buscando sensibilizar o empresariado e influenciar o Estado na formulação de políticas industriais que apoiem a modernização tecnológica da indústria brasileira.

Para atingir os objetivos apresentados, utilizou-se a metodologia de Análise de Conteúdo de Laurence Bardin, tendo o software ATLAS.ti a fim de garantir o rigor científico, transparência e rastreabilidade ao processo analítico. O uso do software possibilitou a codificação de um corpus documental composto por 12 publicações oficiais, contribuindo significativamente para as etapas de pré-análise, exploração do material, construção e refinamento de códigos e categorias, além do tratamento e interpretação dos resultados.

Por meio do uso do ATLAS.ti, foram identificadas 403 ocorrências, das quais 52,11% correspondiam às oportunidades e 47,89% aos desafios relacionados à Indústria 4.0. Esses resultados indicam que a CNI considera a transformação digital da indústria em curso como uma “janela histórica” de oportunidades para o desenvolvimento econômico e tecnológico do Brasil, embora os gargalos estruturais sejam vistos como um obstáculo à inserção brasileira nesse novo paradigma produtivo.

No campo das oportunidades, as categorias de oportunidades mais relevantes foram "Inovação de produtos e serviços" (19,5%), a de maior relevância nos documentos da CNI. Na teoria de Schumpeter, essa categoria reflete o ciclo de "destruição criadora", em que a criação de bens sofisticados e conectados reconfigura modelos de negócio e gera valor agregado. A segunda categoria mais relevante foi o "Aumento da produtividade" (12,8%) e a terceira foi "Aumento da eficiência na produção" (12,3%), que aparecem como pilares operacionais para reverter a defasagem industrial brasileira. E essas categorias podem ressoar nos diagnósticos da CNI ao projetar ganhos de eficiência, embora os dados indiquem que, no Brasil, o avanço é predominantemente incremental, focado no aperfeiçoamento de processos existentes.

As categorias de desafios, a "Difusão tecnologias" (17,62%) foi a categoria mais relevante, indicando que as inovações existentes globalmente não possuem capilaridade para chegar ao chão de fábrica, sobretudo nas pequenas e médias empresas (PMEs). Soma-se a isso o "desconhecimento das tecnologias" (12,44%) e as limitações de "estrutura, cultura e gestão da empresa" (9,84%), evidenciando que o entrave é, antes de tudo, cognitivo e organizacional.

Desta forma, a difusão tecnológica, reafirmando a visão dos autores como Ferreira, Ruffoni e Carvalho, é “contexto-dependente”, sendo esta a explicação para o fato de a realidade brasileira se caracterizar por um processo imitativo limitado pela infraestrutura precária.

Embora a CNI seja mais otimista sobre a implantação da indústria 4.0 no país, existe uma contradição latente com a realidade de uma capacidade absorptiva limitada no tecido produtivo brasileiro. Sem uma coordenação sistêmica que garanta o que Mazzucato define como “financiamento paciente” e sem avanços robustos na infraestrutura digital e educacional, o país corre o risco de permanecer em um estágio de adoção parcial e fragmentada. A análise

Conclui-se, portanto, dos documentos analisados sobre os desafios e oportunidades sob a visão da CNI, que o Brasil exige uma reconfiguração institucional profunda. O trabalho reforça que a inovação só se converte em desenvolvimento quando é amplamente assimilada pelo tecido produtivo. Dessa forma, a transformação da indústria brasileira para a Indústria 4.0 necessita de uma coordenação aproximada entre a CNI e o Estado, através de políticas orientadas por missões, capazes de reduzir riscos e avançar na infraestrutura digital e educacional necessária.

É importante ressaltar que o trabalho apresenta limitações inerentes à sua metodologia e ao recorte empírico seguido, tendo em vista que adotou a análise de documentos da CNI e não incluiu como pesquisa, por exemplo, a percepção de outros atores importantes do ecossistema de inovação. Propõe-se uma agenda de pesquisa futura, com a ampliação do escopo analítico e outros agentes, bem como uma pesquisa comparativa internacional que permita avançar na compreensão das transformações da Indústria 4.0, incluindo a agenda para a Indústria 4.0 conforme a CNI.

8 REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E. Revoluções Tecnológicas e General Purpose Technologies. *In*: RAPINI, M. S. *et al.* (Orgs.). **Economia da ciência, tecnologia e inovação**: fundamentos teóricos e economia global. Belo Horizonte: CEDEPLAR/FACE/UFMG, 2017. p.53 -83.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.
- BORRÁS, S.; EDQUIST, C. The choice of innovation policy instruments. **Technological Forecasting and Social Change**, [s. l.], v. 80, n. 8, p. 1.513-1522, 2013. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040162513000504>. Acesso em: 3 maio 2024.
- BRASIL, H. G.; NOGUEIRA, M.; FORTE, S. H. A. C. Inovação tecnológica e teoria schumpeteriana: contribuições para o desenvolvimento econômico. **Revista de Administração e Inovação**, São Paulo, 2011.
- BRAUDEL, F. O capitalismo. BRAUDEL, F. (Org.). Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1989.
- CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. M. **O foco em arranjos produtivos e inovativos locais de micro e pequenas empresas**. Rio de Janeiro: RedeSist/UFRJ, 2003.
- CASSIOLATO, J. E.; LASTRES, H. M. Sistemas de inovação e desenvolvimento: as implicações da política. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 34-45, 2005.
- CAVALCANTE, A.; RAPINI, M. S.; LEONEL, S. G. Financiamento da inovação: uma proposta de articulação entre as abordagens pós-keynesiana e neo-schumpeteriana. *In*: RAPINI, M. S.; RUFFONI, J.; SILVA, L.; ALBUQUERQUE, E. M. (Orgs.). **Economia da ciência, tecnologia e inovação**: fundamentos teóricos e a economia global. Belo Horizonte: Cedeplar, 2021.
- CHANDLER, A. D. Jr. **Ensaio para uma teoria histórica da grande empresa**. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1997.
- CHIARINI, T. *et al.* The Political Economy of Innovation: Why is Brazil Stuck in the Technology Ladder? **Brazilian Political Science Review**, [s. l.], v. 14, n. 2, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bpsr/a/9kN6Tjx5w4NMYR5zSDtPLwr/abstract/?lang=en>. Acesso em: 15 maio 2026.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **A difusão das tecnologias da Indústria 4.0 em empresas brasileiras**. Brasília: CNI, 2020a.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Carta da Indústria 4.0**. Brasília: CNI, 2018a.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016a.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria 4.0 e Digitalização da Economia**. Brasília: CNI, 2018b. (Propostas da Indústria para as Eleições de 2018, v. 32).

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria 4.0**: oportunidades e desafios para o Brasil. Brasília: CNI, 2020b.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria 4.0**: uma agenda para o Brasil. Brasília: CNI, 2018c.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria 2027**: riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas. Brasília: CNI, 2018d.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Investimentos na Indústria 4.0**. Brasília: CNI, 2018e.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Mapa estratégico da Indústria 2018–2022**. Brasília: CNI, 2018f.

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

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Proposta da Indústria para Eleições 2022**. Brasília: CNI, 2022a.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Proposta para retomada da indústria e geração de empregos**. Brasília: CNI, 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Sondagem Especial nº 66**: Indicadores Indústria 4.0. Brasília: CNI, 2016b.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Sondagem Especial nº 83**: Indicadores Indústria 4.0. Brasília: CNI, 2022b.

DALLA VALLE, P. R.; FERREIRA, J. de L. Análise de conteúdo na perspectiva de Bardin: contribuições e limitações para a pesquisa qualitativa em educação. **SciELO Preprints**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/7697>. Acesso em: 20 maio 2024.

DIEGUES, A. C. *et al.* **Indústria 4.0 e a reorganização das cadeias globais de valor**: impactos e desafios para o Brasil. Campinas: Instituto de Economia da UNICAMP, 2022.

DIEGUES, A. C.; ROSELINO, J. E. Política industrial, tecno-nacionalismo e indústria 4.0: a guerra tecnológica entre China e EUA. **Textos para Discussão**, Campinas, n. 401, 2021.

DOSI, G. **Mudança técnica e transformação industrial**: a teoria e uma aplicação à indústria dos semicondutores. Campinas: Editora da UNICAMP, 2006.

DOSI, G. The nature of the innovative process. *In*: DOSI, G. *et al.* (Eds.). **Technical change and economic theory**. London: Pinter, 1988. p. 221-238.

FARIA, C. E. de. **O papel da Confederação Nacional da Indústria na política industrial brasileira (1938–2014)**. 2016. Tese (Doutorado em Desenvolvimento, Sociedade e Cooperação Internacional) – Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

FERREIRA, J. L.; RUFFONI, J.; CARVALHO, A. M. Dinâmica da difusão de inovações no contexto brasileiro. **Revista Brasileira de Inovação**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 175-200, 2018.

FREEMAN, C. The national system of innovation in historical perspective. **Cambridge Journal of Economics**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 5-24, 1989.

FREEMAN, C.; LOUÇÃ, F. **As time goes by: from the Industrial Revolution to the Information Revolution**. New York: Oxford University Press, 2001.

FREEMAN, C.; SOETE, A. **Economia da inovação industrial**. Campinas: Editora Unicamp, 2008.

FURTADO, A. Difusão tecnológica: um debate superado? *In*: PELAEZ, V.; SZMRECSÁNYI, T. **Economia de inovação tecnológica**. São Paulo: Hucitec, 2006. p. 168-192.

GILLIES, J.; CAILLIAU, R. **How the Web Was Born: The Story of the World Wide Web**. Oxford: Oxford University Press, 2000.

GORDON, J. L.; CASSIOLATO, J. E. O papel do Estado na Política de Inovação a partir dos seus instrumentos: uma análise do plano INOVA Empresa. **Revista de Economia Contemporânea**, [s. l.], v. 23, n. 3, 2019.

GOSCIOLA, V. **Roteiro para as novas mídias: do game à TV interativa**. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2003.

GREGOLINSKA, E. *et al.* Capturing the true value of Industry 4.0. **McKinsey & Company**, [s. l.], 13 abr. 2022. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/capturing-the-true-value-of-industry-four-point-zero> Acesso em: 8 nov. 2025.

GREENSTEIN, Shane. **How the Internet Became Commercial: Innovation, Privatization, and the Birth of a New Network**. Princeton: Princeton University Press, 2015.

GUIMARÃES, M. L. **Cultura organizacional e inovação: um estudo em pequenas empresas de Bragança Paulista**. Campo Limpo Paulista: Faculdade de Campo Limpo Paulista, 2016.

HALL, B. H. **Innovation and diffusion**. Cambridge, MA: The National Bureau of Economic Research, 2004.

HOBBSAWM, E. **A Era do Capital: 1848-1875**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Indústria 4.0: desafios e oportunidades para o Brasil**. São Paulo: IEDI, 2018.

KAGERMANN, H. *et al.* Manufacturing flexibility through Industry 4.0 technological concepts – impact and assessment. **Global Journal of Flexible Systems Management**, [s. l.], v. 24, n. 2, p. 271-289, 2023.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0**. Frankfurt: Acatech, 2013.

KREIN, J. D.; VÉRAS DE OLIVEIRA, R.; FILGUEIRAS, V. A. (Orgs.) **Reforma Trabalhista no Brasil: promessas e realidade**. Campinas, SP: Curt Nimuendajú, 2019.

KUPFER, D.; HASENCLEVER, L. (Orgs.). **Economia industrial: fundamentos teóricos e práticos no Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

KUPFER, D. Indústria 4.0 Brasil. **Valor Econômico**, [s. l.], 2016. Disponível em: <https://valor.globo.com/opiniao/coluna/industria4-0-brasil.ghtml>. Acesso em: 8 nov. 2025.

LEE, K.; MALERBA, F. The fourth industrial revolution, changing global value chains and industrial upgrading in emerging economies. **Journal of Economic Policy Reform**, [s. l.], v. 23, n. 4, p. 359-370, 2020.

MAZZUCATO, M. **Mission-Oriented Research & Innovation in the European Union: a problem-solving approach to fuel innovation-led growth**. Brussels: European Commission, 2018.

MAZZUCATO, M. Políticas de inovação orientadas para missões: desafios e oportunidades. **Mudança Industrial e Corporativa**, [s. l.], v. 27, n. 5, p. 805-815, 2021.

MAZZUCATO, M.; SEMIEUNIK, G. Public financing of innovation: New questions. **Oxford Review of Economic Policy**, [s. l.], v. 33, n. 1, 2017, p. 24-48, 2017.

MAZZUCATO, M. **The Entrepreneurial State**. Londres: Demos, 2013.

MIKHAILOV, A.; REICHERT, F. Influência da capacidade absorvente sobre inovação: uma revisão sistemática de literatura. **Revista de Administração Mackenzie**, [s. l.], v. 20, n. 6, 2019. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ram/a/VxWQsfVLwkMJQj9bJyvLjLp/?lang=pt>. Acesso em: 28 jul. 2024.

MORAES, R. Análise de conteúdo. **Revista Educação**, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.

MOWERY, D. C.; ROSENBERG, N. **Trajetórias da inovação: a mudança tecnológica nos Estados Unidos da América no século XX**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2005.

MUNGUIA, O.; LLEWELLYN, R. The adopters versus the technology: which matters more when predicting or explaining adoption? **Applied Economics Perspectives and Policy**, v. 42, n. 1, p. 80-91, 2019.

NEVES, M. L. C. *et al.* Inovação orientada por missão: perspectivas para o setor público a partir de revisão de literatura. **Revista do Serviço Público (RSP)**, Brasília, v. 74, n. 4, p. 869-889, 2023. Disponível em: <https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/article/view/10008/6947>. Acesso em: 6 maio 2024.

PAULA, A. P. P. de; PAES, K. D. Fordismo, pós-fordismo e ciberfordismo: os (des)caminhos da Indústria 4.0. **Cadernos EBAPE**, [s. l.], v. 19, n. 4, 2011.

POCHMANN, M. Sindicalismo patronal brasileiro: auge e declínio. **Revista São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 104-117, 1998. Disponível em: http://produtos.seade.gov.br/produtos/spp/v12n01/v12n01_13.pdf. Acesso em: 6 ago. 2024.

PROCÓPIO, D. P. *et al.* Fatores associados à adoção de tecnologia no setor agropecuário. **Revista Eletrônica de Administração**, [s. l.], v. 30, n. 1, 2024.

RAO, H. Institutional activism in the early American automobile industry. **Journal of Business Venturing**, Nova York, v. 19, n. 3, p. 359-384, 2004.

RHEINGOLD, H. **A comunidade virtual**: homesteading on the electronic frontier. Lisboa: Gradiva, 1996.

ROGERS, E. M. **Diffusion of innovations**. New York: The Free Press, 1962.

SANTANA, J. R.; TEIXEIRA, A. L. S.; RAPINI, M. S.; ESPERIDIÃO, F. Financiamento público à inovação no Brasil: contribuição para uma distribuição regional mais equilibrada? **Revista Planejamento e Políticas Públicas**, [s. l.], v. 52, p. 355-387, 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/796>. Acesso em: 25 jul. 2024.

SANTOS, A. B. A.; FAZION, C. B.; MEROE, G. P. S. Inovação: um estudo sobre a evolução do conceito de Schumpeter. **Caderno de Administração**, [s. l.], v. 5, n. 1, 2011. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/caadm/article/view/9014/6623> Acesso em: 14 out. 2025.

SCHAFFER, G. “Revolução Industrial (2º fase)”, 2015. Disponível em: <https://schafergabriel.blogspot.com/2015/02/revolucao-industrial-2-fase.html>. Acesso em: 5 jun. 2025.

SCHUMPETER, J. A. **A teoria do desenvolvimento econômico**: uma investigação sobre lucros, capital, crédito, juros e o ciclo econômico. Coleção Os Economistas. São Paulo. Abril Cultural, 1982 [1911; 1912; 1985].

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do Desenvolvimento Econômico**. São Paulo: Editora Nova Cultural, 1988.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: EdiPRO, 2016a.

SCHWAB, K. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. **World Economic Forum**, [s. l.], 14 jan. 2016b. Disponível em: <https://www.weforum.org/stories/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>. Acesso em: 15 maio 2026.

SILVA, M. C. **O Novo Perfil de Trabalhadores para a Indústria 4.0**: Exigências Cognitivas e Organizacionais. [S. l.: s. n.], 2018.

SOUSA, R. de. **A Segunda Revolução Industrial e suas transformações tecnológicas**. 2016. Disponível em: . [Segunda Revolução Industrial: causas e consequências](#) Acesso em: 16 jul.2025.

TAVARES, Maria da Conceição. **Da substituição de importações ao capitalismo financeiro**. Rio de Janeiro: Zahar, 2019.

TEIXEIRA, A. L. S.; RAPINI, M. S. Coordenador de políticas econômicas para superar o ciclo vicioso de uma capacidade de absorção limitada: reflexões a partir do Brasil. *In*:

ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA INDUSTRIAL E INOVAÇÃO, 6., v. 1, maio 2022. **Proceedings** [...]. [S. l.], 2022a.

TEIXEIRA, A.; RAPINI, M. S. **Políticas orientadas por missões e sistemas de inovação: desafios para o desenvolvimento brasileiro**. Brasília: IPEA, 2022b.

TIGRE, P. B. **Gestão da Inovação: a economia da tecnologia no Brasil**. São Paulo: Campus, 2006.

TORTORELLA, G. L. *et al.* Implementação da produção enxuta e Indústria 4.0 em empresas brasileiras de manufatura. **Revista Empreender e Inovar**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1-18, 2018.

TORTORELLA, G. L.; FETTERMANN, D. Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2.975-2.987, 2018.

VALLE, P. R. D.; FERREIRA, J. de L. Análise de conteúdo na perspectiva de Bardin: contribuições e limitações para a pesquisa qualitativa em educação. **SciELO Preprints**, [s. l.], 2024. DOI: 10.1590/SciELOPreprints.7697. Disponível em: <https://preprints.scielo.org/index.php/scielo/preprint/view/7697>. Acesso em: 9 set. 2024.

VARGAS, E. R. de; ZAWISLAK, P. A.; ALVES, A. **Gestão da inovação: teoria e prática para a competitividade**. Porto Alegre: Bookman, 2023.

VARGAS, M. *et al.* Análise de produção científica sobre política de inovação: uma perspectiva schumpeteriana de inovação. **Brazilian Journal of Information Science: research trends**, [s. l.], v. 17, 2023.

WOLFFENBÜTTEL, R. Políticas setoriais e inovação: pacotes e incentivos ao automóvel elétrico no Brasil. **Revista Brasileira de Inovação**, [s. l.], n. 21, 2022.

ZAWISLAK, P. A. *et al.* **Gestão da inovação e desenvolvimento organizacional**. Porto Alegre: Bookman, 2018.