

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS

LETÍCIA TEODORO PEREIRA

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO BRASIL: ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO E DAS
BARREIRAS EMPRESARIAIS PÓS-2022**

Uberlândia - MG

2025

LETÍCIA TEODORO PEREIRA

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO BRASIL: ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO E DAS
BARREIRAS EMPRESARIAIS PÓS-2022**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Economia e Relações
Internacionais da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial à obtenção
do título de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientadora: Profª. Dra. Ana Paula Macedo de
Avellar

Uberlândia - MG

2025

LETÍCIA TEODORO PEREIRA

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO BRASIL: ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO E DAS
BARREIRAS EMPRESARIAIS PÓS-2022**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Economia e Relações
Internacionais da Universidade Federal de
Uberlândia como requisito parcial à obtenção
do título de bacharel em Ciências Econômicas.

Uberlândia, 22 de agosto de 2025

Banca Examinadora:

Prof.a Dra. Ana Paula Macedo de Avellar
(Orientadora)

Prof. Dr. Germano Mendes de Paula

Prof. Dr. Cássio Garcia Ribeiro Soares da Silva

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, dedico este trabalho aos meus pais, Mara Teodoro e Cires Pereira. Minha eterna gratidão pelo apoio incondicional, amor, educação, por me incentivarem a estudar desde cedo e por me permitirem fazer minhas próprias escolhas. Vocês são grandes inspirações para mim e sem o incentivo e suporte que me deram durante toda a minha vida, eu não conquistaria tudo que conquistei.

Agradeço ao meu namorado, João Pedro Menezes, que esteve ao meu lado desde o primeiro período, vivendo cada fase da faculdade e me incentivando continuamente. Obrigada por celebrar minhas conquistas e estar comigo nos momentos desafiadores.

Expresso também minha gratidão a todos os professores que contribuíram para a minha formação e conhecimento.

Em especial, à professora Ana Paula Macedo de Avellar, minha profunda gratidão. Sua orientação foi essencial para a realização deste trabalho, e suas valiosas contribuições na área de Economia Industrial foram fundamentais para a minha jornada acadêmica. Agradeço à banca examinadora, ao professor Germano Mendes de Paula, por lecionar a disciplina de Análise e Elaboração de Projetos, um grande desafio e aprendizado, e por transmitir importantes ensinamentos, e ao professor Cassio Garcia Ribeiro, por suas aulas ministradas e pelos estudos de caso que transformaram a teoria em prática. Agradeço também a Marisa dos Reis Azevedo Botelho, cuja excelente didática em Economia da Tecnologia consolidou a base teórica essencial para minha trajetória acadêmica. Por fim, minha gratidão à Michelle Polline e à Soraia Aparecida pelas valiosas aulas ministradas que contribuíram para a minha formação.

Por fim, agradeço à minha família, amigos e colegas de classe por todo o apoio e por tornarem esta jornada mais leve.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo analisar a dinâmica da adoção da Inteligência Artificial (IA) no cenário empresarial brasileiro, bem como identificar algumas barreiras que têm dificultado sua implementação desde 2022. O estudo se estrutura sobre o arcabouço teórico das abordagens Schumpeteriana e Neo-Schumpeteriana, as quais contextualizam a inovação como motor do crescimento econômico e determinante da competitividade. Além disso, a revisão de literatura também inclui a origem, os conceitos, os paradigmas e a difusão da IA posicionando-a como um elemento-chave na Era da Informação. A metodologia da pesquisa articula a revisão bibliográfica sobre inovação e difusão tecnológica com pesquisas documentais como TIC Empresas 2023 do Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (CETIC) e PINTEC Semestral 2022 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A partir destes, realiza-se a análise de dados secundários para delinear os cenários brasileiro e mundial da IA e, com isso, examinar o uso da tecnologia com foco na indústria de transformação. Dentre os resultados encontrados, o estudo revela que a adoção da IA no Brasil é incipiente e heterogênea. A aplicação geral da tecnologia permanece limitada, mesmo em setores com maior incorporação tecnológica, o que indica um descompasso em relação às economias mais avançadas. Essa lacuna é atribuída às barreiras e aos desafios similares aos observados globalmente, como os altos custos de implementação e a escassez de capital humano qualificado. Contudo, a superação desses obstáculos no Brasil é mais complexa, dada a fragilidade de seu Sistema Nacional de Inovação e a trajetória histórica de baixo investimento tecnológico. Diante deste cenário, a presente pesquisa ressalta a importância de ações estratégicas para transpor este hiato, destacando a necessidade de incentivos à inovação, à formação de mão de obra especializada e ao fortalecimento de parcerias público-privadas.

Palavras-chave: inteligência artificial; difusão tecnológica; indústria brasileira.

ABSTRACT

This study aims to analyze the dynamics of Artificial Intelligence (AI) adoption in the Brazilian business landscape, as well as to identify some of the barriers that have hindered its implementation since 2022. The study is structured on the theoretical framework of the Schumpeterian and Neo-Schumpeterian approaches, which contextualize innovation as a driver of economic growth and a determinant of competitiveness. Furthermore, the literature review also includes the origin, concepts, paradigms, and diffusion of AI, positioning it as a key element in the Information Age. The research methodology combines a literature review on innovation and technological diffusion with documentary research from sources such as the TIC Empresas 2023 survey from the Regional Center for Studies for the Development of the Information Society (CETIC) and the PINTEC Semestral 2022 from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE). From these, a secondary data analysis is conducted to outline the Brazilian and global AI scenarios, thereby examining the use of the technology with a focus on the manufacturing industry. Among the results, the study reveals that AI adoption in Brazil is incipient and heterogeneous. The general application of the technology remains limited, even in sectors with greater technological incorporation, which indicates a gap in relation to more advanced economies. This gap is attributed to barriers and challenges similar to those studied globally, such as high implementation costs and a shortage of qualified human capital. However, overcoming these obstacles in Brazil is more complex, given the fragility of its National Innovation System and a historical trajectory of low technological investment. Given this scenario, this research highlights the importance of strategic actions to bridge this gap, emphasizing the need for innovation incentives, specialized labor training, and the strengthening of public-private partnerships.

Keywords: artificial intelligence; technological diffusion; Brazilian industry.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Adoção de Inteligência Artificial por países ao redor do mundo entre 2023 e 2024 (em %)	34
Gráfico 2 - Número de novas companhias de IA fundadas por área geográfica em 2023	35
Gráfico 3 - Investimento Privado Total em IA no mundo entre 2013 e 2024 (em Bilhões de Dólares)	36
Gráfico 4 - Utilização da IA por função e tipo de indústria nas empresas mundiais em 2022 (em % de utilização)	39
Gráfico 5 - Benefício do uso da IA ao redor do mundo (em %)	41
Gráfico 6 - Riscos do uso da IA ao redor do mundo (em %)	43
Gráfico 7 - Barreiras enfrentadas pelas empresas para adotar IA em 2025 (em %).....	44
Gráfico 8 - Comparação por porte do uso de IA pelas empresas brasileiras em 2021 e 2023 (em %)	47
Gráfico 9 - Utilização de IA por porte e tipo de aplicação por empresas brasileiras em 2023 (em número de empresas).....	48
Gráfico 10 - Tecnologias avançadas mais utilizadas pela indústria de transformação em 2022 (em %)	49
Gráfico 11 - Número de indústrias brasileiras que utilizaram tecnologias avançadas e IA dentre o número total de empresas em 2022	50
Gráfico 12 - Dentre as atividades industriais, porcentagem (%) das que mais utilizaram Inteligência Artificial em 2022.....	52
Gráfico 13 – Percentual de empresas da Indústria de Transformação que utilizaram Inteligência Artificial por áreas de negócio em 2022 (em %).....	52
Gráfico 14 - Número de empresas que utilizaram Inteligência Artificial por área de negócio dos 3 setores que mais a utilizaram em 2022	53
Gráfico 15 - Benefícios obtidos pela Indústria da Transformação pelo uso de Tecnologias Avançadas em 2022 (em %).....	54
Gráfico 16 - Número de empresas que adotaram tecnologias digitais avançadas na indústria de transformação considerando os fatores que contribuíram para essa adoção em 2022 (em %)	55
Gráfico 17 - Fatores que dificultaram adoção das tecnologias digitais avançadas por empresas brasileiras em 2022 (em %).....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DAI	Digital Adoption Index
DBT	Digital Based Technology
IA	Inteligência Artificial
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IoT	Internet das Coisas
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
SNI	Sistema Nacional de Inovação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
UNCTAD	United Nations Conference On Trade And Development
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	10
CAPÍTULO 1: DINÂMICA TECNOLÓGICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA	13
1.1.Fundamentos Teóricos da Inovação e sua Relevância para a Competitividade das Firms: Uma Perspectiva Schumpeteriana e Neo-Schumpeteriana	13
1.2.Revoluções Tecnológicas e Mudanças de Paradigmas: Contextualizando a Inovação na Economia Contemporânea	16
1.3.Inteligência Artificial: Bases Conceituais, Trajetória Histórica e sua Inserção e Difusão na Era da Informação.....	20
1.4.Padrões de Inovação: A Heterogeneidade da Adoção Tecnológica, mediante contribuições de taxonomias setoriais e locacionais	27
CAPÍTULO 2: INOVAÇÃO E IA: EVIDÊNCIAS PARA O MUNDO	32
2.1.Panorama global da Inteligência Artificial: adoção e desafios.....	32
2.2.Uso, Difusão e Benefícios Percebidos da Inteligência Artificial em Escala Global	38
2.3.Desafios e Obstáculos à Implementação da Inteligência Artificial Globalmente	42
CAPÍTULO 3: INOVAÇÃO E IA: EVIDÊNCIAS PARA O BRASIL.....	46
3.1.Padrões de Adoção e Utilização da Inteligência Artificial no Cenário Empresarial Brasileiro.....	46
3.2.Benefícios Percebidos da Inteligência Artificial por Empresas Brasileiras	54
3.3.Desafios e Barreiras à Adoção da Inteligência Artificial por Empresas Brasileiras	56
3.4 Potencialidades e Aplicações da IA no Cenário Empresarial Brasileiro.....	58
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	60
5. REFERÊNCIAS.....	64
ANEXO A – Definições Tecnologias avançadas	68

INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) está se consolidando como uma das forças mais disruptivas e transformadoras do cenário econômico global, abrangendo desde a otimização de processos operacionais e a personalização da experiência do cliente até a redefinição de cadeias de valor e a emergência de modelos de negócios inteiramente novos. Nesse âmbito, ela, impulsionada por avanços exponenciais em poder computacional, volume de dados e algoritmos sofisticados, reconfigurou profundamente os paradigmas produtivos e organizacionais e constitui um vetor indispensável à inovação e à sustentabilidade competitiva das firmas no século XXI.

Entretanto, a absorção e o impacto dessa tecnologia não se manifestam de maneira homogênea, revelando significativas assimetrias entre nações e setores produtivos. Em economias emergentes, a exemplo do Brasil, a adoção de IA apresenta um panorama ainda mais complexo e multifacetado, moldado por fatores estruturais, institucionais e características intrínsecas do tecido empresarial. A compreensão dessa dinâmica no Brasil, especificamente a partir de 2022 – um período pós-pandêmico que intensificou a digitalização e a urgência por inovação –, revela-se crucial para a identificação de desafios e ao aproveitamento de oportunidades para o desenvolvimento econômico e a competitividade nacional. Diante desse cenário de transformações globais e da capacidade da Inteligência Artificial em redefinir a dinâmica competitiva, este estudo tem o propósito de compreender a seguinte questão central: Qual é o panorama de utilização da Inteligência Artificial em empresas brasileiras a partir de 2022 e quais são as principais barreiras que limitam sua difusão?

A relevância deste estudo transcende a mera identificação de tendências de adoção, pois ele se justifica pela necessidade urgente de superar as barreiras que acompanham a crescente difusão da IA. Isso ocorre, haja vista o fato de que o impacto dessa tecnologia, que vai além da automação e influencia profundamente a produtividade e a estratégia das empresas, é dificultado por fatores que criam lacunas críticas para que o Brasil maximize seu potencial de crescimento e desenvolvimento. Nesse sentido, o presente trabalho busca destacar essas barreiras, que contribuem para a heterogeneidade observada em sua aplicação no país. A análise das assimetrias digitais e a comparação com o cenário global, portanto, servem para ressaltar a urgência de uma abordagem estratégica que envolva a articulação entre os setores público e privado, a fim de transpor estes obstáculos e promover uma melhor adoção e difusão destas tecnologias.

Para alcance do objetivo geral, este estudo propõe os seguintes objetivos específicos:

(i) Discutir os fundamentos teóricos da inovação, explorando a dinâmica competitiva das firmas e os paradigmas tecnoeconômicos, e contextualizar a evolução da Inteligência Artificial, suas definições, componentes centrais e modelos de difusão tecnológica. Estes tópicos serão tratados no Capítulo 1.

(ii) Identificar os principais padrões de adoção, os benefícios percebidos e os desafios enfrentados pela Inteligência Artificial em empresas ao redor do mundo, com foco em relatórios globais a partir de 2022, comparando o nível de adoção da IA no Brasil com o de países desenvolvidos e outras economias emergentes. Estes tópicos serão tratados no Capítulo 2.

(iii) Mapear o grau de utilização da Inteligência Artificial por porte empresarial e setor de atividade no Brasil desde 2022, examinando os fatores internos e externos que impulsionam ou restringem sua difusão nas empresas brasileiras. Estes tópicos serão tratados no Capítulo 3.

Os objetivos propostos permitem comparar o nível de adoção da Inteligência Artificial no Brasil com o de países desenvolvidos e outras economias emergentes, apontando as assimetrias e as oportunidades para o avanço tecnológico nacional.

Com base na literatura revisada sobre inovação, difusão tecnológica e sistemas nacionais de inovação, a hipótese central que este trabalho se propõe a testar é a seguinte: Apesar do crescimento global na adoção da Inteligência Artificial, as firmas brasileiras apresentam um nível de utilização e uma difusão mais heterogêneas e incipientes em comparação às economias mais desenvolvidas, com a predominância de setores de baixa intensidade tecnológica e escassez de investimentos consistentes em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) e de capital humano qualificado, resultando em um hiato tecnológico (*technology gap*) -, ou seja, a diferença no nível de desenvolvimento e capacidades tecnológicas entre um país na fronteira (o líder) e os países "atrasados", não sendo apenas a medida da distância em termos de inovações produzidas, mas também um reflexo da complexidade em absorver, adaptar e explorar o conhecimento tecnológico disponível para impulsionar o desenvolvimento econômico (Fagerberg; Srholec, 2009) - significativo que restringe o pleno aproveitamento das oportunidades inerentes à “Indústria 4.0”.

Ademais, este trabalho está organizado em 3 capítulos. Após esta Introdução, o Capítulo 1 estabelece os fundamentos teóricos da inovação, explorando a dinâmica competitiva das firmas, os paradigmas e a conceituação da Inteligência Artificial em sua trajetória de difusão e heterogeneidade setorial e nacional. O Capítulo 2 analisa o panorama global da adoção de IA, destacando tendências e desafios internacionais. E o Capítulo 3 aprofunda a investigação na realidade brasileira, utilizando dados secundários para mapear sua utilização e obstáculos da implementação da IA por empresas nacionais. Finalmente, apresenta-se a discussão dos

resultados nas considerações finais, comparando os níveis e padrões de adoção da IA brasileiros com o cenário global.

A metodologia deste estudo articula três abordagens complementares: a revisão bibliográfica, a pesquisa documental e a análise de dados secundários. Primeiramente, a revisão bibliográfica, apresentada no Capítulo 1, é essencial para construir o arcabouço teórico sobre inovação, paradigmas tecnológicos e difusão. Em seguida, a pesquisa documental refere-se ao levantamento de relatórios e pesquisas anuais de instituições e consultorias globais, com marco temporal entre 2022 e 2025. A partir desses documentos, realizar-se-á a análise de dados secundários mediante técnicas de estatística descritiva, com o objetivo de mapear os padrões de adoção e as barreiras da Inteligência Artificial. Ressalta-se que, por se tratar de um tema recente, as bases de dados para os cenários global e brasileiro são distintas, o que limita uma comparação numérica direta, focando a análise nos padrões e nas ordens de grandeza para validar a hipótese do estudo.

Especificamente, para o panorama internacional da adoção de IA (Capítulo 2), o trabalho utilizará relatórios e pesquisas de organizações internacionais como a United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD) e consultorias globais (McKinsey e Statista). Essas fontes, que publicam levantamentos anuais sobre a adoção da IA em nível global, serão cruciais para a análise comparativa.

Para a realidade brasileira (Capítulo 3), a principal fonte será a Pesquisa de Inovação Semestral (Pintec Semestral) de 2022, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a qual fornece informações detalhadas sobre a adoção de tecnologias avançadas, incluindo IA, por diferentes portes e setores empresariais no Brasil. Além disso, também utilizar-se-á a pesquisa TIC Empresas (2023) do Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (CETIC), um levantamento sobre a incorporação das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs) e tecnologias emergentes por empresas brasileiras com mais de dez pessoas ocupadas, com o intuito de compreender a utilização da IA nesse âmbito. Com isso, a análise dos dados será conduzida por meio de técnicas de estatística descritiva. Utilizando tabelas e gráficos que demonstram os padrões de adoção, barreiras e difusão, serão realizadas comparações entre os grupos de empresas brasileiras e contrastes com os dados globais, sempre à luz do arcabouço teórico estabelecido no Capítulo 1.

CAPÍTULO 1: DINÂMICA TECNOLÓGICA E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA

O objetivo deste capítulo é realizar uma revisão teórica para estabelecer as bases conceituais a fim de compreender sobre inovação e Inteligência Artificial (IA). A análise se fundamentará em perspectivas teóricas e serão contextualizados termos-chave associados à inovação à luz de abordagens Schumpeteriana e Neoschumpeteriana e será traçada a origem, a evolução histórica e os conceitos fundamentais da IA, bem como a heterogeneidade na adoção entre os países, situando-a no contexto das grandes mudanças tecnológicas e paradigmas contemporâneos.

1.1.Fundamentos Teóricos da Inovação e sua Relevância para a Competitividade das Firmas: Uma Perspectiva Schumpeteriana e Neo-Schumpeteriana

Para fundamentar a análise da utilização da Inteligência Artificial nas práticas empresariais brasileiras, esta seção aborda as principais discussões teóricas sobre a inovação. O referencial teórico adotado centraliza-se nas contribuições de Schumpeter e dos Neo-Schumpeterianos, buscando um entendimento sistemático do processo inovativo, interrelacionado ao nível de investimento e concorrência, principalmente, pelo fato de essas teorias compreenderem a inovação como um fato endógeno ao crescimento econômico.

Nesse âmbito, é válido destacar a relevância da inovação para diferentes autores, por se apresentar como um fator estratégico à competitividade e ao desenvolvimento sustentável e contínuo das firmas, permitindo impulsionar a produtividade, gerar riqueza e ampliar as condições de bem-estar para as nações. Ao estabelecer essa importância em diferentes visões teóricas, torna-se possível abordar o tema da inovação e, principalmente, das tecnologias avançadas com maior profundidade, demonstrando sua relevância empresarial e econômica para os países, visando a entender como ela se manifesta no contexto atual e em que medida aumentaria o grau de produtividade das empresas.

Sendo assim, o ponto de partida para este estudo é o pensamento de Schumpeter que considera a inovação tecnológica como um fator determinante e essencial ao processo de desenvolvimento econômico, visto que ela promove a chamada "destruição criativa", segundo a qual as empresas mais inovadoras substituem gradualmente as menos dinâmicas e que não acompanham às evoluções do mercado, rompendo com as estruturas de mercado e padrões econômicos estabelecidos. Assim, a elevada competição do mercado globalizado representa a

necessidade de as empresas concentrarem estratégias em desenvolver capacidades inovativas (Schumpeter, 1942).

Ao relacionar a visão schumpeteriana com as tecnologias emergentes, essas podem ser potentes vetores de destruição criativa, na medida em que não apenas otimizam processos existentes, mas também viabilizam a obsolescência de tecnologias e modelos de negócio tradicionais, ao mesmo tempo em que geram novas indústrias, mercados e estruturas de competição.

O pensamento Schumpeteriano, contudo, não é a única fonte de conhecimento para o estudo. Para complementar sua visão, a perspectiva dos neoschumpeterianos é igualmente crucial, pois permite compreender a evolução do pensamento econômico e a forma como as inovações se disseminaram na economia capitalista, considerando suas especificidades. Nesse sentido,

Os autores neo-schumpeterianos explicitam essas premissas de três formas: (1) a existência de assimetrias técnico-econômicas entre os agentes; (2) a existência de variedade tecnológica; e (3) a existência de diversidade comportamental entre os agentes. Os conceitos básicos da teoria que os autores buscam construir e que dão suporte a essas premissas são igualmente três: (1) a tecnologia é apropriável, cumulativa, tácita e irreversível; (2) existe incerteza quanto aos resultados dos esforços ou decisões tecnológicas (e não só em relação a elas); e (3) a despeito do anterior, existem paradigmas e trajetórias tecnológicas setoriais que ordenam o progresso técnico, fazendo da busca e seleção de inovações um processo não randômico, nem totalmente exógeno (Hasenclever; Kupfer, 2013, p. 35).

A partir dessa análise, como há incerteza quanto ao resultado dos esforços ao inovar e paradigmas e trajetórias setoriais que ordenam o progresso técnico, as performances das companhias no mercado são distintas. Com isso, ao destacar a heterogeneidade entre os agentes e a natureza cumulativa e incerta do progresso técnico, a perspectiva neoschumpeteriana oferece um arcabouço para analisar as trajetórias de adoção de novas tecnologias.

Alinhados a essa visão, as contribuições de Nelson e Winter (1982) enfatizam que, ao entender a existência de incertezas, as empresas precisam, considerando tal cenário, definir suas estratégias e, com isso, possuem rotinas, que são seus padrões de crescimento e comportamento, as quais determinam o potencial de lucratividade: as firmas mais inovadoras, ao desenvolverem e adaptarem suas rotinas, demonstram maior capacidade de gerar lucros superiores e, assim, conseguem manter-se competitivas no mercado. Em contrapartida, aquelas que negligenciam estratégias de inovação relevantes, consequentemente tornam-se menos rentáveis e podem ser “descontinuadas”. Essa assimetria nas capacidades e estratégias das firmas permite

compreender as diferentes performances das companhias no mercado, e até mesmo a níveis mais agregados entre países (Nelson; Winter, 1982).

Ainda, para Penrose (1979), grande parte dos processos inovativos derivam de firmas industriais e as primeiras a introduzi-los tendem a conseguir vantagem competitiva, visto que conseguem se proteger mediante patentes ou evitam imitação de seus produtos por outros meios. E, para ela, a capacidade inovadora de uma empresa depende de seus recursos intangíveis, como conhecimentos, habilidade e rotinas internas.

O enfoque de Penrose (1979) nos recursos intangíveis, associado à visão de Nelson e Winter (1982) sobre as rotinas, ressalta que a capacidade de inovar e, consequentemente, de alcançar diferenciação competitiva, deriva não apenas da tecnologia em si, mas da acumulação de conhecimentos, habilidades e da evolução das rotinas internas da firma, explicando parte da heterogeneidade de desempenho observada entre as empresas no mercado.

Nesse sentido, outro autor que contribui para a análise é Possas (1989), visto que ele demonstra que, a partir do esforço inovativo, de competências essenciais e das decisões que uma firma possui ao longo de sua trajetória, essas são essenciais para que ela se diferencie e permaneça no mercado, mas, para que isso seja possível, as estratégias inovadoras são essenciais ao seu crescimento, conforme pode ser observado no trecho a seguir, o qual demonstra a necessidade de as empresas estarem em constante busca pela inovação:

[...] o esforço especificamente inovador, de mudanças de rotinas existentes a partir das mesmas, caracteriza o que os autores denominam o processo de busca (Search), pelas empresas (Possas, 1989, p. 160).

Por último, Tigre (2006) complementa a compreensão da inovação como um elemento central na dinâmica competitiva das firmas, destacando sua estreita ligação com a estratégia empresarial. Com isso, a busca por maiores lucros, a concorrência e as mudanças tecnológicas são motores para o investimento novas tecnologias na busca por um “monopólio temporário” (vantagem transitória ao introduzir uma nova tecnologia, até que um novo produto ou serviço disruptivo seja comercializado) com produtos distintos ou técnicas produtivas aprimoradas.

Para incorporar essa inovação, as empresas dependem de fatores internos - como capacitação tecnológica e gerencial, aprendizado contínuo e flexibilidade - e de fatores externos, - como o ambiente setorial, acesso a recursos qualificados e proximidade a agentes relevantes à inovação -, além de ser necessário que a inovação seja comunicada e difundida por certos canais, pois somente expandindo sua trajetória, será possível gerar novas inovações (Tigre, 2006).

Com isso, vale ressaltar que a inovação não é um processo linear, mas complexo e interativo, e sua difusão alimenta o processo inovador, gerando novas demandas e oportunidades em um ciclo contínuo de aprendizado e busca por soluções (Tigre, 2006).

Em síntese, a teia de conceitos apresentada por esses autores converge para uma compreensão multifacetada sobre a inovação. Schumpeter (1942) estabelece a ruptura fundamental com a "destruição criativa", enquanto os neoschumpeterianos aprofundam a complexidade ao evidenciar as assimetrias e a natureza cumulativa e incerta do progresso técnico. Nelson e Winter (1982) e Penrose (1979) complementam essa visão ao destacar a importância das "rotinas" e dos "recursos intangíveis" — conhecimentos, habilidades e experiências acumuladas — como diferenciais competitivos intrínsecos à capacidade inovadora da firma. Por sua vez, Possas (1989) reforça a necessidade de um "esforço de busca" contínuo, e Tigre (2006) relaciona intrinsecamente a inovação à estratégia competitiva, salientando o papel crucial da difusão tecnológica e a interdependência de fatores internos e externos.

Coletivamente, essas abordagens teóricas fornecem o arcabouço fundamental para analisar o dinamismo econômico, que impulsiona mudanças estruturais, gera assimetrias e demanda capacidades específicas para sua implementação e gestão eficaz. Esta base conceitual é essencial, pois situa as tecnologias emergentes, como a Inteligência Artificial, no contexto mais amplo das transformações macro-histórias e dos paradigmas tecnológicos que moldam a economia contemporânea.

1.2.Revoluções Tecnológicas e Mudanças de Paradigmas: Contextualizando a Inovação na Economia Contemporânea

Dando continuidade à fundamentação teórica sobre a inovação e sua relevância para a dinâmica econômica, que, conforme as abordagens schumpeterianas e neoschumpeterianas, se manifesta por meio de ciclos de destruição criativa e padrões heterogêneos de desenvolvimento tecnológico, revela-se crucial situar esses conceitos em um contexto macrohistórico de transformação e rupturas.

Nesse sentido, a conceituação de "paradigmas tecnológicos" proposta por Dosi (1982) é fundamental. Ele define-as como um "modelo" e "padrão" para a solução de problemas tecnológicos, fundamentado em princípios das ciências naturais e em tecnologias materiais específicas e guiando as direções de mudanças tecnológicas a serem buscadas e aquelas a serem negligenciadas.

Esse paradigma exerce um poderoso "efeito de exclusão", concentrando os esforços das organizações em direções precisas (enquanto outras possibilidades deixam de ser priorizadas), ao mesmo tempo em que estabelece uma "ideia de progresso" ao possibilitar melhoria de dimensões como velocidade, custo e eficiência dentro de uma dada tecnologia (Dosi, 1982).

Nesse viés, tal noção de caminho tecnológico guiado se conecta com as contribuições de Nelson e Winter (1982). Enquanto Dosi foca no paradigma como um guia externo que define um conjunto de princípios norteadores, Nelson e Winter (1982) analisam como as firmas respondem a esse cenário por meio de suas "rotinas", visto que a capacidade de uma firma de prosperar dentro de um paradigma, ou de se adaptar a um novo, depende diretamente da evolução de suas rotinas internas para incorporar as novas possibilidades tecnológicas.

É pensando nisso que a obra de Perez (2022) se destaca, ao definir a revolução tecnológica como um motor fundamental de reorganização econômica e social em longas ondas de desenvolvimento.

Segundo Perez (2022), uma revolução tecnológica consiste em um conjunto abrangente e interconectado de novas dinâmicas tecnológicas, produtivas e industriais, dotadas de potencial disruptivo e capazes de gerar um ponto de inflexão na trajetória de longo prazo de todo o sistema econômico. Esse fenômeno induz profundas transformações governamentais, econômicas e sociais e é caracterizado pelo processo de destruição criativa, conforme apresentado por Schumpeter (1982), no qual tecnologias preexistentes são substituídas por outras radicalmente novas.

Assim, no âmbito da macroeconomia da inovação, cada revolução não apenas reconfigura a estrutura vigente, mas cria pré-condições para sucessão de novas tecnologias, possibilitando a formação de sistemas tecnológicos que serão amplamente difundidos e propiciando uma difusão de novos sistemas inter-relacionados (Perez, 2024).

Com isso, a centralidade da análise de Perez está em sua capacidade de compreender como o crescimento econômico na era industrial esteve intrinsecamente ligado a tais revoluções, cada qual instaurando um novo paradigma tecno-econômico. Este transcende a inovação tecnológica isolada, configurando-se como uma matriz de oportunidades e um princípio orientador da inovação e da produção em determinada era, e capaz de redefinir os hábitos organizacionais, subvertendo padrões já estabelecidos e fornecendo uma nova lógica para a dinâmica econômica (Perez, 2022).

Perez (2022) aprofunda a compreensão dessas mudanças de paradigma ao classificá-las em diferentes níveis de inovação, o que dialoga com a ênfase dos neoschumpeterianos na diversidade do progresso técnico. Nessa análise, existem as inovações incrementais, mais

comuns e contínuas, e as inovações radicais, mais descontínuas e geradoras de alterações substanciais, as quais podem, inclusive, originar novos sistemas, capazes de afetar ramos inteiros da economia e destruir ou criar setores. No nível mais abrangente, as mudanças no paradigma tecno-econômico envolvem ambos os tipos de inovação, remodelando as bases da competitividade e do desenvolvimento em setores diversos da economia.

O processo inovativo, portanto, apresenta diferentes impactos na estrutura produtiva e organizacional das empresas e instituições, marcando a trajetória cíclica do desenvolvimento capitalista e, nele, a alteração de um paradigma tecno-econômico é impulsionada por um "fator-chave", que se torna acessível e universalmente aplicável. Esse processo ocorre, inicialmente, em um contexto de predominância das práticas "antigas", até que as vantagens do "novo" nos setores-líderes imponham sua dominância e se estabeleça uma nova "matriz de possibilidades". As diversas fases de uma revolução tecnológica — desde o surgimento de novas tecnologias, até a fase de maturidade e saturação — refletem a incerteza inerente ao progresso técnico e a necessidade contínua de aprendizado e adaptação (Perez, 2022).

Para ilustrar a natureza dessas grandes transformações, é pertinente abordar as revoluções que moldaram a era industrial, de acordo com Perez (2022), cada qual impulsionada por um "fator-chave" e um impacto transformador. A primeira, denominada Revolução Industrial Clássica, cuja eclosão remonta a 1771 na Grã-Bretanha, centrou-se na mecanização da indústria têxtil, divisão do trabalho para aumentar a produtividade e no uso da energia hidráulica, mediante canais e estradas.

Subsequentemente, a partir de 1829, a Era do Vapor e das Ferrovias emergiu, impulsionada pela máquina a vapor, carvão e ferro, viabilizando a integração de mercados nacionais através de extensas redes ferroviárias, além de economias de aglomeração com cidades industriais. Marcando a transição para a aplicação sistemática da ciência, a terceira revolução, iniciada em 1875, foi caracterizada pelo uso do aço em larga escala, eletricidade e engenharia pesada, consolidando infraestruturas transcontinentais de transporte e comunicação.

Posteriormente, o início do século XX, a partir de 1908, foi caracterizado pela quarta revolução, dominada pelo petróleo, automóvel e produção massificada, que promoveu a padronização, o consumo de massa e a expansão das redes rodoviárias e de telecomunicações analógicas (Perez, 2022).

Finalmente, a quinta revolução, em curso desde 1971, é a Era da Informação e Telecomunicações, cujo paradigma tem como base a intensidade informacional, a partir dos computadores, microeletrônica, *softwares*, biotecnologia, inteligência artificial, robótica e Internet das Coisas (IoT). Essa permitiu a conectividade em rede, adaptabilidade segmentada

nos nichos de mercados, permitindo a consolidação da globalização com interação entre economias de países distintos, além de demonstrar a crescente importância do conhecimento e dos dados como ativos estratégicos. Tais transformações em curso são notáveis pela sua velocidade exponencial, amplitude e profundidade, afetando não apenas o modo como os produtos e serviços são feitos e comercializados, mas também as próprias estruturas sociais e econômicas, revelando a necessidade de remodelar indústrias inteiras e exigindo novas formas de organização, colaboração e governança em dados (Perez, 2022).

Nesse contexto da Era da Informação, Penna (2024) oferece uma contextualização aprofundada da teoria de Perez (2022) sobre o papel das tecnologias avançada, ao reforçar que essas devem ser compreendidas como um desenvolvimento fundamental dentro da atual Revolução das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), não como revoluções tecnológicas isoladas, mas "fator-chave" que reconfigura as bases da produção e concorrência globalmente. Com isso, Penna tem uma posição similar à de Perez (2024) de que essas novas tecnologias provocam impactos sistêmicos e disruptivos que moldam eras inteiras.

Conforme essa perspectiva, as tecnologias podem ser utilizadas como ferramentas que permitem alcançar objetivos diversos, não sendo “fim nelas mesmas”. Para que isso seja possível, empresas e governos são incentivados a identificar, primeiramente, oportunidades de produção competitiva para, então, direcionar a aplicação prática em indústrias, produtos ou serviços específicos, com o intuito de otimizar seu impacto no desenvolvimento econômico e social (Penna, 2024).

Para o Brasil, essa dinâmica se traduz em uma oportunidade estratégica de avanço na atual fase da revolução das TICs, demandando não apenas o desenvolvimento de capacidades técnicas, mas também a criação de um ecossistema de inovação robusto, que inclua infraestrutura verde, forte capacitação da mão de obra e uma governança de dados ética, responsável e inclusiva (Penna, 2024).

É a partir dessa compreensão da dinâmica dos paradigmas tecnológicos que fica clara relevância do estudo sobre as tecnologias digitais, as quais são o cerne da transformação contemporânea. A complexidade do cenário atual, moldada por essa constante redefinição de "princípios orientadores" e pela aceleração das transformações, fundamenta a necessidade de investigar como as firmas se adaptam e utilizam as novas capacidades tecnológicas para manter e ampliar sua competitividade.

1.3.Inteligência Artificial: Bases Conceituais, Trajetória Histórica e sua Inserção e Difusão na Era da Informação

Compreendida a importância da inovação e suas diversas dinâmicas, este estudo terá enfoque em analisar uma das tecnologias avançadas que tem redefinido o cenário da inovação contemporânea: a Inteligência Artificial. Sua análise é crucial para entender como processos inovativos impulsionam a permanência e o crescimento das firmas no mercado, bem como contribuem para o desenvolvimento agregado das nações.

Para contextualizar a Inteligência Artificial (IA) no cenário mais amplo das transformações digitais e compreender seus mecanismos de emergência e difusão no ecossistema tecnológico contemporâneo, é fundamental analisar as Tecnologias Baseadas em Dados Digitais (DBTs) e o Sistema Tecnológico Digital (STD). As DBTs, que compreendem o conjunto de tecnologias avançadas, referem-se a técnicas e ferramentas que utilizam dados digitais como insumo principal para o desenvolvimento de produtos e serviços, desempenhando um papel protagonista para as empresas e a economia mundial (UNIDO, 2021).

Dentre as DBTs, destacam-se: o *Big Data*, que compreende métodos para armazenar e analisar grandes volumes de informações; a Computação em Nuvem, que fornece infraestrutura para processamento de dados em larga escala; a Inteligência Artificial e o Aprendizado de Máquina, que conferem a capacidade de sistemas identificarem padrões e realizarem tarefas de forma autônoma com base nos dados; o Processamento de Linguagem Natural, que possibilita a compreensão de linguagens humanas como texto e voz; e o IoT, o qual permite a coleta e compartilhamento de informações por dispositivos conectados no mundo físico (UNIDO, 2021).

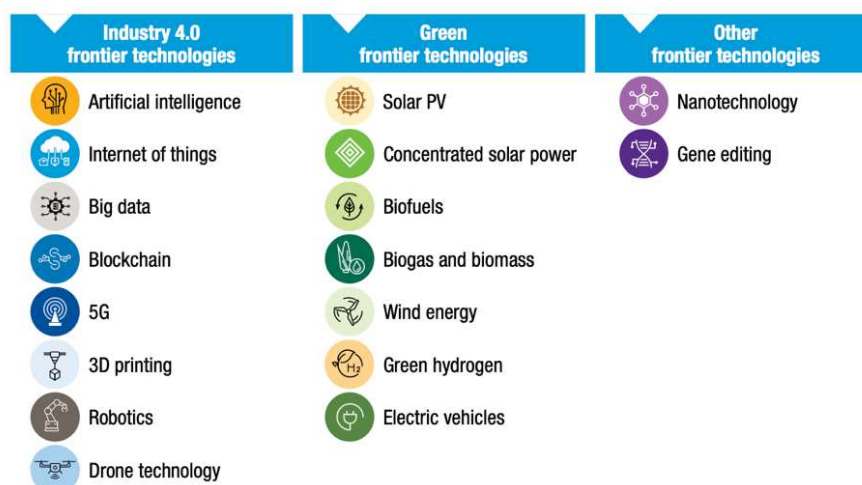
Outrossim, vale ressaltar outra taxonomia, a do Sistema Tecnológico Digital (STD), que demonstra um novo sistema emergente a partir de 2010, representa uma fase ainda mais avançada das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs). As TICs, eclodiram em 1970 durante a Terceira Revolução Industrial, e promoveram o crescimento tecnológico e a automação de máquinas, mas foi somente na Quarta Revolução Industrial (iniciada no século XXI) que as máquinas se tornaram autônomas e ainda mais avançadas (Agrawal; Gans; Goldfarb, 2018). Com isso, é possível compreender os principais componentes do STD, os quais são: a coleta de dados e análise de *Big Data*, em que há sensores onipresentes, monitoramentos de vídeo, fluxo de cliques, mineração de dados com técnicas multivariadas e grandes amostragens nas análises; Computação em Nuvem, na qual o armazenamento passou a centralizar em softwares como serviços (SaaS), servidores, bases de dados, plataformas

analytics e com atualizações constantes e automatizadas dos sistemas; Por fim, há a Inteligência Artificial, cujas características são a criação de redes neurais de aprendizados de máquina, maior autonomia, customização em massa para usuários, melhores previsões e percepções de mundo a partir do reconhecimento de padrões (Agrawal; Gans; Goldfarb, 2018, p. 140-141).

Aprofundando na compreensão das tecnologias avançadas, elas podem ser associadas ao conceito de tecnologias de fronteira, que representam o dinamismo mais recente na transformação digital global. Segundo a Conferência das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD, 2025), estas são definidas como tecnologias avançadas e emergentes – que abrangem desde a IA até o hidrogênio verde e a edição genética – com um forte potencial transformador e capazes de gerar novas oportunidades para o desenvolvimento econômico, a sustentabilidade e a governança. Tais tecnologias são cruciais para resolver problemas complexos, otimizar processos e impulsionar a escalabilidade e a rápida difusão, desempenhando um papel chave na criação de soluções globais para os desafios contemporâneos.

O relatório da UNCTAD (2025) categoriza 17 dessas tecnologias, dividindo-as em três amplas classes, conforme apresentado na figura abaixo (figura 1): Indústria 4.0 (que inclui Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Big Data, *Blockchain*, 5G, Impressão 3D, Robótica e Tecnologia de Drones), tecnologias de energia verde e renovável (como Energia fotovoltaica, energia solar, biocombustíveis, biogás e biomassa, energia eólica, hidrogênio verde e veículos elétricos) e outras tecnologias de fronteira (Nanotecnologia e Edição Genética). Vale destacar que as definições completas dessas tecnologias estão apresentadas no anexo A.

Figura 1 - Categorias das tecnologias de fronteira

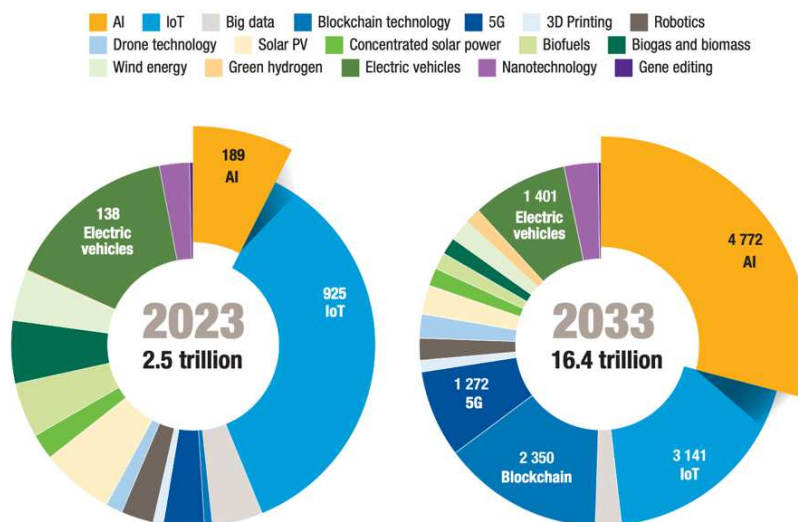


Fonte: UNCTAD (2025, p.19).

O potencial de mercado dessas tecnologias de fronteira é expressivo e evidencia a escala da transformação econômica em curso. Em 2023, conforme observado na figura 2, elas movimentaram um mercado de US\$ 2,5 trilhões, com projeção de alcance de US\$ 16,4 trilhões até 2033 (UNCTAD, 2025).

Dentro desse vasto mercado, a Inteligência Artificial (IA) vem se consolidando como uma das principais forças motrizes. Estima-se que, até 2033, a IA alcance um mercado de US\$ 4,8 trilhões, correspondendo a 30% do mercado total de tecnologias de fronteira. Esse crescimento é impulsionado por avanços contínuos que a tornam cada vez mais poderosa e eficiente, favorecendo sua adoção em múltiplos setores e funções empresariais (Facts and Factors *apud* UNCTAD, 2024). Um exemplo notório é o aumento do interesse e experimentação com a IA Generativa (GenAI) a partir de 2022, com organizações em diversas nações e indústrias explorando seu uso em tarefas como criação de conteúdo, desenvolvimento de produtos, codificação automatizada e atendimento ao cliente personalizado (McKinsey, 2024).

Figura 2 - Evolução do tamanho do mercado de tecnologias de fronteira em âmbito global de 2023 a 2033 (Em Bilhões de Dólares)



Fonte: UNCTAD (2025, p. 20).

Nesse contexto, o protagonismo da IA no cenário das tecnologias de fronteira é eminentemente resultado de sua capacidade de simular e expandir as habilidades cognitivas humanas, redefinindo as fronteiras da inovação e da produtividade no ambiente empresarial, e esse é um dos motivos que a tornam campo central para o presente trabalho. Contudo, a análise da UNCTAD (2025) aponta que a rápida expansão dessas tecnologias é acompanhada por uma

crescente concentração de mercado e de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), gerando assimetrias globais significativas.

Para consolidar a base conceitual que sustenta as análises das tecnologias avançadas e as discussões sobre a IA, é fundamental considerar as diversas perspectivas que orientam sua definição. Apesar das especificidades de cada estudo, percebe-se uma convergência na base teórica em relação ao significado de IA. Isso enfatiza a capacidade de sistemas executarem tarefas que tradicionalmente demandam inteligência humana, com variados graus de autonomia e aprendizado. O Quadro 1 apresenta uma síntese das principais definições adotadas por diferentes instituições:

Quadro 1 - Definições de Inteligência Artificial por Instituições Seleccionadas

Órgão	Definição de Inteligência Artificial
CETIC (2018)	“Construção de sistemas capazes de exibir comportamentos normalmente associados às pessoas, como aprendizado e resolução de problemas.”
IBGE (2022)	Sistemas capazes de exibir "comportamento inteligente" ao coletar e analisar informações, podendo realizar ações com níveis variados de autonomia para atingir objetivos específicos.
UNCTAD (2025)	Capacidade de uma máquina de engajar em atividades cognitivas tipicamente feitas pelos humanos
Stanford University (2022)	“Ciência e engenharia de fabricar máquinas inteligentes”; desenvolvimento de sistemas capazes de aprender e adaptar-se, espelhando a capacidade humana de navegar e responder a um mundo em constante mudança.
OECD (2024)	Um sistema de IA é uma máquina que, com base em objetivos e dados de entrada, infere para gerar saídas (previsões, conteúdo, recomendações ou decisões) que influenciam ambientes físicos ou virtuais, variando em autonomia e adaptabilidade.
Queensland University (2023)	“Utilização de um programa ou algoritmo para executar tarefas que, tradicionalmente, demandam o uso da inteligência humana”.
Statista (2025)	Ramo da ciência da computação focado na criação de máquinas capazes de realizar tarefas que tradicionalmente exigem inteligência humana, como percepção, raciocínio e aprendizado. O mercado de IA, que abrange <i>software</i> , <i>hardware</i> e serviços, inclui diversas aplicações e tem crescido rapidamente impulsionado por avanços tecnológicos e investimentos.
McKinsey (2024)	Consiste na capacidade de uma máquina desempenhar funções cognitivas que usualmente associamos às mentes humanas.

Fonte: CETIC (2018); IBGE (2022); McKinsey (2024); OECD (2024); Queensland University (2023); Stanford University (2022); Statista (2025); UNCTAD (2025); Elaboração e tradução própria.

A partir do quadro 1, observa-se que, apesar das nuances terminológicas, as definições confluem ao entendimento da IA como a capacidade de um sistema simular ou replicar

habilidades cognitivas humanas, como aprendizado, raciocínio e tomada de decisão, a fim de realizar tarefas de forma autônoma. Esta base conceitual unificada é fundamental para as análises subsequentes, que utilizarão dados de diversas fontes, garantindo que o objeto de estudo seja consistentemente compreendido.

Prosseguindo com essa fundamentação e aprofundando-se nas características da Inteligência Artificial no contexto do Sistema Tecnológico Digital (STD), observa-se que ela engloba a criação de redes neurais de aprendizado de máquina, maior autonomia, customização em massa para usuários, e melhores previsões a partir do reconhecimento de padrões (Agrawal; Gans; Goldfarb, 2019, p. 140-141). Com esses conceitos compreendidos, é interessante analisar a trajetória da IA, suas principais vertentes e o posicionamento de teóricos e economistas que aprofundam a compreensão dos impactos e da difusão dessa tecnologia no ambiente econômico, complementando o panorama conceitual aqui estabelecido.

Considerando as bases conceituais sobre a IA, sua trajetória remonta à década de 1950, período em que cientistas iniciaram debates associados aos aprendizados de máquina e aos raciocínios computacionais. A partir de então, tecnologias baseadas em IA de grande impacto foram cada vez mais utilizadas, destacando-se as desenvolvidas a partir do final da década de 2010. Exemplo disso é a plataforma de diálogo ChatGPT, do grupo OpenAI, divulgada em novembro de 2022, a qual utiliza redes neurais pré-treinadas para responder questões de forma quase humana (Coutinho, 2023).

O ChatGPT é um expoente da Inteligência Artificial Generativa (GenAI), uma vertente da IA com grande potencial para redefinir processos e complementar outras tecnologias ao criar conteúdos originais como textos, imagens, vídeos ou códigos, mediante modelos de *machine learning* (sistemas que aprendem com dados), ao invés de apenas analisar e classificar dados existentes. Segundo Goldman Sachs (2023), a GenAI tem perspectiva de elevação do Produto Interno Bruto (PIB) global em quase US\$ 7 trilhões e aumentar o crescimento da produtividade em 1,5% em um período de 10 anos.

Nesse sentido, as aplicações da IA Generativa são vastas e transformadoras nas práticas empresariais e sociais. Por exemplo, ela tem sido utilizada para melhorar a experiência do cliente através de *chatbots* e assistentes virtuais mais sofisticados, para aumentar a produtividade dos funcionários com recursos de pesquisa conversacional, criação de conteúdo, resumo de textos e geração de código. Ademais, é capaz de acelerar a produção de conteúdo criativo em diversas áreas e simplificar operações comerciais complexas, como o processamento de documentos e a manutenção preditiva. Em setores específicos, como a saúde, *chatbots* com GenAI estão sendo testados para triagem preliminar de pacientes, e na agricultura,

auxiliam agricultores a diagnosticar doenças em plantações, otimizando recursos e estendendo o alcance dos serviços em regiões com limitações (AWS, 2024).

Com isso, ao compreender as diversas aplicações da IA, fica clara a visão de que, conforme argumentado por Perez (2024), a Inteligência Artificial não é uma revolução tecnológica por si só, mas um desenvolvimento essencial inserido na revolução das Tecnologias de informação e comunicação, podendo continuar essa revolução e representar um novo salto tecnológico. Isso ocorre, pois, as primeiras décadas de cada revolução promovem forte destruição criativa em toda a economia, não só em setores específicos, quando o Estado permite que os mercados financeiros se apoiem na experimentação, gerando e eliminando empregos, ascendendo e destruindo indústrias.

Entretanto, no caso da IA, robótica e IoT, sua evolução depende intrinsecamente da internet, que por sua vez se apoia em microprocessadores e computadores. Todos esses elementos compõem a transformação digital da Quinta Revolução, indicando que a IA ainda se desenvolve dentro de uma “*Golden Era*” das TICs. Tal perspectiva é corroborada por Perez (2024), que afirma:

Todavia, uma tecnologia revolucionária não é a mesma coisa que uma revolução tecnológica. A IA é quase, certamente, revolucionária no sentido de que dará origem a novas plataformas tecnológicas, transformará ou eliminará muitas indústrias e criará novas. Todavia, pertence a uma revolução tecnológica muito maior que ainda está no meio de seu processo de difusão, tendo já passado por duas grandes fases de inovação. A primeira foi baseada em microprocessadores, computadores e software, e a segunda na internet e na globalização que ela possibilitou (Perez, 2024, p.181).

Diante disso, de acordo com Perez (2024), a Inteligência Artificial deve ser vista como um instrumento de valor, exigindo que governos e empresas identifiquem oportunidades para produzi-la de forma competitiva. Somente em seguida, ela deve ser considerada como tecnologia para impulsionar a inovação em indústrias, serviços e produtos, dependendo das necessidades reais do mercado. Para tanto, é fundamental desenvolver condições técnicas para a IA, além de criar um ecossistema de inovação e governança em dados, pois, assim, essa tornará parte integral da atual revolução digital e poderá permitir avanços em biotecnologia, nanotecnologia e outros campos que podem estar no centro de uma possível nova revolução (Perez, 2024).

Aplicando os conceitos de Tigre (2006) à IA, sua incorporação como motor de inovação exige que as empresas construam uma base sólida de capacitação tecnológica e gerencial, bem como uma cultura organizacional que valorize a experimentação e o aprendizado contínuo. Essa capacidade interna é essencial para o processo de difusão tecnológica, que consiste na

disseminação e adoção da inovação ao longo do tempo, em um dado sistema social. Isso deve-se ao fato que, para uma atividade inovadora gerar impacto amplo, a sua disseminação é condição essencial, uma vez que a inovação não se resume à mera invenção ou adoção inicial.

A difusão, entretanto, não é um processo automático e é influenciada por diversos condicionantes que moldam sua direção e velocidade de propagação, conforme apresentado por Tigre (2006). Esses fatores podem ser categorizados em três grupos principais, que se aplicam diretamente à adoção da IA.

Existem os fatores técnicos, associados à complexidade das soluções de IA e a necessidade de suporte especializado e de infraestrutura de dados e computação robusta, como a computação em nuvem. Ademais, os condicionantes econômicos, fundamentados pela análise dos benefícios em relação aos custos de aquisição e implementação, incluindo o alto custo inicial, investimentos complementares em treinamento e a percepção do retorno sobre o investimento (ROI). Por fim, os fatores institucionais, os quais abrangem a disponibilidade de financiamentos e incentivos fiscais, a estabilidade do ambiente político e a presença de capital humano qualificado para operar e gerenciar as novas tecnologias.

Portanto, o processo de difusão tecnológica transcende a mera invenção, atuando como um catalisador do progresso econômico e social. Ao disseminar inovações por meio de diversos mecanismos, permite que empresas e indivíduos absorvam e adaptem tecnologias, impulsionando a produtividade, a criação de novos mercados e a melhoria da qualidade de vida (Tigre, 2006). Entretanto, a complexidade e interconexão das tecnologias de fronteira reforçam a existência dessas barreiras, ilustrando o porquê a difusão da IA não é um processo simples ou automático, conforme apresentado no relatório da UNCTAD (2025):

A crescente complexidade das tecnologias e inovações exige investimentos cada vez maiores em capital físico e humano para encontrar novas ideias, bem como maiores custos para ajustes e aprendizado para uma implementação eficaz. Além disso, as tecnologias modernas precisam ser integradas com múltiplos componentes dentro de sistemas cada vez mais interconectados, elevando ainda mais as barreiras de entrada e limitando a difusão da tecnologia e do conhecimento (UNCTAD, 2025, p.11; tradução própria).

A análise desses condicionantes, reforçados pela complexidade que essas tecnologias impõem para serem viabilizadas, é fundamental para compreender a heterogeneidade da difusão da IA, que resulta em diferentes níveis de adoção entre empresas, setores e países.

1.4. Padrões de Inovação: A Heterogeneidade da Adoção Tecnológica, mediante contribuições de taxonomias setoriais e locais

Após a análise da difusão tecnológica, compreende-se que sua disseminação não ocorre de forma uniforme na economia. Revela-se, portanto, crucial reconhecer que a natureza e a dinâmica da inovação variam significativamente em diferentes contextos, seja entre setores econômicos ou entre países. Essa heterogeneidade é um aspecto central para entender os padrões de adoção de tecnologias avançadas, como a Inteligência Artificial, que são o foco deste estudo.

Para compreender essa heterogeneidade setorial, a Taxonomia de Pavitt (1984) oferece um ponto de partida relevante. Ela descreve padrões setoriais da inovação a partir de informações de firmas inglesas, classificando os setores em categorias para explicar semelhanças e diferenças entre eles, associadas às fontes de conhecimento, ao tamanho das firmas, e aos efeitos das inovações.

A primeira diz respeito aos setores dominados por fornecedores, em que as firmas são essencialmente pequenas, incorporam tecnologias externas, buscam usar a tecnologia para redução de custos, predominando a inovação de processo. Como exemplo, são os setores tradicionais: Indústrias têxteis e de confecção.

Em seguida, a categoria dos setores intensivos em escala, na qual as empresas têm um porte maior, realizando principalmente inovação de produto, havendo um maior esforço inovativo, com o intuito de aumento da escala da produção e melhoria de performance.

Ademais, há também a categoria dos setores fornecedores especializados, em que buscam a complementaridade tecnológica, com inovações para melhoria de produtos. E, por fim, a categoria de setores baseados em ciências. Nela, há a presença das firmas com maiores oportunidades tecnológicas e sensíveis ao desenvolvimento do conhecimento científico, elevados investimentos em P&D e firmas de maior porte (Pavitt, 1984).

Para complementar a visão de Pavitt, é fundamental destacar a taxonomia proposta por Castellacci (2008, p. 982-986), que oferece uma abordagem mais integrada ao combinar indústrias de transformação e de serviços em um mesmo quadro teórico. O autor argumenta que, em um contexto de crescente interdependência econômica, a inovação não pode ser analisada separadamente nesses dois setores, sendo crucial focar nas conexões verticais e nas trocas de conhecimento intersetoriais.

Com isso, a taxonomia de Castellacci (2008) baseia-se nas dimensões de função no sistema econômico, em que divide setores com base no papel que desempenham como

provedores e receptores de produtos, serviços e conhecimento, e no conteúdo tecnológico, o qual classifica-os a partir das capacidades de criar tecnologias internamente ou dependem de aquisição externa de conhecimento maquinário e equipamentos.

Ao combinar essas duas dimensões, a taxonomia identifica quatro grandes grupos setoriais. Inicialmente, há o grupo *Advanced knowledge providers* (Provedores de conhecimento avançado - AKP), caracterizado por alta capacidade tecnológica e habilidade para criar conhecimento complexo, incluindo fornecedores especializados de manufatura e serviços de negócios intensivos em conhecimento (como software e P&D). Ademais, há o grupo *Supporting infrastructural services* (Serviços de infraestrutura de apoio – SIS), o qual produz principalmente produtos e serviços intermediários, e cuja trajetória de inovação se baseia na aquisição de maquinário e conhecimento criados em outros setores. Este grupo inclui serviços de infraestrutura física (transporte) e de infraestrutura de rede (telecomunicações, finanças) (Castellaci, 2008).

Em seguida, há o *Mass production goods* (Bens de produção em massa – MPG), em um estágio intermediário da cadeia vertical, pois produzem tanto bens finais quanto intermediários, ou seja, têm a capacidade para desenvolver produtos internamente, e incluem indústrias intensivas em escala (como veículos a motor) e indústrias de base científica. Por fim, o grupo *Personal goods and services* (Bens e serviços pessoais - PGS), por exemplo indústrias têxteis, localizados no estágio final da cadeia vertical e com capacidade limitada de desenvolver inovações internamente, dependendo da aquisição de maquinário e conhecimento de seus fornecedores (Castellaci, 2008).

Logo, as taxonomias setoriais de Castellacci (2008) e Pavitt (1984), oferecem uma base analítica crucial para compreender a adoção da Inteligência Artificial, pois essas sugerem que a intensidade, o tipo e a forma de implementação da IA podem variar significativamente entre os setores da economia, refletindo os padrões de inovação característicos de cada agrupamento (fontes de conhecimento, tamanho das firmas, natureza da concorrência, entre outros). Assim, a análise da difusão dessa tecnologia avançada deve considerar as especificidades setoriais, buscando entender como as características intrínsecas de cada indústria moldam as estratégias e os desafios de sua incorporação.

Além da heterogeneidade setorial, a inovação também se manifesta de forma desigual entre diferentes países, um fenômeno que pode ser compreendido pela análise do Sistema Nacional de Inovação (SNI). Com base em Albuquerque (1996,1999), essa é essencial para compreender a heterogeneidade tecnológica entre países. Ele explica o conceito de SNI, o qual refere-se à rede de instituições públicas e privadas e aos fluxos de informação e conhecimento

entre elas – incluindo empresas, universidades, institutos de pesquisa e laboratórios, agências governamentais e o sistema financeiro – que, de forma articulada, impulsionam a geração, implementação e difusão de inovações em uma economia. A eficácia desse sistema é crucial, pois transcende os mecanismos de mercado na otimização dos fluxos informacionais necessários à inovação (Albuquerque, 1996). Com isso, para ele,

Sistema nacional de inovação é uma construção institucional, produto de uma ação planejada e consciente ou de um somatório de decisões não-planejadas e desarticuladas, que impulsiona o progresso tecnológico em economias capitalistas complexas (Albuquerque, 1996, p. 388).

Albuquerque (1996), inspirado em autores como Nelson e Lundvall e dada a existência de inúmeros arranjos institucionais, propôs uma tipologia para analisar essa diversidade, subdividindo os países em três categorias principais. A primeira categoria engloba as nações líderes que operam na fronteira tecnológica internacional ou próximas a ela, além de serem fortemente capacitadas para a geração de novas tecnologias e liderarem o conhecimento científico.

Contrastando com os líderes, a segunda categoria inclui países com elevado dinamismo tecnológico focados na difusão de inovações geradas externamente. Embora não liderem a criação de tecnologias radicalmente novas, demonstram notável adaptabilidade e desenvolvimento incremental, absorvendo avanços gerados externamente. (Albuquerque, 1996).

O Brasil enquadra-se na categoria de SNIs "não-maduros" ou "em formação". Mais especificamente, Albuquerque (1999) classifica o Brasil e outros países latino-americanos em uma subcategoria denominada "estrutura de ciência e tecnologia antiga e ineficaz" (OISTS). Este tipo de sistema, apesar de possuir uma infraestrutura científica, sofre com a baixa articulação entre o setor produtivo e a academia, o baixo comprometimento das empresas com P&D e um padrão estagnado de inovação tecnológica, o que os torna dependentes da assimilação de tecnologia estrangeira.

Consequentemente, nações como o Brasil enfrentam o desafio do *catch-up* tecnológico, que pode ser entendido como o processo pelo qual um país tecnologicamente menos avançado busca reduzir a distância em relação às nações líderes. Para isso, há uma dependência do acesso e da assimilação de tecnologia estrangeira. E, nesse processo, os mecanismos de aprendizado tornam-se centrais, especialmente o *learning by doing* (aprender fazendo) e o *learning by interacting* (aprender mediante interações). Contudo, essa mesma estratégia reforça uma

limitação estrutural: a dificuldade em gerar inovações internamente, especialmente as mais radicais, mantendo o país em uma trajetória de seguidor tecnológico.

Vale ressaltar que a discussão sobre o SNI evoluiu para incorporar a crescente globalização. Pesquisas mais recentes de Albuquerque (2023) argumentam que, para além dos sistemas nacionais, está se consolidando um Sistema Global de Inovação (SGI). Este SGI funciona como uma nova camada internacional, formada por redes de fluxos de conhecimento que conectam instituições de diferentes países.

Com isso, a análise de 2023 mostra que essa rede global é assimétrica e hierárquica, dominada por instituições "*hubs*" de poucos países, como Estados Unidos, China, Coreia do Sul e Japão. Assim, as nações líderes conseguem posicionar suas instituições como "*hubs*" centrais no SGI. Já para um país com um SNI "não-maduro" (OISTS), como o Brasil, a consolidação do SGI implica um desafio ainda maior: a dificuldade de se posicionar de forma central na nova hierarquia global, o que pode aprofundar o hiato tecnológico se não houver estratégias para se conectar a esses fluxos internacionais de conhecimento. Essa fragilidade estrutural do SNI brasileiro teve consequências históricas evidentes.

Nesse âmbito, especialmente a experiência brasileira nos anos 1980, marcada pela perda de posições competitivas em contraste com o avanço tecnológico de nações asiáticas, retrata os desafios enfrentados por sistemas desta categoria e o risco de ampliação do hiato tecnológico em relação à fronteira internacional, demonstrando que a atividade inovativa nesses países contribui menos ao crescimento econômico, quando comparada aos países mais bem-sucedidos na difusão e adaptação tecnológica e mais próximos à fronteira (Albuquerque, 1999).

Para compreender mais profundamente a heterogeneidade entre nações e o posicionamento do Brasil, é válido analisar brevemente a trajetória histórica do complexo produtivo brasileiro. Desde o período colonial (séculos XVI ao início do século XIX), a economia esteve marcada pela exploração de matérias-primas para exportação, enquanto as atividades manufatureiras eram restritas e realizadas, fundamentalmente, pela metrópole portuguesa.

Tais características mantiveram-se semelhantes mesmo após a independência (1822), mediante a manutenção da comercialização de produtos de baixo valor agregado (Celso Furtado, 1959). Apesar de mudanças estruturais nas décadas de 1930 e 1940, com maiores elos da cadeia produtiva e o surgimento de um parque industrial via processo de substituição de importações, a necessidade de importar bens de alta complexidade tecnológica persistiu. Ademais, no período do Milagre Econômico (1968-1973), o modelo produtivo brasileiro apesar de ainda ter foco em *commodities* e bens de baixa complexidade, teve forte elevação em

investimentos estatais em infraestrutura e industrialização, mas acirrando a dependência externa com elevação do endividamento (Giambiagi, 2011).

Em seguida, o desenvolvimento econômico dos anos 2000 também demonstrou diferentes experiências quanto ao nível e à composição dos investimentos produtivos. Após a estabilização monetária com o Plano Real (1995-2002), houve aumento dos aportes empresariais, mas ainda com enfoque em atividades de baixa aplicação tecnológica e no mercado interno. Entre 2003 e 2010, um novo dinamismo dos investimentos surgiu, com uma política cujo eixo principal eram os investimentos públicos, incentivando e concedendo crédito.

Contudo, a fragilidade do setor industrial e a necessidade de altas importações dificultaram a incorporação de novas tecnologias, enquanto outros países desenvolvidos, como Alemanha e Estados Unidos, já estavam muito mais avançados no aspecto inovação (Giambiagi, 2011). Posteriormente, entre 2011 e 2016, diante da fragilidade externa, foram realizadas desonerações tributárias e crédito subsidiado visando dinamizar os investimentos privados. No entanto, o setor privado não gerou o mesmo efeito multiplicador na economia que os investimentos públicos, pois o foco privado tende a ser em demandas mais específicas, enquanto o investimento público em setores estratégicos pode induzir maior demanda agregada (Carvalho, 2022).

Com isso, fica evidente a trajetória histórica do complexo produtivo do Brasil, o qual exportou muito mais produtos de baixo valor agregado, como ocorreu, por exemplo durante o *Boom* das *Commodities* nos anos 2000, limitando o processo de investimento em uma cadeia de maior complexidade tecnológica, como ocorreu com outros países, demonstrando como essa limitação ainda existente derivou um processo estrutural desde sua exploração enquanto colônia portuguesa, o que contribuiu para mantê-lo em patamares tecnológicos que dificultam aproveitar as oportunidades da Quarta Revolução Industrial (Carvalho, 2022).

Em síntese, este capítulo estabeleceu uma fundamentação teórica da inovação, abordando desde as perspectivas schumpeteriana e neoschumpeteriana, até sua manifestação em paradigmas tecnológicos, com base em Carlota Perez. Nesse contexto, a Inteligência Artificial foi conceitualizada em sua complexidade e contextualizada em sua trajetória como tecnologia avançada da era informacional.

A análise se estendeu à dinâmica da difusão tecnológica, com seus estímulos e condicionantes, e à natureza intrinsecamente heterogênea da inovação, evidente em padrões setoriais e capacidades distintas entre países. Após compreender este arcabouço teórico-conceitual, o presente estudo procederá, no próximo capítulo, à análise dos dados mundiais de uso, benefícios, desafios e os padrões de difusão da Inteligência Artificial em escala global.

CAPÍTULO 2: INOVAÇÃO E IA: EVIDÊNCIAS PARA O MUNDO

O objetivo deste capítulo é apresentar o panorama global contemporâneo da Inteligência Artificial (IA), baseando-se no arcabouço conceitual de Inteligência Artificial e paradigmas de inovação discutidos no Capítulo 1, com o intuito de contextualizar a análise para, no capítulo 3, desenvolver o tema especificamente para o Brasil. Com base em dados recentes, examinar-se-á a crescente adoção e os investimentos em IA em escala mundial, evidenciados pelo aumento significativo na utilização, além do expressivo volume de capital direcionado à IA generativa.

Embora o amplo potencial da IA seja inegável, é crucial reconhecer que sua implementação envolve desafios inerentes, como elevados custos de desenvolvimento e uma incerteza considerável quanto aos retornos e riscos associados, aspectos que moldam sua trajetória de difusão global. Nesse sentido, a análise aprofundará os padrões de difusão desta tecnologia, considerando variações por setores econômicos, porte das empresas e regiões geográficas, destacando as disparidades entre nações desenvolvidas e emergentes, como o caso do Brasil em contraste com Estados Unidos e China. Adicionalmente, serão explorados os diversos usos da IA, os benefícios potenciais associados e os desafios inerentes à sua implementação. Compreender esta dinâmica global é crucial para contextualizar o cenário da inovação e da adoção tecnológica no Brasil.

2.1. Panorama global da Inteligência Artificial: adoção e desafios

A Inteligência Artificial tem se estabelecido como uma das forças motrizes da atualidade, impulsionando transformações profundas no cenário econômico global. Este fenômeno reflete a emergência de um novo paradigma liderado pela informação, onde a IA atua como um fator-chave que reconfigura amplamente as bases da produção e da concorrência globalmente, conforme a perspectiva de Carlota Perez (2022).

Essa nova dinâmica é refletida nos investimentos em P&D em nível internacional, que evidenciam um cenário de assimetria. Por exemplo, ao analisar o *index de fronteira tecnológica* da UNCTAD (2025, p. 96-106), o qual leva em conta o percentual da população que usa internet, velocidade média de *download*, anos esperados de escolaridade, percentual da população com empregos qualificados, número de publicações científicas e patentes, exportações de manufaturas com alta tecnologia, exportação de serviços digitais e crédito interno ao setor privado (% do PIB), e varia de 0 a 1 (quanto mais próximo de 1, melhores são

os indicadores), países como os Estados Unidos (1), Suécia (0,97) e Reino Unido (0,96) encontram-se nos níveis mais altos, e, enquanto isso, o Brasil está na posição 38 e possui *index* 0,74. Ao desagregá-lo, destacam-se os baixos níveis de investimento em P&D, o que mostra investimentos significativamente menores em inovação no Brasil, bem como limita a capacidade de absorção e desenvolvimento de tecnologias como a IA.

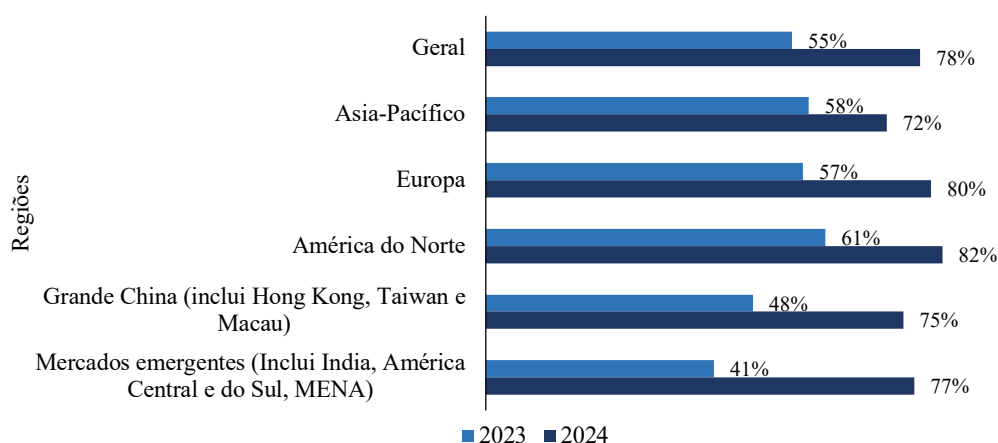
Globalmente, a ampla utilização da IA pode ser percebida pelo elevado aumento de sua adoção ao redor do mundo, a partir de dados de pesquisa realizada anualmente pela McKinsey (2024), baseada em duas pesquisas abrangendo 2.854 respondentes de regiões, indústrias, portes das empresas e funções distintas. Para destacar o expressivo aumento na representatividade de IA pelas firmas, os respondentes que disseram que utilizam IA em suas organizações em pelo menos uma função aumentaram de 20% em 2017, para 55% em 2023 e 72% em 2024. Além disso, o uso especificamente de IA generativa quase dobrou, passando de 33% em 2023 para 65% em 2024.

Uma análise dos dados comparativos de adoção de IA por organizações em escala global, conforme apresentado no gráfico 1 revela que o crescimento mais expressivo entre 2023 e 2024 foi observado nos mercados emergentes, incluindo Índia, América Central e do Sul, e Oriente Médio e Norte da África, onde o uso de IA nas empresas passou de 41% para 77%. Este avanço notável superou o crescimento registrado em outras regiões, como a Grande China, que passou de 48% para 75%. Em paralelo, embora a Europa (avançando de 57% para 80%) e a América do Norte (progredindo de 61% para 82%) tenham alcançado os patamares absolutos mais elevados de adoção em 2024, a aceleração acentuada nos mercados emergentes é significativa (McKinsey, 2024).

Essa aceleração na adoção de tecnologias avançadas pelos países em desenvolvimento pode criar oportunidades para um processo de *catching-up* acelerado, no qual se busca encurtar a distância em relação às economias líderes (Tigre, 2006). Enquanto isso, a possibilidade de um salto tecnológico mais ambicioso, ou *leapfrogging*, que envolve implementar diretamente soluções mais avançadas e eliminar a necessidade de investir tempo e recursos no aprendizado e na implementação de tecnologias intermediárias que já tornaram menos eficientes ou ultrapassadas, enfrenta barreiras consideráveis no contexto brasileiro. Embora o crescimento percentual na adoção seja notável, a base tecnológica doméstica ainda é limitada, com forte dependência de soluções importadas e baixo investimento em P&D. Assim, o cenário aponta mais para uma oportunidade de modernização e redução do hiato tecnológico do que para um salto à fronteira da inovação.

Nesse âmbito, o gráfico 1 evidencia que, apesar do crescimento acentuado da adoção de IA nos mercados emergentes entre 2023 e 2024, as regiões da Europa e América do Norte ainda mantêm os patamares absolutos mais elevados de adoção. Isso reforça a ideia de que, embora exista um potencial de *leapfrogging* para países em desenvolvimento, a superação do hiato tecnológico com os líderes ainda exige investimentos contínuos e estratégias robustas que abordem não apenas a aquisição da tecnologia, mas também a capacitação e o ambiente institucional.

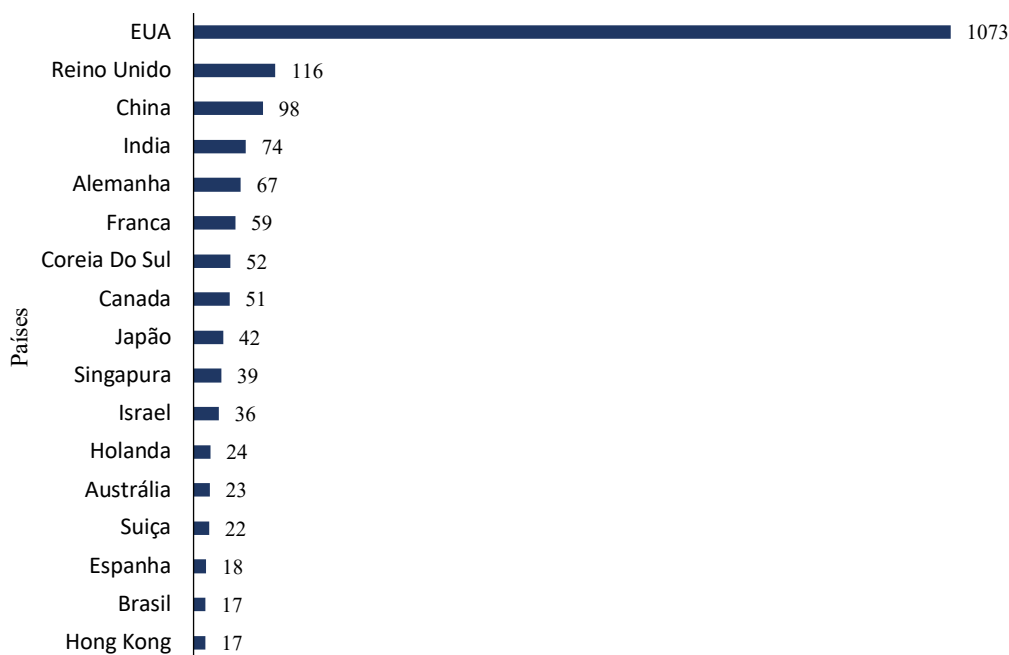
Gráfico 1 - Adoção de Inteligência Artificial por países ao redor do mundo entre 2023 e 2024 (em %)



Fonte: Stanford University (2024); Elaboração própria.

Com isso, destaca-se que apesar de o uso dessa tecnologia avançada ter sido ampliada ao redor do mundo, ele não ocorreu de forma igualitária entre os países, pois ao analisar o número de novas empresas de IA fundadas por região geográfica (gráfico 2), tem-se um forte contraste entre países como os Estados Unidos (1.073 empresas fundadas) e China (98 companhias) em relação ao Brasil, com apenas 17 empresas fundadas. As causas para isso são diversas, mas a disparidade sugere diferenças significativas em termos de investimentos, infraestrutura, capital humano qualificado e políticas de incentivo ao desenvolvimento de IA entre regiões (Stanford University, 2024).

Gráfico 2 - Número de novas companhias de IA fundadas por área geográfica em 2024



Número de companhias de IA fundadas em 2024

Fonte: Stanford University (2024); Elaboração própria.

Logo, o gráfico 2 revela uma disparidade considerável na criação de novas empresas de IA. Os Estados Unidos e o Reino Unido lideram a formação de startups, enquanto o Brasil figura entre os países com o menor número. Essa assimetria evidencia as diferenças estruturais no ecossistema de inovação global, sendo que a natureza intensiva em capital e altamente especializada da IA acentua o desafio para países com SNIs menos desenvolvidos de gerar inovações endogenamente e participar da fronteira tecnológica.

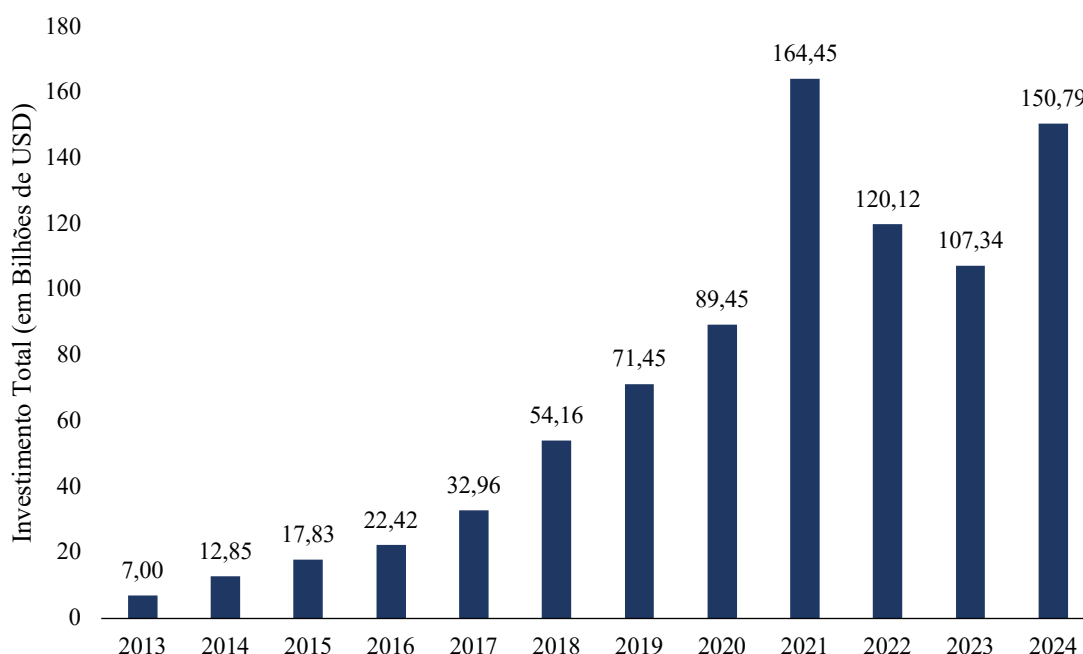
Em complemento, o desenvolvimento e a implantação dessas tecnologias apresentam uma significativa concentração de poder e recursos. Esse fenômeno ocorre porque a IA depende de competências em ciência da computação, engenharia de *software* e modelagem estatística, bem como de uma combinação de dados massivos, infraestrutura global, capital e ecossistemas de produtos dominantes. habilidades mais enraizadas em serviços tecnológicos intensivos em conhecimento do que em setores industriais clássicos.

Consequentemente, são as grandes empresas de tecnologia (*big techs*), como Google, Microsoft, Amazon, Meta, Apple, Nvidia, Tencent e Baidu, que figuram como os principais investidores e desenvolvedores, dominando a fronteira de conhecimento. Essa hegemonia de um grupo restrito de gigantes tecnológicos estende-se ao controle sobre o futuro da tecnologia, visto que grande parte do conhecimento especializado é gerado e mantido nessas empresas privadas. Tal fenômeno, como aponta a UNCTAD (2025), restringe a disseminação do

conhecimento e a capacidade dos governos de, isoladamente, guiar o desenvolvimento tecnológico.

Tal concentração de poder no desenvolvimento da IA é, então, reforçada pela esfera do investimento privado em IA, grande catalisadora da inovação e do rápido escalonamento da tecnologia. Nesse sentido, conforme observado no gráfico 3, em 2024, o investimento privado global em IA atingiu aproximadamente US\$ 150 bilhões, havendo um crescimento de 44,5% em 2024, quando comparado a 2023. Ao analisar os países com maior representatividade no investimento privado, os Estados lideram com cerca de US\$ 109 bilhões, representando mais de 70% do total global, seguidos pela China com US\$ 9,2 bilhões, enquanto a maioria dos países em desenvolvimento tem progresso limitado nesse quesito (Stanford University, 2024), refletindo a complexidade e os vultosos investimentos iniciais requeridos para pesquisa, desenvolvimento e escalonamento da IA.

Gráfico 3 - Investimento Privado Total em IA no mundo entre 2013 e 2024 (em Bilhões de Dólares)



Fonte: Stanford University (2024); Elaboração Própria.

*Deflacionado a valores constantes de 2024, utilizando CPI como inflação americana

Nesse sentido, o gráfico 3 revela a complexidade dos investimentos iniciais requeridos para pesquisa e escalonamento da Inteligência Artificial e, para compreender essa dinâmica global, é preciso analisar os pilares que sustentam o avanço dessa tecnologia avançada em nível nacional. Segundo Direto e Queiroz (2025), existem quatro eixos estruturantes da IA.

São eles: Infraestrutura computacional (o processamento massivo de dados, característica central dos modelos mais modernos de IA, requer vastos recursos computacionais, com uso de grandes data centers , cuja produção está centrada em poucas empresas globais); Dados (matéria prima essencial para treinar modelos de IA); Mão de obra especializada (Desenvolvimento de sistema requer força de trabalho altamente qualificada, sendo essencial investimentos massivos em capacitação e formação contínua); P&D (O avanço da IA depende de esforços contínuos em pesquisa e desenvolvimento e é fundamental que as políticas públicas sejam robustas, diversas e pautadas em interesses coletivos amplos e não apenas fins comerciais) (Direto; Queiroz, 2025).

Ao analisar a estratégia de IA dos países do BRICS (Atualmente, é composto pelos países África do Sul, Brasil, China, Egito, Emirados Árabes Unidos, Etiópia, Índia, Indonésia, Irã e Rússia, que compartilham desafios comuns, como desigualdade social, infraestrutura digital desigual e necessidade de capacitação técnica intensiva), percebe-se que apesar de similaridades, esses países têm uma heterogeneidade notável nas ambições e estágios de desenvolvimento em relação a esses eixos estruturantes (Direto; Queiroz, 2025).

O primeiro grupo, formado pela China e Rússia, destaca-se como líder entre os países do BRICS em relação o desenvolvimento autônomo de IA, com planejamentos sistêmicos para alcançar maior competitividade internacional, preferência por um financiamento de P&D liderado pelo governo, em foco em pesquisas computacionais mais avançadas (Direto; Queiroz, 2025).

Um segundo grupo, composto por Brasil, Índia, Indonésia, Egito e Emirados Árabes Unidos, tende a focalizar na adoção de soluções de IA com estratégia mais dependentes de parcerias e do mercado global. A Índia e Emirados buscam desenvolver IA incentivando parcerias com as grandes empresas; o Brasil e Indonésia, apesar de reconhecerem o potencial da IA, são menos assertivos em termos de ambição de liderança e demonstram o interesse por parcerias público-privadas. Especificamente, a estratégia brasileira carece de menções sobre a infraestrutura computacional e foca mais nos benefícios esperados da tecnologia do que em se posicionar o país como desenvolvedor; África do Sul e Egito buscam aumentar a influência regional em IA e investir em infraestrutura digital fundamental (Direto; Queiroz, 2025).

Por último, o terceiro grupo é formado pelo Irã e Etiópia, países em estágios distintos no desenvolvimento de IA, com planos que destacam as necessidades básicas de infraestrutura ou foco mais direcionado em aplicações locais (Direto; Queiroz, 2025).

Diante do cenário de assimetrias tecnológicas e desafios de *catch-up* para as economias em desenvolvimento, e para mitigar os riscos e altos custos iniciais impostos pela natureza

intensiva em capital da IA, torna-se fundamental a participação do investimento público e a formação de parcerias público-privadas. Isso se justifica pelo papel crucial do setor público no fomento da pesquisa, na infraestrutura tecnológica e na criação de um ecossistema favorável à inovação

A partir dessa compreensão da dinâmica geral das empresas de IA e dos investimentos, serão estudados os padrões de uso, difusão e benefícios da Inteligência Artificial em escala global.

2.2.Uso, Difusão e Benefícios Percebidos da Inteligência Artificial em Escala Global

Com o intuito de aprofundar a análise sobre a adoção global da Inteligência Artificial apresentada na seção anterior (2.1), esta examina os padrões e fatores da difusão dessa tecnologia, bem como seus usos e a relação com o contexto das revoluções tecnológicas.

De acordo com a United Nations Industrial Development Organization (UNIDO, 2020, p. 31-36), o processo de geração tecnológica de aparelhos digitais está centrado em algumas economias, e cerca de 10 países detêm mais de 90% das patentes globais o ramo tecnológico e 70% da exportação de bens digitais. Entretanto, mesmo com essa grande diferença, potencializada inclusive com a criação de sistemas e plataformas atuais, como o caso do ChatGPT, muitos países em desenvolvimento estão agindo de maneira a engajar a produção de novas tecnologias, capazes de elevar patamares de produtividade, alterar o tipo da força de trabalho e diversificar o portfólio de produtos.

A eclosão da pandemia global da COVID-19 também atuou como um catalisador decisivo para a aceleração da digitalização e dos avanços em IA. Essa, apesar de provocar milhões de mortes, aumentar o nível de desemprego e contrair a demanda global, demonstrou uma necessidade de que os países revisitassem seus planejamentos e prioridades, o que acelerou os avanços em IA, induzidos também por políticas e estratégias competitivas, resultando uma transformação nas estruturas de mercado, com companhias mais integradas e inteligentes, e com novos modelos de negócios, graças às *Digital Based Technology*, mais intensivos em serviços e com personalizações aos consumidores e com empresas cada vez inovadoras (Coutinho, 2023).

Nesse sentido, as evoluções em Tecnologias Avançadas estão guiando uma nova Revolução, mas para que os benefícios dessas inovações sejam alcançados, é preciso absorver capacidades sólidas, ainda mais considerando o fato de que a IA requer uma infraestrutura digital e adaptações na organização produtiva. Contudo, muitos países e firmas falham em

acompanhar esse processo de digitalização e ficam marginalizados da produção, considerando que a difusão das tecnologias tende a aumentar progressivamente a competição (Coutinho, 2023).

Para complementar a compreensão sobre a dinâmica de adoção da IA e os contextos em que ela se manifesta, torna-se essencial analisar como essa tecnologia vem sendo utilizada globalmente, por função e tipo de indústria. Conforme o Gráfico 4 - que utiliza uma escala de tons de cinza, onde tons mais escuros (fortes) indicam percentuais mais altos de uso de IA, e tons mais claros, percentuais menores – que apresenta dados de 2024, é possível perceber a distribuição da adoção de IA em diferentes setores e funções empresariais globais, revelando padrões de adoção que retratam a natureza transversal e estratégica dessa tecnologia.

Gráfico 4 - Utilização da IA por função e tipo de indústria nas empresas mundiais em 2022 (em % de utilização)

Indústria / Função	RH	TI	Manufatura	Marketing e Vendas	Processo produtivo	Compliance	Serviço operacional	Engenharia de Software	Finanças e Estratégia	Logística
Indústrias Avançadas	14%	36%	32%	39%	25%	21%	32%	27%	14%	32%
Negócios e serviços profissionais	20%	28%	4%	43%	37%	14%	32%	13%	21%	8%
Bens de consumo e varejo	13%	26%	15%	43%	26%	3%	24%	5%	6%	27%
Energia e Materiais	18%	40%	22%	23%	27%	17%	37%	19%	12%	22%
Serviços financeiros	21%	40%	1%	36%	31%	31%	40%	30%	15%	9%
Saúde e farmacêutica	22%	39%	7%	28%	28%	15%	24%	17%	8%	11%
Mídia e Telecom	27%	40%	12%	40%	31%	4%	43%	40%	6%	13%
Tecnologia	24%	48%	12%	47%	47%	19%	42%	45%	14%	14%

Fonte: McKinsey (2024); Elaboração Própria

A análise do Gráfico 4 demonstra que o setor de Tecnologia é o que mais utiliza IA dentro de suas operações ao redor do mundo. Nesse setor, o maior uso da IA ocorre em Tecnologia da Informação (TI), com 48% de adoção, seguidos de desenvolvimento de Produtos/Serviços (Processo produtivo) e Marketing e Vendas com 47% (Mckinsey, 2024).

Essa concentração de inovação é consistente com o que a taxonomia de Pavitt (1984) já descrevia para os setores de "base científica", que, por demandarem altos investimentos em P&D, encontram-se na vanguarda da inovação tecnológica e, nesse caso, a IA, como uma das principais tecnologias de fronteira da atualidade, encontra nesses setores um ambiente mais propício para o desenvolvimento e a aplicação. Tal análise é complementada e expandida pela de Castellacci (2008), que integra o setor de serviços, e mostra como setor de Tecnologia se alinha ao grupo de Provedores de Conhecimento Avançado (AKP), sendo possível associar a

IA não apenas como ferramenta, mas como produto central de sua atividade, atuando como a base de conhecimento para a inovação em todo o sistema.

Para além da indústria de Tecnologia, a IA demonstra um uso expressivo em diversas outras esferas. Em funções como Serviços Operacionais, por exemplo, ela é notavelmente empregada em Mídia e Telecom (43%) e Serviços Financeiros (40%), o que pode ser interpretado à luz do grupo de Serviços de Infraestrutura de Apoio (SIS) da taxonomia de Castellacci (2008), os quais se baseiam em inovações externas para aumentar a eficiência de suas redes e serviços, sendo a IA importante no processo de otimização e eficiência produtiva. Ademais, funções como Risco, e *Compliance*, e Recursos Humanos (RH) também revelam adoção significativa em várias indústrias, mostrando a ampla penetração da IA na gestão corporativa global.

No que tange aos setores Serviços Financeiros e Mídia e Telecom, além da liderança da Tecnologia, exibem alta intensidade na adoção geral da IA em múltiplas funções, como em serviços operacionais. Já setores como Bens de Consumo e Varejo e Negócios, Jurídicos e Serviços Profissionais utilizam fortemente a IA em Marketing e Vendas e Operações de Serviço, aproveitando a tecnologia para personalização e eficiência. A Manufatura, embora apresente percentuais de adoção mais modestos em funções como P&D e Operações, configura-se como um campo de crescente interesse para a IA, dada sua importância para automação e otimização de processos produtivos (Mckinsey, 2024).

Essa heterogeneidade na Manufatura reflete as diferentes categorias de Pavitt (1984), que distinguem entre os setores mais dinâmicos (base científica e intensivos em escala) e os menos dinâmicos (dominados por fornecedores), uma divisão que também se reflete na taxonomia de Castellacci (2008) nos grupos MPG e PGS, sendo que a inovação é mais focada na otimização de processos do que no desenvolvimento radical de novas tecnologias.

Nesse sentido, a diversidade de aplicações por função e setor ressalta a natureza transversal da Inteligência Artificial, a qual adapta-se às necessidades específicas e redefine modelos de negócio e cadeias de valor. A análise da adoção e dos benefícios da Inteligência Artificial em nível global revela um cenário de expansão e otimismo, impulsionado pela percepção generalizada de seu potencial para aumentar a eficiência, impulsionar a inovação e gerar valor. A ampla gama de suas aplicações a posiciona como um vetor estratégico indispensável à competitividade das firmas e ao crescimento econômico agregado (Mckinsey, 2024).

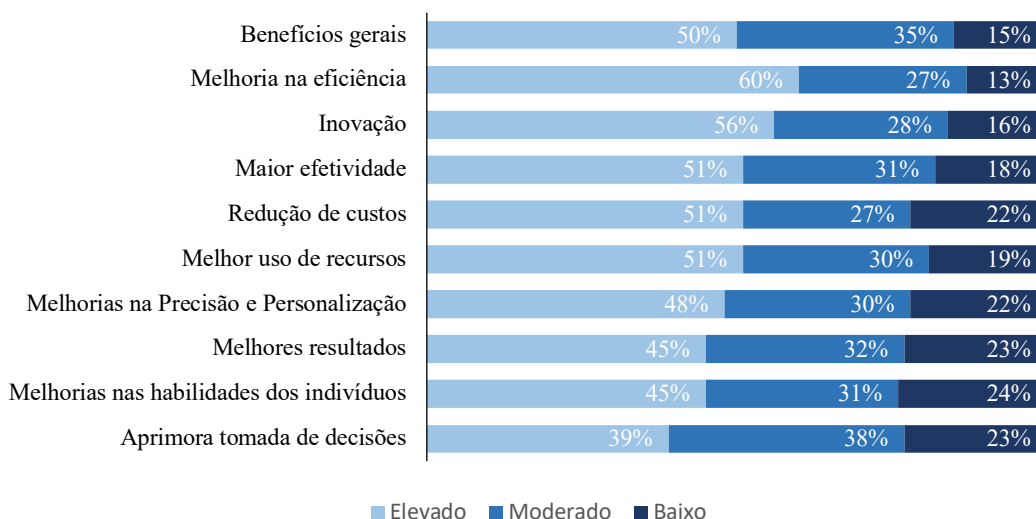
Diante desse cenário de expansão da Inteligência Artificial em nível global, é fundamental examinar os benefícios especificamente associados à sua adoção, uma vez que

servem como impulsionadores para o investimento das firmas e delineiam o potencial impacto de sua implementação.

Para isso, será introduzida uma pesquisa realizada pela Universidade de Queensland em 2023, em que foram coletados dados em 17 países, incluindo o Brasil, escolhidos conforme representatividade nas regiões globais, liderança em atividades de IA, diversidade no *Responsible AI index*, totalizando 17.193 respondentes, os quais correspondem a cidadãos desses países (mais de 90% deles são ou já estiveram empregados).

O gráfico 5 possui as categorias de percepção do grau do benefício (Elevado, moderado ou baixo) e ilustra, então, que os principais benefícios esperados da IA, como aumento da eficiência, inovação e redução de custos, são amplamente percebidos pelas organizações globalmente. Essa expectativa de retornos positivos funciona como um motor para a aceleração da adoção da tecnologia, mesmo diante dos custos e incertezas inerentes à sua implementação. Com isso, em relação aos resultados, percebe-se que a maioria dos respondentes (85% - considerando a percepção do benefício como elevada ou moderada) acredita que o uso dessa tecnologia resultará em aspectos positivos, com altas expectativas de aumento de eficiência, inovação, efetividade e redução de custos.

Gráfico 5 - Benefício do uso da IA ao redor do mundo em 2023 (em %)



Fonte: University of Queensland (2023); Elaboração Própria.

Nesse sentido, em um nível microeconômico, para as empresas, a IA possui diversas vantagens, desde ganhos substanciais de produtividade e eficiência operacional por meio da automação de tarefas repetitivas e otimização de processos, até a melhoria na qualidade de produtos e serviços. Adicionalmente, a capacidade analítica da IA possibilita uma tomada de

decisão mais assertiva, e com o desenvolvimento de novas funcionalidades e modelos de negócios inovadores, assim como apresentado nas teorias dos Schumpeterianos e neoschumpeterianos que enfatizam a inovação como motor da competitividade e da transformação (Schumpeter, 1942).

Em escala mais ampla, os benefícios da IA se estendem ao nível macroeconômico. A difusão da tecnologia tem o potencial de impulsionar o crescimento agregado e aumentar a competitividade das indústrias, viabilizando um processo de *catching-up* em setores estratégicos (Tigre, 2006), ou seja, aproximando em certas áreas da fronteira tecnológica. Ao possibilitar a adoção direta de soluções avançadas, a IA permite que uma modernização da estrutura produtiva dos países que a adotem e reduz a distância para os líderes globais, ainda que um salto tecnológico que configure *leapfrogging* permaneça como um desafio de longo prazo.

Apesar do cenário de expansão e otimismo delineado pela ampla adoção e pelos benefícios da IA (Gráficos 4 e 5), este dinamismo global, no entanto, é observado em um ambiente que ainda apresenta desafios significativos, especialmente para economias em desenvolvimento, como será explorado a seguir.

2.3.Desafios e Obstáculos à Implementação da Inteligência Artificial Globalmente

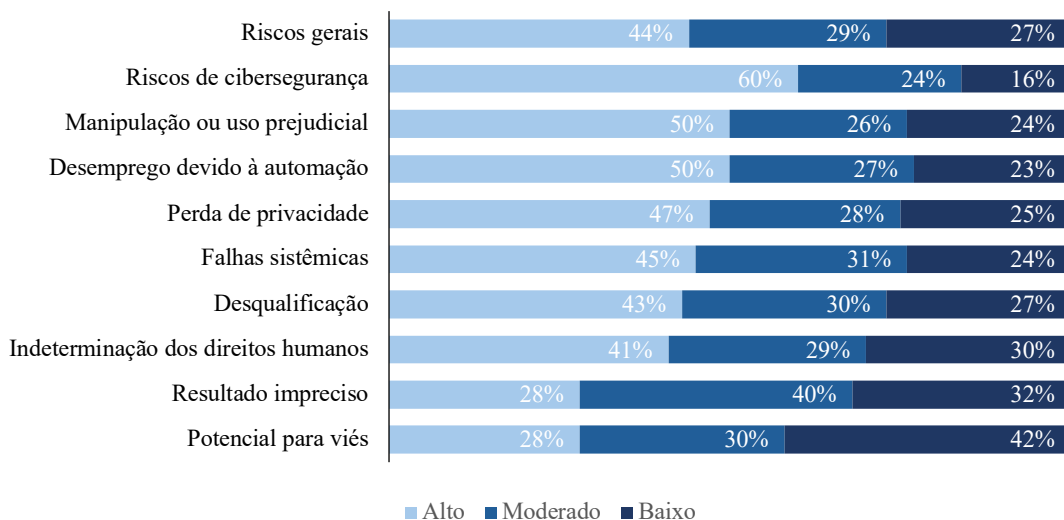
Apesar do vasto potencial de benefícios e do aumento global na adoção da Inteligência Artificial, sua implementação e difusão enfrentam múltiplos desafios e barreiras, e é crucial compreendê-las, pois impactam a velocidade e a abrangência da adoção da IA em diferentes contextos, especialmente em países com capacidades de inovação em desenvolvimento como o Brasil.

Esses desafios se dividem em diferentes dimensões. Em primeiro lugar, destacam-se os riscos inerentes à própria tecnologia e seu uso, que geram preocupações significativas. Conforme indicado pela pesquisa da Universidade de Queensland (2023), 73% dos entrevistados percebem riscos elevados ou moderados na implementação da IA. Os riscos mais citados incluem cibersegurança (elevado para 60% dos respondentes), manipulação ou uso perigoso da tecnologia, e o risco de perda de empregos devido à automação (University of Queensland, 2023).

A prevalência dessas preocupações se traduz em barreiras de ordem institucional e estratégica, pois a falta de governança robusta e regulamentação ética gera incerteza e faz com

que as empresas hesitem em investir. Adicionalmente, a necessidade de mitigar os impactos negativos exige estratégias de requalificação da força de trabalho e de robustos investimentos em segurança, o que eleva os custos e dificulta o processo de adoção da IA (University of Queensland, 2023).

Gráfico 6 - Riscos do uso da IA ao redor do mundo em 2023 (em %)



Fonte: University of Queensland (2023); Elaboração Própria.

Em segundo lugar, há barreiras práticas e de implementação que dificultam a adoção da IA pelas firmas (gráfico 7), alinhadas aos condicionantes técnicos, econômicos e institucionais da difusão tecnológica (Tigre, 2006).

Especialmente em nível das empresas, segundo Statista (2025), ao observar o gráfico 7, percebe-se que, as empresas têm como principais barreiras para adotar IA a escassez de profissionais qualificados (50%), a falta de visão estratégica da liderança (43%) e os altos custos (29%).

A escassez de profissionais qualificados é um desafio significativo e importante, pois faltam indivíduos com conhecimento técnico para o desenvolvimento, implementação e gestão de IA, além da capacidade de aplicar essas soluções em contextos de negócios específicos. A falta de uma visão estratégica ou de um entendimento claro dos benefícios da IA por parte da liderança pode dificultar a adoção da tecnologia, pois é necessário identificar casos de uso e desenvolver um roteiro para a integração. Por fim, os altos custos iniciais com tecnologias, *hardware*, *software* e desenvolvimento atuam como uma barreira considerável para muitas organizações.

Gráfico 7 - Barreiras enfrentadas pelas empresas para adotar IA em 2025 (em %)



Fonte: Statista (2025); Elaboração Própria.

Essas barreiras são especialmente desafiadoras em países com um Sistema Nacional de Inovação (SNI) menos desenvolvido, onde a articulação entre academia, setor produtivo e governo é mais frágil. Nesses contextos, a escassez de capital humano qualificado e a dificuldade de acesso a financiamento e infraestrutura tecnológica se tornam gargalos estruturais, acentuando o hiato tecnológico e dificultando a superação desses obstáculos a nível de firma (Albuquerque, 1999).

Com isso, o reconhecimento e a análise aprofundada dessas dificuldades globais são indispensáveis para compreender as causas da heterogeneidade na adoção da IA entre empresas e países, e para informar a formulação de estratégias gerenciais e políticas públicas eficazes que possam mitigar esses obstáculos e acelerar a difusão benéfica da IA.

Diante da magnitude dos desafios financeiros e técnicos, e da incerteza intrínseca à pesquisa e desenvolvimento em IA, torna-se pertinente questionar o papel das parcerias público-privadas (PPPs). Tais arranjos são relevantes para a complementaridade de recursos – no qual o setor público provê infraestrutura de pesquisa e fomento, e o privado a expertise de mercado e escalonamento – e, fundamentalmente, para o compartilhamento de riscos inerentes a investimentos de alto capital e incerto retorno. A colaboração entre governo, academia e empresas pode catalisar a difusão da IA superando barreiras que dificilmente seriam transpostas apenas pela iniciativa privada, especialmente em economias emergentes com Sistemas Nacionais de Inovação (SNIs) ainda em desenvolvimento, como é o caso do Brasil.

Em síntese, este capítulo estabeleceu um panorama abrangente da Inteligência Artificial em escala global, confirmando sua crescente adoção e o volume expressivo de investimentos, impulsionados pelos diversos benefícios percebidos. Contudo, a análise evidenciou a heterogeneidade nos padrões de difusão, com notáveis disparidades entre nações desenvolvidas e emergentes em termos de novas empresas e volume de capital. Ademais, os desafios, que incluem desde riscos tecnológicos e éticos até barreiras financeiras e de capital humano, retratam a complexidade da implementação da IA e a necessidade de estratégias que considerem tanto os custos e incertezas quanto o potencial de parcerias.

Com isso, este panorama global, embasado em dados recentes e relatórios de instituições de pesquisa, serve como um referencial crucial para aprofundar, no próximo capítulo, a análise específica da utilização e dos desafios da Inteligência Artificial pelas firmas brasileiras.

CAPÍTULO 3: INOVAÇÃO E IA: EVIDÊNCIAS PARA O BRASIL

O objetivo deste capítulo é caracterizar a utilização da Inteligência Artificial no ambiente empresarial brasileiro, fundamentando-se nos resultados das pesquisas TIC Empresas 2023 e PINTEC Semestral 2022. Nesse sentido, o enfoque está na mensuração da difusão da IA, a identificação de seu uso específico na indústria de transformação, análise dos benefícios e dificuldades associados à sua implementação.

3.1. Padrões de Adoção e Utilização da Inteligência Artificial no Cenário Empresarial Brasileiro

Após observar dados globais, será analisada a pesquisa TIC Empresas para compreender a utilização dessa tecnologia por companhias brasileiras como um todo para, em seguida, aprofundar no estudo associado à indústria de transformação. Essa mapeia a incorporação das TICs entre as empresas brasileiras com mais de dez pessoas ocupadas, investigando práticas de comércio eletrônico, segurança digital e adoção de tecnologias emergentes, para entender as características que compõem a economia digital. Para esse estudo, será analisada fundamentalmente a edição mais recente, de 2023, que foi realizada por telefone e ocorreu entre março e dezembro de 2023, com 45.548 empresas abordadas e 4.457 entrevistadas mais profundamente para obter resultados por porte, região, setor de atividade econômica e áreas de negócio (CETIC, 2023).

Com isso, o estudo apresentou que de, aproximadamente 480.000 empresas brasileiras em 2023, apenas 13% delas utilizaram Inteligência Artificial em suas operações.

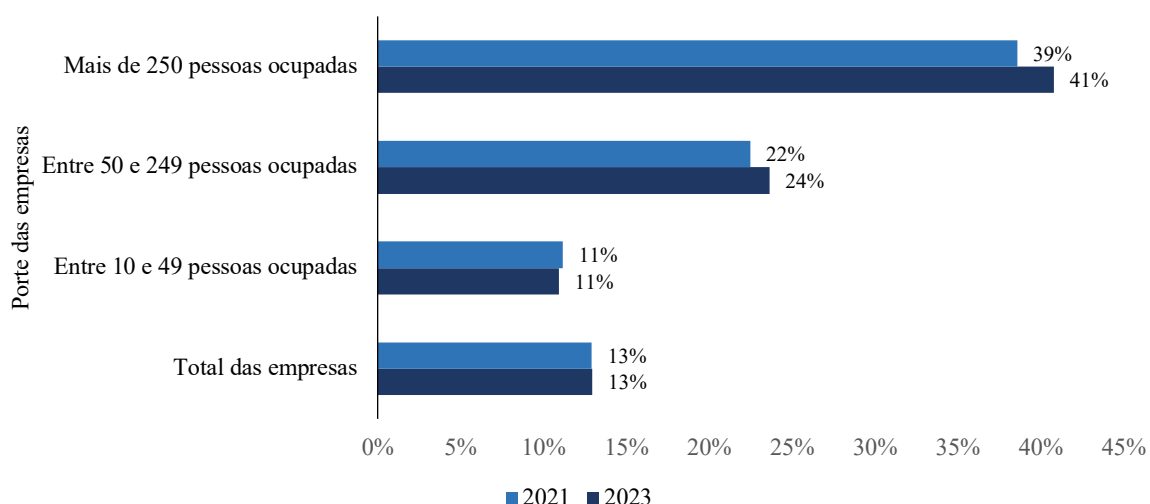
Ao realizar uma análise por porte, fica evidente que, embora a quantidade de empresas de pequeno porte seja maior e tenha o maior número absoluto que usaram IA, ao observar o percentual de uso pelo total por porte (Gráfico 8), as menores (entre 10 e 49 pessoas ocupadas) são as que menos utilizaram IA (apenas 11%), enquanto as de mais de 250 pessoas ocupadas são as que mais usaram (41%). E vale destacar que, ao comparar 2021 com 2023 (gráfico 8), o percentual de utilização de IA aumentou para as firmas de grande e médio porte, mas reduziu para as de pequeno porte.

Essa disparidade na adoção reflete a natureza intensiva da IA em termos de recursos, custos e conhecimentos especializados, o que tende a ser uma barreira mais alta para firmas de menor porte. Isso ocorre, pois, conforme a teoria das rotinas de Nelson e Winter (1982), as

empresas maiores possuem capacidades organizacionais e de investimento que permite com que consigam absorver e integrar inovações complexas de forma mais eficaz.

Além disso, a disparidade na adoção de IA entre firmas de diferentes portes no Brasil pode ser explicada pela economia de escala, que favorece as grandes companhias, visto que as maiores conseguem diluir os altos custos iniciais com máquinas e equipamento e a contratação de mão de obra especializada em uma escala de produção mais ampla, o que possibilita reduzir o custo médio por unidade produzida e, com isso, maior eficiência produtiva.

Gráfico 8 - Comparação por porte do uso de IA pelas empresas brasileiras em 2021 e 2023
(em %)

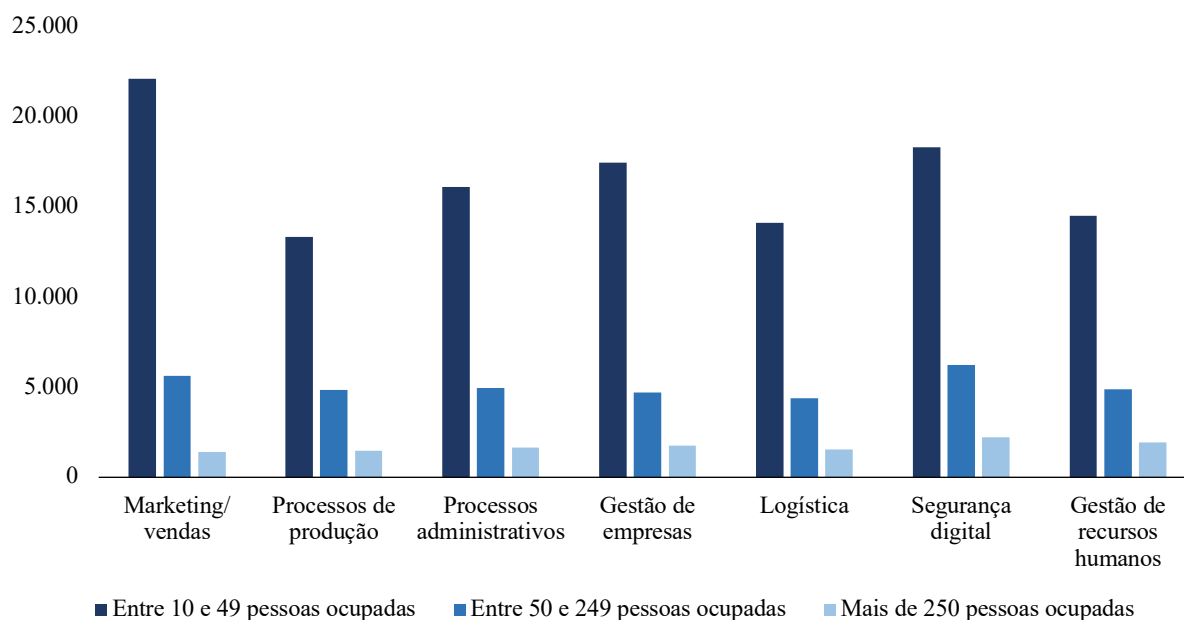


Fonte: Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (2023);
Elaboração própria.

Além da compreensão do uso da IA por porte, é importante observar quais os tipos de aplicação dessa utilização demonstram maior relevância (gráfico 9). Para as empresas com número menor de funcionários, essa tecnologia foi mais utilizada para marketing, segurança digital e gestão empresária. Para as de médio porte (entre 50 e 249 pessoas ocupadas), principalmente para segurança digital, *marketing* e processos administrativos, respectivamente. Por último, as empresas com mais de 250 funcionários utilizaram principalmente para segurança digital, gestão de recursos humanos e gestão de empresas.

Ao comparar os dados de 2023 com 2021, fica evidente que mesmo sendo um dos tipos de aplicação mais utilizados pelas empresas brasileiras, a segurança digital teve forte redução em seu uso em 2023, assim como questões administrativas e logística, enquanto *marketing* e vendas apresentou um forte aumento na utilização em 2023 quando comparado à 2021.

Gráfico 9 - Utilização de IA por porte e tipo de aplicação por empresas brasileiras em 2023
(em número de empresas)



Fonte: Centro Regional de Estudos para o Desenvolvimento da Sociedade da Informação (2023);
Elaboração própria.

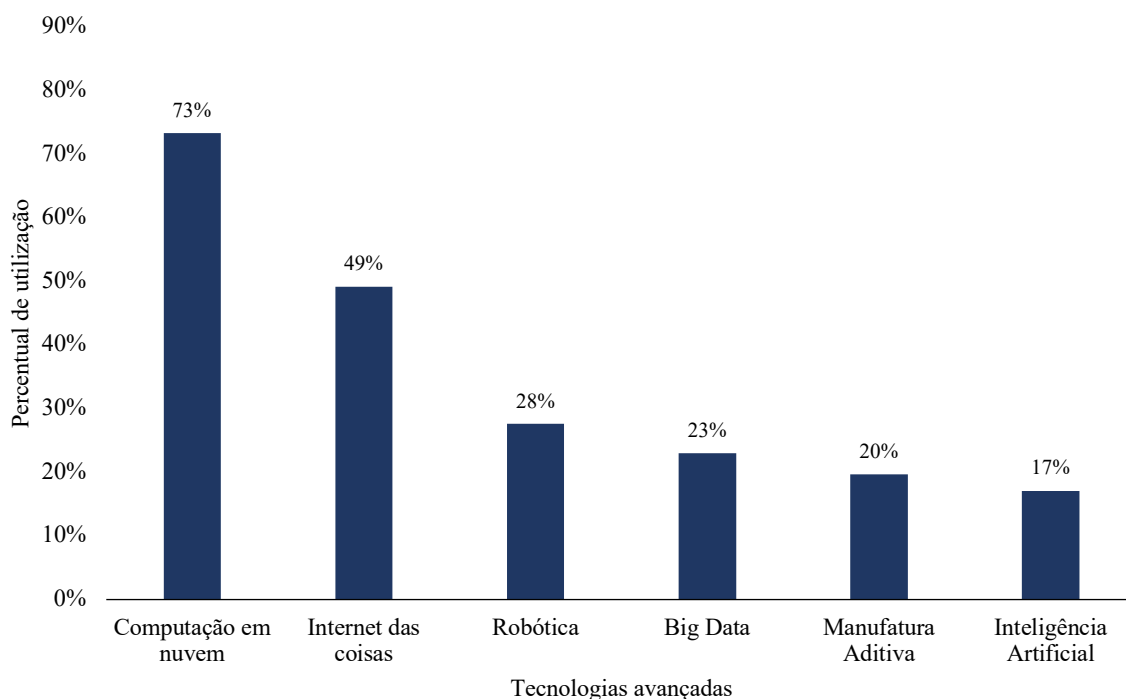
Após analisar como a IA vem sendo utilizada pelas empresas brasileiras, é válido focar na indústria de transformação, uma vez que sua adoção de IA (17%) é significativamente superior à da indústria extrativa (9%), segundo a Pintec Semestral (2022). Essa diferença reflete a natureza da inovação em cada setor: a indústria extrativa foca principalmente na otimização de processos de extração e redução de custos, enquanto a de transformação busca a criação de valor agregado e novos produtos, mas também otimizar processos. Adicionalmente, essa abordagem setorial permite avaliar a competitividade da indústria brasileira em um mercado global cada vez mais digital, discernindo áreas de melhoria e oportunidades de crescimento.

Após apresentar um panorama geral da adoção de IA pelas empresas brasileiras com base na pesquisa TIC Empresas, será aprofundada a análise no setor da indústria de transformação, utilizando dados da PINTEC Semestral 2022, a qual utilizou dados temáticos sobre Tecnologias Avançadas. Essa pesquisa realizou a construção de indicadores setoriais e nacionais de diversas atividades de inovação de firmas brasileiras com 100 ou mais empresas ocupadas, compostas por um universo de investigação de Indústrias Extrativas e de Transformação (PINTEC, 2022).

De acordo com os dados da pesquisa da PINTEC (2022), percebe-se que a indústria brasileira vem adotando cada vez mais tais tecnologias para impulsionar aumento da competitividade e eficiência. No entanto, a IA ainda não é a tecnologia de destaque, pois ao analisar o percentual de utilização associado ao número total de empresas da Indústria de Transformação, as mais utilizadas pelas atividades da indústria de transformação em 2022 (gráfico 10) foram Computação em Nuvem (73% das indústrias), Internet da Coisas (49%) e robótica (28%), mas a menos utilizada foi a Inteligência Artificial, com menos de 20% de utilização em atividades da Indústria.

Essa baixa taxa de adoção indica um descompasso significativo da indústria brasileira em relação à fronteira tecnológica global e aponta para a necessidade de compreender os principais *drivers* e barreiras enfrentados pelas indústrias.

Gráfico 10 - Tecnologias avançadas mais utilizadas pela indústria de transformação em 2022 (em %)



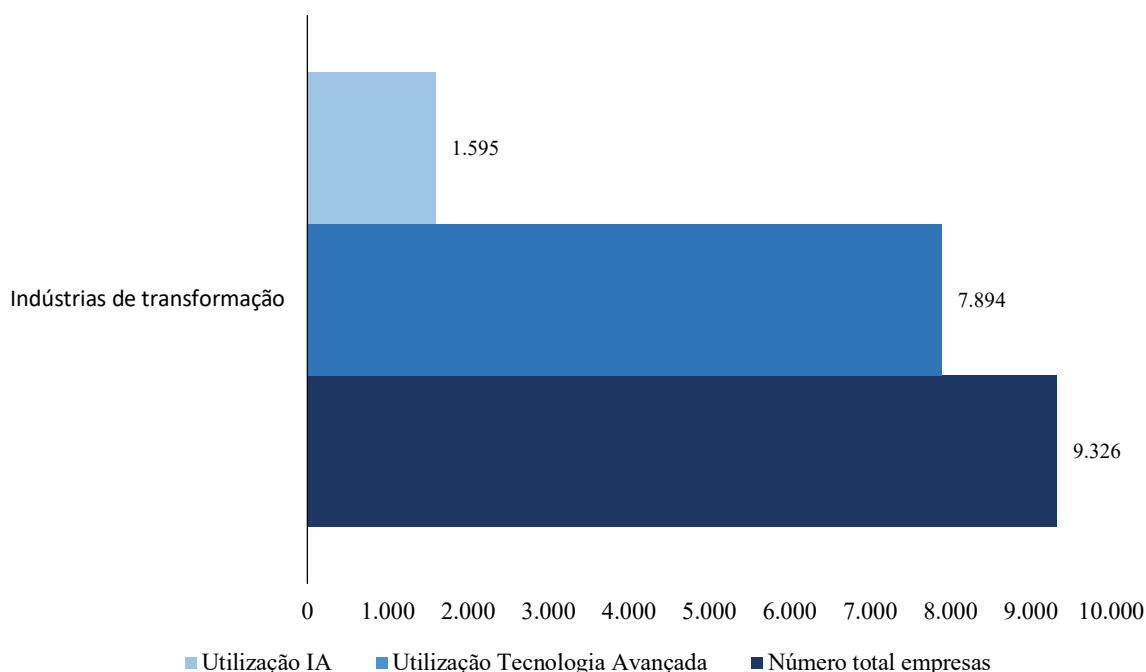
Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração Própria.

A partir do gráfico 11, percebe-se que do número total de indústrias brasileiras que utilizou algum tipo de tecnologia avançada em 2022, somente 1.595 (menos de 20%) usaram especificamente a Inteligência Artificial, o que mostra a baixa utilização desse tipo de tecnologia avançada no país pelas indústrias.

Este baixo percentual de adoção da IA na indústria de transformação brasileira contrasta significativamente com as elevadas taxas de adoção observadas globalmente (McKinsey,

2024). Embora a comparação direta deva considerar diferenças metodológicas entre as pesquisas (PINTEC vs. McKinsey), visto que a McKinsey analisa um conjunto diverso de empresas ao redor do mundo e inclui indicadores distintos, a disparidade ressalta o hiato de digitalização e a necessidade de entender os fatores específicos que limitam a difusão da IA neste setor no Brasil, um reflexo dos desafios estruturais do SNI brasileiro (Albuquerque, 1999).

Gráfico 11 - Número de indústrias brasileiras que utilizaram tecnologias avançadas e IA dentre o número total de empresas em 2022



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração Própria.

No que se refere aos setores da indústria de transformação que mais utilizam IA, uma análise mais aprofundada por meio das taxonomias de Pavitt (1984) e Castellacci (2008) oferece *insights* valiosos sobre a dinâmica setorial no Brasil. Para isso, foi feito o cálculo do número de empresas de cada setor que utilizam IA dividido pelo número total de empresas do setor e, ao analisar os resultados, os maiores percentuais de utilização estiveram nos setores Equipamentos de Informática e Tecnologia (50%), Produtos Derivados do Petróleo (34%) e farmacêutica (30%) (Gráfico 12), revelando que o uso da IA está concentrado em setores que se alinham às categorias de alta intensidade tecnológica ou intensivos em escala.

Com isso, o setor de informática e tecnologia, por exemplo, pode ser associado ao grupo de Provedores de Conhecimento Avançado (AKP) de Castellacci (2008), enquanto o de farmacêutica pode ser enquadrado na categoria de Produtores de Bens de Produção em Massa

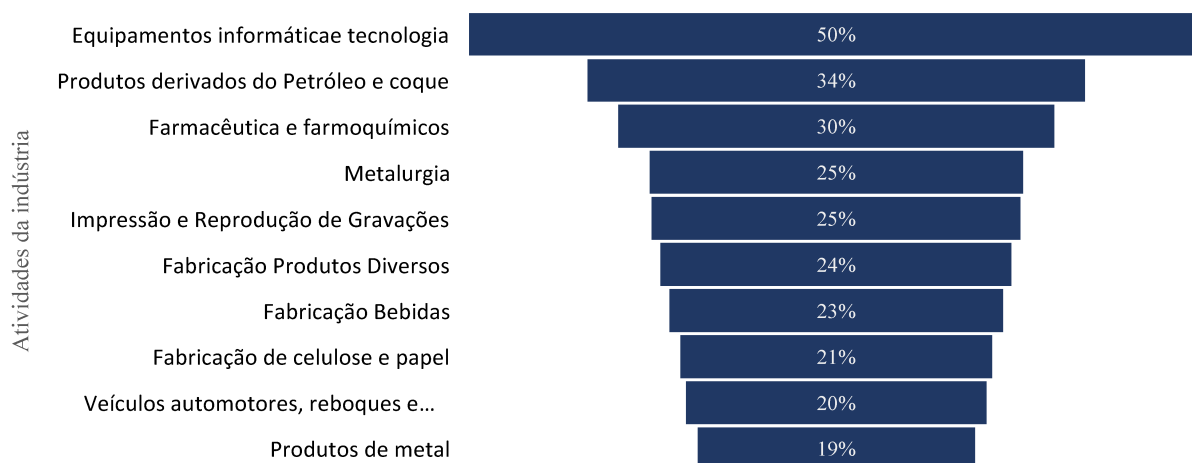
(MPG) de base científica e intensivos em escala de Pavitt (1984), em que a inovação se deriva, principalmente, do aperfeiçoamento contínuo de processos para minimizar custos. Isso sugere que, embora a adoção geral da IA seja reduzida, a inovação em IA no Brasil segue um padrão global, concentrando-se nos setores mais dinâmicos e na fronteira do conhecimento. E, para Produtos Derivados do Petróleo, esses podem ser enquadrados na taxonomia de setores intensivos em escala, visto que são indústrias que exigem elevados investimentos em capital com foco em otimizar processos de refino e produzir volumes massivos, visando ganhos de escala e performance.

Ademais, há um padrão de adoção da IA que desafia as expectativas convencionais e enriquece a discussão sobre a difusão tecnológica. Setores como Impressão e Reprodução de Gravações (25%) e Fabricação de Bebidas (23%) apresentam um percentual de utilização superior ao de Veículos Automotores (20%). Este resultado contraintuitivo sugere que a adoção de IA não está ligada apenas à intensidade tecnológica geral de um setor.

Nos casos de impressão e bebidas, a tecnologia oferece soluções de alto impacto para a otimização de processos digitais, gestão da cadeia de suprimentos e controle de qualidade, áreas altamente suscetíveis a ganhos de eficiência com a tecnologia. Em contrapartida, o setor automotivo, embora tecnologicamente avançado, possui uma maturidade consolidada em robótica tradicional, que é distinta da IA. A menor taxa de adoção neste setor indica que a barreira para integrar sistemas inteligentes em linhas de produção massivas e já automatizadas é significativamente maior, exigindo investimentos e reestruturações mais complexas.

Portanto, o achado evidencia que a difusão da IA é determinada não apenas pelo dinamismo tecnológico de um setor, mas também pela natureza de seus desafios operacionais e pela complexidade de integração da tecnologia em sua base produtiva já existente.

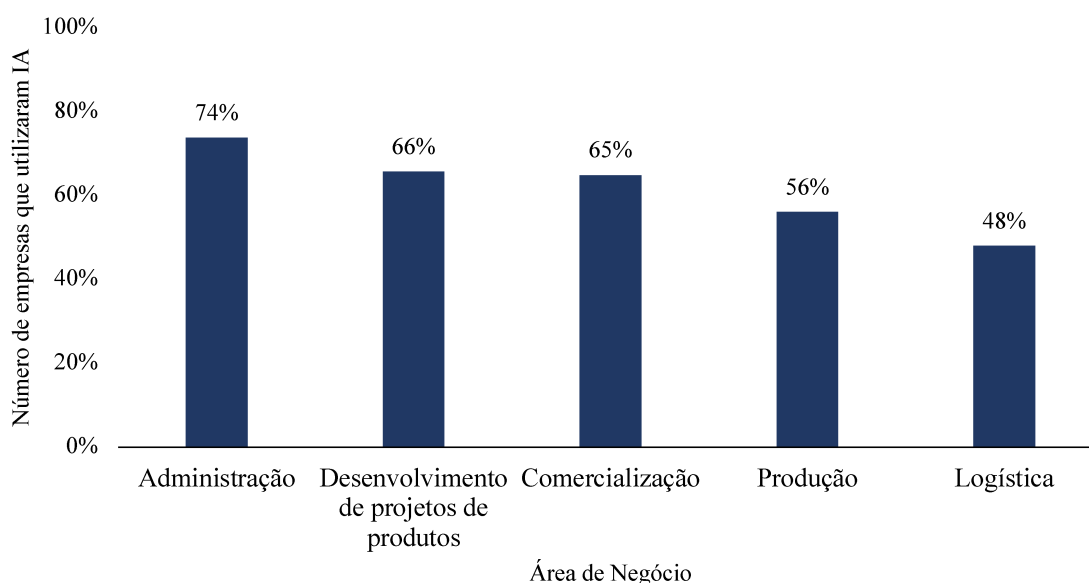
Gráfico 12 - Dentre as atividades industriais, porcentagem (%) das que mais utilizaram Inteligência Artificial em 2022



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração Própria.

Ademais, cabe ressaltar as áreas de negócio em que houve maior uso de IA (gráfico 13): administração, seguida de desenvolvimento de projetos e produtos e a comercialização. Isso indica que, como administração foi a mais usada, as indústrias buscam automatizar tarefas repetitivas, como o processamento de dados, geração de relatórios e elevação de produtividade, mas isso está muito mais centrado em otimizar processos internos, porém, como a segunda área que mais usou IA foi para desenvolver produtos e processos, percebe-se que há sim esforços inovativos ao buscar melhorias e realizar investimentos em P&D.

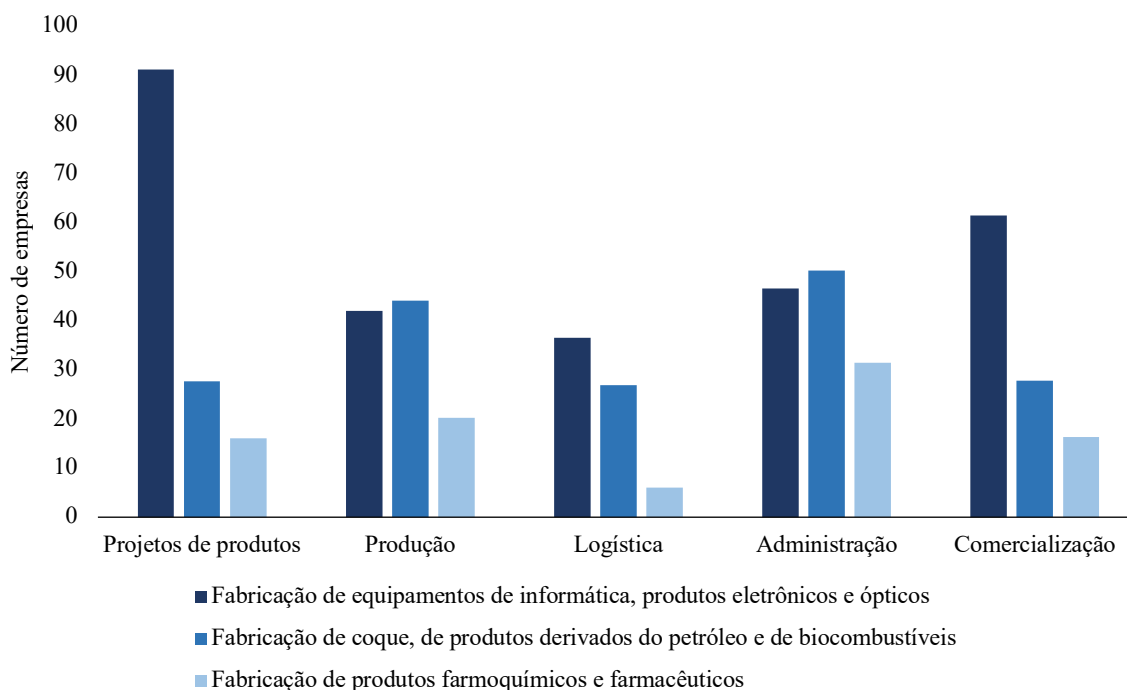
Gráfico 13 – Percentual de empresas da Indústria de Transformação que utilizaram Inteligência Artificial por áreas de negócio em 2022 (em %)



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração Própria.

Em seguida, após compreender o uso de IA por áreas de negócio do total de indústrias da transformação, será feita uma análise específica para os três setores que mais utilizaram essa tecnologia avançada (gráfico 14). Inicialmente, para os equipamentos de Informática e Eletrônicos, esse é o setor que mais usou IA para desenvolvimentos de produtos e processos, o que indica que possui maiores esforços inovativos. Já para o de fabricação de petróleo o foco está em áreas administrativas e produtivas, assim como produtos farmoquímicos e farmacêuticos.

Gráfico 14 - Número de empresas que utilizaram Inteligência Artificial por área de negócio dos 3 setores que mais a utilizaram em 2022



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração Própria.

Em síntese, a análise dos dados das pesquisas TIC Empresas (2023) e PINTEC Semestral (2022) revelou um panorama de adoção da IA ainda incipiente e heterogêneo. Entretanto, há uma concentração em empresas de maior porte e em setores de alta intensidade tecnológica, que se alinham às categorias de Provedores de Conhecimento Avançado e Produtores de Bens de Produção em Massa da taxonomia de Castellacci (2008), demonstrando que a inovação em IA no país segue um padrão global, mas em escala limitada. Essa dinâmica ressalta o hiato tecnológico em que o Brasil se encontra. Com isso, serão discutidos os fatores

que impulsionam ou dificultam essa adoção, bem como os benefícios percebidos pela utilização.

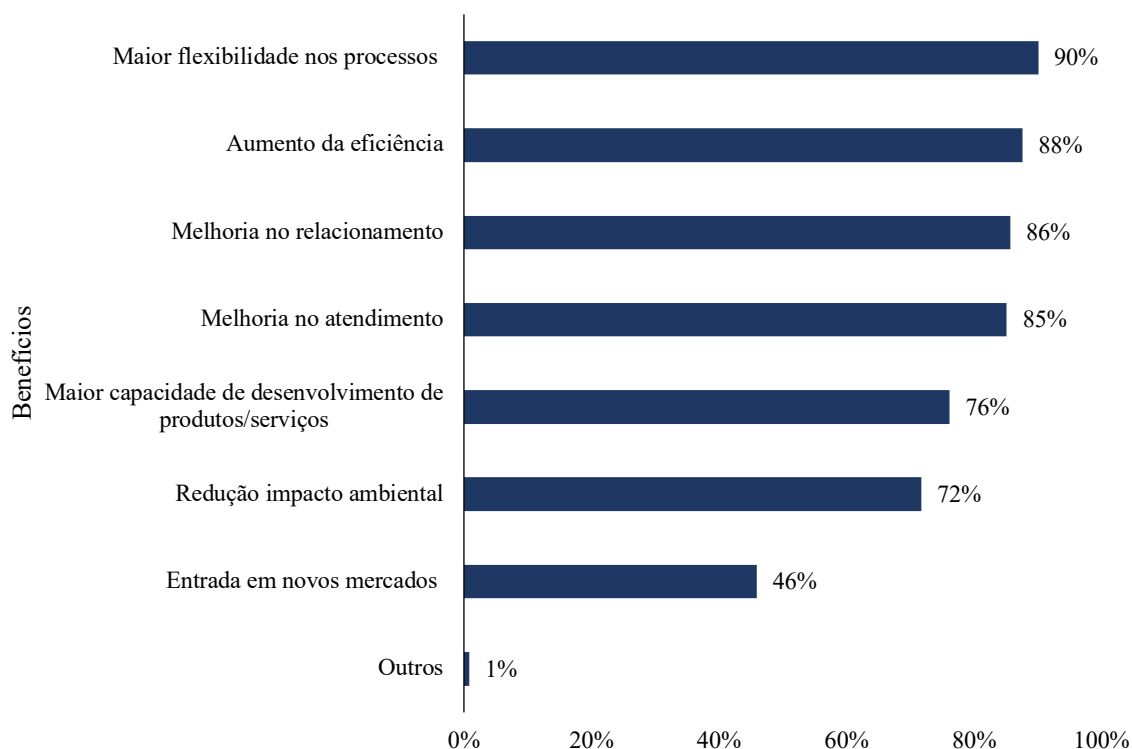
3.2. Benefícios Percebidos da Inteligência Artificial por Empresas Brasileiras

Após compreender o nível de uso da Inteligência Artificial e por área de negócio na indústria brasileira, é interessante analisar seus benefícios, fatores que contribuíram e dificultaram a sua utilização.

Em relação aos benefícios (gráfico 15), as indústrias que utilizaram algum tipo de tecnologia avançada afirmam que essa tecnologia permite principalmente maior flexibilidade nos processos, melhoria no atendimento e aumento da eficiência.

A percepção desses benefícios por parte das empresas brasileiras reforça o potencial da tecnologia avançada como um vetor de transformação e um diferencial competitivo, em consonância com as teorias da inovação que destacam o papel da tecnologia no impulsionamento da produtividade e do desenvolvimento econômico (Schumpeter, 1942).

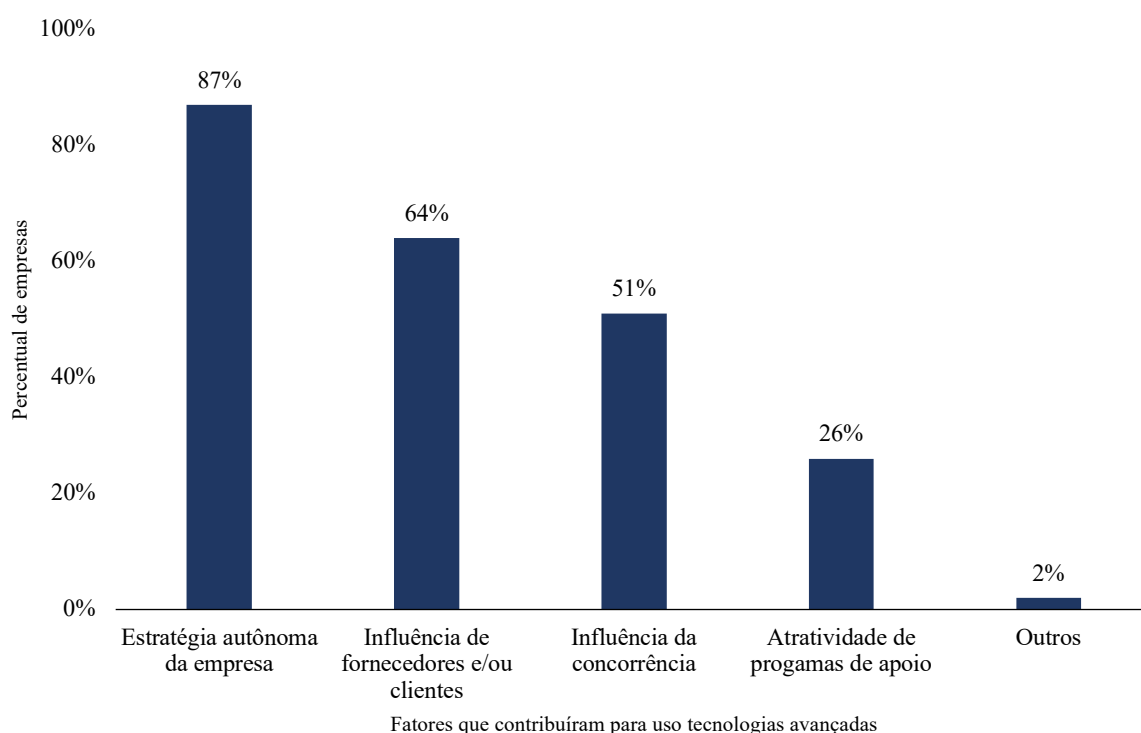
Gráfico 15 - Benefícios obtidos pela Indústria da Transformação pelo uso de Tecnologias Avançadas em 2022 (em %)



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração Própria.

Adicionalmente, a PINTEC Semestral 2022 investigou os fatores que mais contribuíram para a adoção das tecnologias digitais avançadas na indústria de transformação brasileira (Gráfico 16). Para isso, foram considerados as empresas que utilizaram tecnologias avançadas e os fatores que elas disseram ter contribuído para essa adoção (considerando que os respondentes poderiam responder mais de um fator).

Gráfico 16 - Número de empresas que adotaram tecnologias digitais avançadas na indústria de transformação considerando os fatores que contribuíram para essa adoção em 2022 (em %)



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração Própria.

Os resultados apontam para a estratégia autônoma das indústrias, a influência de fornecedores e clientes, e a concorrência como principais impulsionadores. Estes fatores demonstram que a decisão de inovar e adotar tecnologias como a IA é motivada tanto por uma visão estratégica interna da firma (Tigre, 2006) quanto pelas pressões do ambiente externo (concorrência, cadeia de valor).

A influência da concorrência, por exemplo, alinha-se ao conceito de "destruição criativa" de Schumpeter (1942), segundo o qual as empresas precisam inovar para se manterem no mercado. Da mesma forma, a relevância dos fornecedores e clientes, por sua vez, reforça a perspectiva sistêmica da inovação, na qual a difusão de inovações ocorre por meio das interações e da troca de conhecimento e tecnologia entre produtores, fornecedores e usuários.

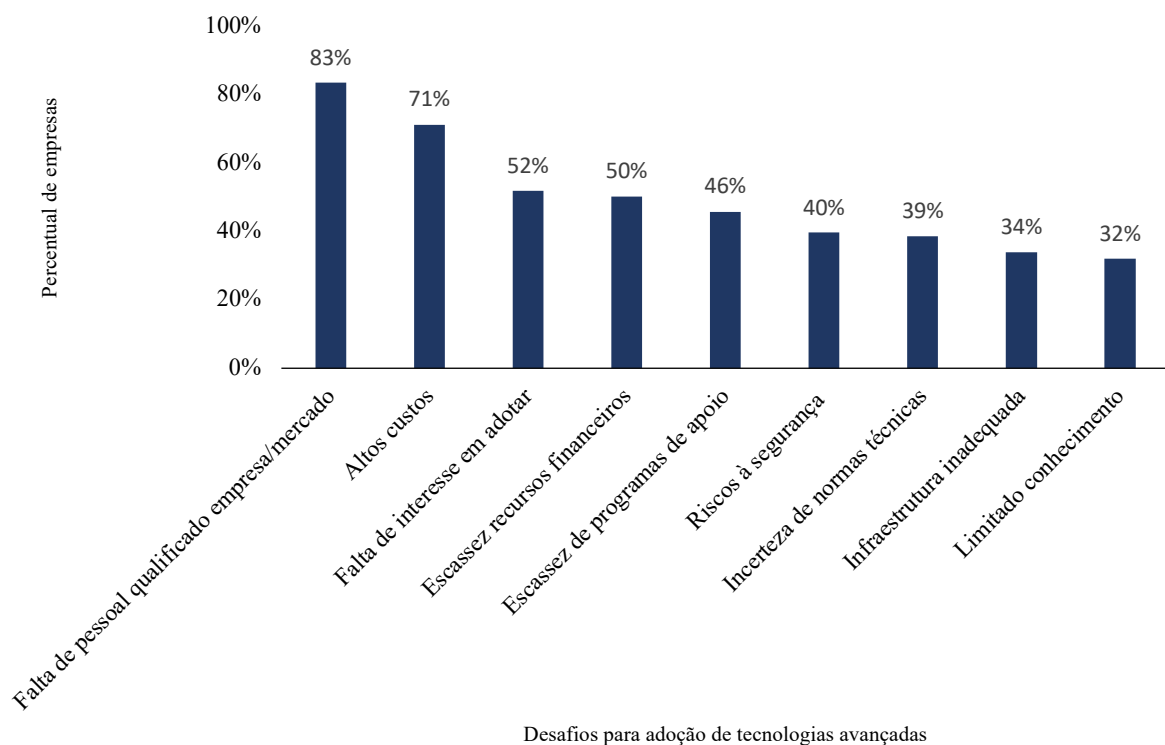
Em suma, enquanto os benefícios percebidos e a dinâmica de mercado atuam como forças motrizes para a adoção da IA no Brasil, esses esforços são frequentemente contidos por um conjunto de desafios e barreiras significativas. A análise desses obstáculos é crucial para compreender por que, apesar dos *drivers* positivos, o nível de adoção da IA no país permanece contido.

3.3.Desafios e Barreiras à Adoção da Inteligência Artificial por Empresas Brasileiras

Em contrapartida aos benefícios percebidos, a adoção da Inteligência Artificial e de outras tecnologias avançadas pelas empresas brasileiras, especialmente na indústria de transformação, é significativamente dificultada por um conjunto de barreiras persistentes.

Nesse sentido, os fatores que mais dificultaram a adoção das tecnologias digitais avançadas pelas empresas brasileiras foram, principalmente: os elevados custos, a falta de pessoal qualificado e a falta de interesse em adotar.

Gráfico 17 - Fatores que dificultaram adoção das tecnologias digitais avançadas por empresas brasileiras em 2022 (em %)



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração Própria.

Nesse sentido, a falta de pessoal qualificado é identificada como o principal obstáculo no Brasil (Gráfico 17), tanto internamente na empresa, quanto no mercado. Esse pode ser associado a uma falha crítica no Sistema Nacional de Inovação (SNI) do Brasil (Albuquerque, 1999), dada certa incapacidade de formar capital humano com as competências necessárias em ciência de dados e IA, o que cria um desequilíbrio entre a demanda das empresas e a oferta de mão de obra, elevando os custos de contratação e treinamento, e limitando a capacidade de as empresas absorverem novas tecnologias.

Destaca-se a barreira dos altos custos, que pode ser considerada um reflexo direto dos condicionantes econômicos da difusão tecnológica (Tigre, 2006). Isso pode ser percebido, pois, em uma economia como a brasileira, com taxas de juros elevadas e menor acesso a financiamento de risco, o alto investimento inicial em máquinas e equipamentos tecnológicos de *hardware* e *software* é um gargalo para um número elevado de empresas, especialmente as de menor porte. Esses obstáculos, portanto, transcendem a esfera da firma e indicam uma fragilidade sistêmica que exige uma resposta coordenada e, em conjunto, minam a capacidade do país de executar uma estratégia de *catching-up* eficaz na era da IA, mantendo-o em uma trajetória de dependência tecnológica e aprofundando o hiato em relação às nações líderes.

Após analisar os maiores desafios para implementação das tecnologias avançadas, é interessante comparar com as barreiras de adoção em nível global e no Brasil, pois revela um cenário de semelhanças e algumas particularidades. Para ambos os contextos, os desafios de altos custos e a escassez de pessoal qualificado são predominantes, mesmo que a fonte de dados seja distinta. Globalmente, a principal dificuldade reportada pelas empresas é a escassez de mão de obra qualificada. Da mesma forma, no contexto brasileiro, também há de ambos os desafios. Entretanto, enquanto no Brasil a falta de interesse na utilização e escassez de programas de apoio são fortes obstáculos, no cenário global destaca-se a falta de visão estratégica das lideranças e falta de customização às necessidades de empresas locais.

Em suma, a dinâmica da adoção da IA no Brasil é moldada por uma complexa rede de fatores. Embora a percepção dos benefícios da tecnologia e a pressão do mercado impulsionem a inovação, esses esforços são frequentemente contidos por barreiras estruturais. Nesse sentido, essas dificultam a capacidade do país de se posicionar plenamente na fronteira do conhecimento, limitando seu potencial de crescimento econômico e competitividade.

Para mitigar a fragilidade estrutural do Sistema Nacional de Inovação (SNI), a atuação de instituições que fomentam a colaboração entre os setores público e privado é fundamental. Nesse sentido, organizações como o SENAI (Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial) e a EMBRAPII (Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial) emergem como exemplos

de articulação estratégica. O SENAI pode desempenhar um papel na superação da falta de pessoal qualificado por meio da criação de programas de formação profissional. Já a EMBRAPA, por meio do cofinanciamento de projetos de P&D em colaboração com o setor privado, pode auxiliar na mitigação dos altos custos de implementação e no compartilhamento dos riscos associados à inovação, por meio de incentivos à inovação para empresas. A existência de iniciativas como essas demonstra a importância de uma governança coordenada para catalisar a difusão da IA e, por consequência, fortalecer a competitividade da indústria nacional.

3.4 Potencialidades e Aplicações da IA no Cenário Empresarial Brasileiro

Apesar das barreiras estruturais que limitam sua difusão, a IA oferece diversas potencialidades empresariais no Brasil, cuja aplicação pode acelerar o processo de *catching-up* tecnológico. O crescente interesse pela tecnologia representa possibilidade à inovação, como demonstram diversas aplicações práticas apresentadas a seguir.

Em termos de produtividade, a aplicabilidade da IA é transversal e já se materializa em ganhos de eficiência em setores distintos. A Intelbras (2024), por exemplo, exemplifica a aplicação da IA em um setor de base científica, direcionando a tecnologia para o desenvolvimento de produtos, como em seus *softwares* de segurança que unificam o gerenciamento de câmeras inteligentes com reconhecimento facial. No varejo de moda, a Renner emprega algoritmos para prever tendências e otimizar suas coleções, além de ter sido pioneira no uso de Identificação por Radiofrequência (RFID) — uma tecnologia que utiliza etiquetas com sinais de rádio para permitir o controle do estoque em tempo real, de forma automática e precisa (Infomoney, 2024).

Até em setores tradicionais, como o de materiais de construção, a firma Dexco utiliza IA para otimizar a cadeia produtiva e em ferramentas como o "superapp do vendedor", que auxilia na recomendação de pedidos aos consumidores (Convergência Digital, 2022). Esses casos exemplificam como essa tecnologia avançada otimiza cadeias de suprimentos e automatiza processos complexos, sendo vital para que as empresas brasileiras mantenham competitivas.

Em setores de alto impacto social, como a saúde e o agronegócio, o potencial da IA também é evidente e pode ser observado pela capacidade de auxílio em diagnósticos por imagem com alta precisão e pela viabilidade de processos da agricultura de precisão por meio de dados de sensores e drones, aplicações que podem gerar não apenas ganhos econômicos, mas também avanços sociais significativos para o país.

Contudo, a expansão da IA impõe desafios cruciais no âmbito do trabalho e da ética. A automação intensifica a necessidade de requalificação da mão de obra, um ponto crítico para o Brasil, onde a falta de pessoal qualificado é o principal entrave. E, no campo regulatório, o avanço de propostas no Senado e o desenvolvimento do Plano Brasileiro de Inteligência Artificial demonstram um esforço para equilibrar inovação com direitos individuais e governança ainda que essas questões legais demandem muitos esforços ainda para que sejam efetivas em regulamentar a força disruptiva que é a IA (Rosa, 2025).

Portanto, a capacidade do Brasil de realizar plenamente as potencialidades da IA e mitigar seus riscos dependerá diretamente da superação das barreiras estruturais de seu SNI. Com isso, a transformação do desafio do *catching-up* em uma oportunidade real de desenvolvimento socioeconômico está condicionada à articulação de investimentos em infraestrutura, capacitação humana e um arcabouço regulatório que fomente a inovação de forma ética e inclusiva.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a adoção da Inteligência Artificial (IA) no cenário empresarial brasileiro pós-2022, comparando-o ao panorama global para compreender se há ou não uma heterogeneidade nessa adoção, a partir de uma fundamentação teórica, fundamentada pelas abordagens Schumpeteriana e Neo-Schumpeteriana. Com base na hipótese de que o Brasil apresenta um nível de adoção incipiente e heterogêneo em comparação ao panorama global, o trabalho buscou validar essa premissa por meio da análise de dados secundários e da aplicação do arcabouço teórico.

Com isso, a fundamentação do trabalho, que explorou as abordagens Schumpeteriana e Neo-Schumpeteriana (Nelson; Winter, 1982; Schumpeter, 1942; Possas, 1989), foi essencial para compreender os dados empíricos do trabalho. A partir dessa lente teórica, a IA não é vista apenas como uma tecnologia, mas como um vetor de inovação radical e um motor de "destruição criativa" que redefine a dinâmica competitiva, na qual as empresas que se adaptam e inovam tendem a prosperar, enquanto as demais podem perder espaço no mercado. A análise dos dados empíricos do trabalho confirmou essa dinâmica, revelando que as empresas de maior porte e com maiores capacidades e rotinas de inovação são as que mais adotam a IA, demonstrando que a competitividade na era digital está intrinsecamente ligada à capacidade da firma de se manter em um "esforço de busca" contínuo por novas soluções.

A discussão sobre Revoluções Tecnológicas e Mudanças de Paradigmas (Perez, 2022) também se mostrou central para a análise do estudo, visto que a Inteligência Artificial foi contextualizada como um fator-chave e um desenvolvimento fundamental dentro da atual Revolução das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs). No entanto, a baixa adoção no Brasil indica que a economia nacional ainda não está plenamente alinhada com as oportunidades deste novo paradigma, o que exige a articulação estratégica para não ficar ainda mais distante da fronteira do conhecimento.

Essa análise reforça a perspectiva de Perez (2024), que posiciona a IA como um desenvolvimento crucial, ainda inserido na "*Golden Era*" das TICs, um período de forte destruição criativa e reestruturação econômica. A dificuldade do Brasil de se alinhar a esse novo paradigma tecnológico perpetua o "hiato tecnológico" (*technology gap*) descrito por Fagerberg e Srholec (2009), que não se resume apenas à distância em inovações produzidas, mas à complexidade de absorver, adaptar e explorar o conhecimento tecnológico disponível para impulsionar o desenvolvimento econômico.

Em seguida, foi realizada a análise mais específica sobre Inteligência Artificial (Tigre, 2006) com intuito de compreender sua definição, trajetória, componentes, como é difundida e o que representa nessa Era da Informação. Com isso, foi percebido que diversos órgãos nacionais e internacionais concordam ao defini-la como a capacidade de sistemas de simularem habilidades cognitivas humanas, de forma autônoma. E, nesse sentido, a IA, contextualizada no Sistema Tecnológico Digital (STD), deve ser vista como um "instrumento de valor" e uma forma de se alcançar a competitividade, considerando seus condicionantes técnicos, econômicos e institucionais, que moldam a sua disseminação. Apesar disso, é preciso considerar as diversas barreiras que impedem sua plena utilização.

Por fim, o arcabouço teórico, está associado aos padrões da inovação e da adoção tecnológica (Castellacci, 2008; Pavitt, 1984) forneceram a lente analítica crucial para compreender a heterogeneidade da inovação, que varia entre diferentes setores da economia, e as capacidades distintas entre as firmas. Além disso, análise da inovação em nível nacional demonstrou, a partir do conceito de Sistema Nacional de Inovação (SNI), que o Brasil se enquadra na categoria de países com um SNI incompleto ou em formação (Albuquerque, 1999) com uma baixa articulação entre o setor produtivo, a academia e o governo, falha em gerar inovações radicais internamente e em prover o capital humano e o financiamento necessários para a adoção de tecnologias avançadas, acentuando os obstáculos em implementar essa tecnologia. Em contraste com nações líderes ou com elevado dinamismo tecnológico, a trajetória histórica do Brasil de baixo investimento tecnológico perpetua um hiato tecnológico na contemporaneidade.

Com isso, a análise empírica do trabalho, com base em dados de pesquisas globais e nacionais, validou a hipótese inicial e demonstrou a complexidade da posição do Brasil no cenário da IA. Globalmente, essa demonstrou uma expansão notável, com significativo aumento na adoção por empresas (McKinsey, 2024), passando de 55% em 2023 para 78% em 2024, e expressivos investimentos privados, atingindo aproximadamente US\$ 150 bilhões em 2024, especialmente nos Estados Unidos e na China.

Ainda que mercados emergentes como o Brasil tenham apresentado um crescimento percentual acentuado na adoção de IA entre 2023 (41%) e 2024 (77%), este dado deve ser interpretado com cautela, pois, apesar de representar uma janela de oportunidade para um *catching-up* acelerado, a alta dependência de soluções importadas, o baixo investimento em P&D e a fragilidade do ecossistema de inovação, como demonstrado neste trabalho, são barreiras estruturais que limitam o alcance desse salto. Ademais, a concentração do

desenvolvimento e investimento em IA nos países líderes ressalta as assimetrias tecnológicas e a menor maturidade do sistema brasileiro, dificultando a superação efetiva do hiato tecnológico.

Ao aprofundar para o cenário brasileiro, a partir os dados da TIC Empresas 2023 e PINTEC Semestral 2022, esses revelaram um panorama de adoção da IA limitado e heterogêneo, pois empresas de maior porte utilizam proporcionalmente mais essa tecnologia, enquanto as de pequeno porte, registram menor adoção. Além disso, na indústria de transformação, a IA é a tecnologia avançada menos utilizada, com foco em otimização de processos administrativos e produtivos, e menos em inovação radical.

A heterogeneidade da adoção de IA no cenário brasileiro, revelada na concentração em setores específicos da indústria, pode ser compreendida mediante as taxonomias de Pavitt (1984) e Castellacci (2008). O maior uso da IA em setores como os de Equipamentos de Informática e Tecnologia, sugere que as empresas mais propensas a adotar a tecnologia são aquelas que se enquadram nas categorias de "base científica" ou "provedores de conhecimento avançado". Esses setores, historicamente intensivos em P&D, são os que possuem as rotinas e capacidades necessárias para não apenas utilizar a IA, mas também extrair os benefícios percebidos como maior flexibilidade e eficiência. Esta dinâmica demonstra que a capacidade de inovar e de aproveitar as oportunidades da IA está diretamente ligada à estrutura de cada indústria, e reflete as profundas assimetrias entre os setores da economia brasileira.

Com isso, apesar de não ter um expressivo nível de uso da IA por empresas brasileiras, muitas empresas as utilizam e os benefícios percebidos por elas são diversos, como maior flexibilidade e eficiência.

A incipiência da adoção da IA no Brasil é, então, diretamente explicada pela persistência de barreiras estruturais, pois, embora a percepção de benefícios (maior flexibilidade e eficiência) e a pressão da concorrência impulsionem a inovação, esses fatores são contidos por desafios como os altos custos de implementação e a falta de pessoal qualificado. A análise demonstrou que essas barreiras transcendem o nível da firma, sendo reflexos de uma fragilidade sistêmica, cujo SNI incompleto do Brasil é uma das raízes do problema, o que dificulta a formação de mão de obra especializada e o acesso a financiamento de risco.

Essa fragilidade pode ser analisada à luz dos eixos estruturantes da IA (Direto; Queiroz, 2025), em que o baixo nível de investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) no Brasil, a escassez de capital humano qualificado e os altos custos de implementação são barreiras diretamente associadas a uma estratégia que não prioriza a criação autônoma de tecnologia, mas a adoção dependente de soluções globais. Com isso, há uma restrição em gerar inovações

endogenamente, e pelos altos custos necessários a difusão da IA fica limitada a poucas empresas e setores mais robustos.

Ademais, a dificuldade do Brasil em superar o hiato tecnológico é agravada pela nova configuração da inovação mundial. A emergência de um Sistema Global de Inovação (SGI), hierárquico e dominado por *hubs* de poucos países, impõe uma barreira adicional para nações com um SNI em formação (Albuquerque, 2023). A baixa inserção das instituições brasileiras nessas redes globais de conhecimento restringe o acesso aos fluxos tecnológicos de fronteira e perpetua a dependência de soluções externas, o que se reflete diretamente nas barreiras de custo e de capital humano qualificadas identificadas neste trabalho.

Portanto, a adoção incipiente da IA no Brasil, apesar do potencial de crescimento, é um reflexo direto de um Sistema Nacional de Inovação historicamente frágil e da trajetória de baixo investimento tecnológico do país. Não obstante iniciativas como a Nova Indústria Brasil (NIB) e o Plano Brasileiro de Inteligência Artificial (PBIA) estejam sendo executados no período recente no Brasil, iniciativas adicionais e a continuidade desses programas são fundamentais para o fortalecimento da capacidade de inovação do país. É nesse sentido que o estudo aponta para a urgência de superar as barreiras estruturais, transformando o "esforço de busca" individual das firmas em um esforço sistêmico coordenado.

Com isso, o futuro da economia brasileira na era da IA dependerá de como o país enfrentará este hiato tecnológico. O estudo aponta para a urgência de superar as barreiras estruturais, transformando o "esforço de busca" individual das firmas em um esforço sistêmico coordenado. Logo, o papel de instituições como SENAI e EMBRAPPII na formação de mão de obra e no cofinanciamento de P&D, por exemplo, ilustra um caminho a ser seguido. No entanto, tais iniciativas precisam ser ampliadas e integradas em uma política nacional de inovação mais assertiva

Será que o Brasil conseguirá transcender sua trajetória histórica de baixo investimento tecnológico para se posicionar como um protagonista na era da IA, ou continuará a ser um mero consumidor de tecnologias que poderiam estar produzindo? A resposta a essa pergunta dependerá da capacidade do país em transformar sua fragilidade sistêmica em um esforço coordenado e contínuo para a inovação.

Para trabalhos futuros, sugere-se investigar o papel das políticas públicas e das parcerias público-privadas na superação dessas barreiras. Adicionalmente, pode ser analisado o impacto da IA Generativa na reconfiguração empresarial pós-2022.

5. REFERÊNCIAS

AGRAWAL, Ajay; GANS, Joshua; GOLDFARB, Avi. **Economic Policy for Artificial Intelligence**. Innovation Policy and the Economy. Toronto: University of Toronto, p. 139-159, 2019.

AGRAWAL, Ajay; GANS, Joshua; GOLDFARB, Avi. **Máquinas Preditivas: a simples economia da inteligência artificial**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018.

ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta. **National Systems of Innovation and Non-OECD Countries**: Notes about a rudimentary and tentative “typology”. São Paulo: Revista de Economia Política, 1999. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rep/a/4B8fr3BXv6W6YFT4qQFXtbv/?lang=en>

ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta. **Networks of international knowledge flows: new layers in innovation systems**. Belo Horizonte: Revista Brasileira de Inovação, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbi/a/ygKLnYspfJNt9v5jpc4zryK/?format=pdf&lang=en>

ALBUQUERQUE, Eduardo da Motta e. **Sistema nacional de inovação no Brasil: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre a ciência e a tecnologia**. São Paulo: Revista de Economia Política, 1996, v. 16, n. 3, p. 127-149. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rep/a/yzBVHFHFVbqmwsZdKYbxWzd/?format=pdf&lang=pt>

AWS. A Vantagem da IA Generativa: **Guia da Liderança para o uso dos dados como diferencial**. [S.l]: Amazon Web Service 2024. Disponível em: [https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/45e752e7f1d6ff30db151864773035dc/\\$File/35174.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/45e752e7f1d6ff30db151864773035dc/$File/35174.pdf)

CASTELLACCI, Fulvio. **Technological paradigms, regimes and trajectories: Manufacturing and service industries in a new taxonomy of sectoral patterns of innovation**. Oslo: Elsevier, 2008.

CENTRO REGIONAL DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO (CETIC.br). **Panorama Setorial da Internet**. São Paulo: CETIC, 2018. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/1/Panorama_outubro_2018_online.pdf

CENTRO REGIONAL DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO DA SOCIEDADE DA INFORMAÇÃO (CETIC.br). Pesquisa sobre o uso das tecnologias de Informação e comunicação nas empresas brasileiras: **TIC Empresas 2023**. São Paulo: CETIC, 2024. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20241104103155/tic_empresas_2023_livro_eletronico.pdf

CONVERGÊNCIA DIGITAL. **Dexco usa IA no superapp e treina algoritmos para ajudar os vendedores**. 2022. Disponível em: <https://convergenciadigital.com.br/mercado/dexco-usa-ia-no-superapp-e-treina-algoritmos-para-ajudar-os-vendedores/>.

COUTINHO, Luciano. **Digitalization, expectations and industrial dynamism**: a conceptual map. Campinas: Revista Brasileira de Inovação, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbi/a/NmMp6WNL5rVs3CZp3vYspyS/?format=pdf&lang=en>

DOSI, Giovanni. **Technical change and industrial transformation**: the theory and an application to the semiconductor industry. London: Macmillan Press, 1982, p. 13-18. Disponível em: https://www.lem.sssup.it/WPLem/files/Dosi_TechChange_and_IndustrialTransformation.pdf.

FAGERBERG, Jan; SRHOLEC, Martin. **Innovation, technology and development**: Unpacking the relationship(s). Oslo: University of Oslo, 2009, p. 1-7. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/24134969_Innovation_technology_and_development_Unpacking_the_relationships.

GOLDMAN SACHS. **Generative AI Could Raise Global GDP by 7 Percent**. [S.l]: Goldman Sachs Research, 2023. Disponível em: <https://www.goldmansachs.com/insights/articles/generative-ai-could-raise-global-gdp-by-7-percent>.

KUPFER, David; HASENCLEVER, Lia. **Economia industrial: fundamentos teóricos e práticos no Brasil**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013, p. 30-39.

IBGE. **Pesquisa de Inovação Tecnológica Semestral (PINTEC Semestral)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv102028.pdf>.

Infomoney. **Na Lojas Renner a moda é crescer com algoritmos em IA e autonomia dos clientes**. Infomoney, 2024. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/business/na-lojas-renner-a-moda-e-crescer-com-algoritmos-em-ia-e-autonomia-dos-clientes/>.

INTELBRAS. **Atualização do Intelbras Defense IA traz novas funcionalidades que promovem a revolução de sistemas de segurança com videomonitoramento**. Revista Segurança Eletrônica, 2024. Disponível em: <https://revistasegurancaeletronica.com.br/atualizacao-do-intelbras-defense-ia-traz-novas-funcionalidades-que-promovem-a-revolucao-de-sistemas-de-seguranca-com-videomonitoramento/>.

McKinsey. **What is AI?**. [S.l]: McKinsey, 2024. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-ai>

NELSON, Richard R.; WINTER, Sidney G. **An evolutionary theory of economic change**. Cambridge: Harvard University Press, 1982.

OECD. **Explanatory Memorandum on the Updated OECD Definition of an AI System**. [S.l]: OECD Artificial Intelligence Papers, 2024. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/explanatory-memorandum-on-the-updated-oecd-definition-of-an-ai-system_623da898-en.html.

PEREZ, Carlota; LEACH, Tamsin Murray. **Technological Revolutions: Which Ones, How Many and Why It Matters: A Neo-Schumpeterian View**. [S.l]: UCL, 2022. Disponível em: https://www.beyond40.eu/storage/publications/D7.1%20Technological%20Revolutions:%20Which%20Ones,%20How%20Many%20%20And%20Why%20It%20Matters:%20A%20Neo-Schumpeterian%20View/BEY4.0-WP7-D7.1_Revised%20historical%20paper%20v3-PC-18429.pdf.

PEREZ, Carlota. **Qual é o lugar da inteligência artificial na história?** In: Documentos Técnicos CGEE. Brasília: CGEE, 2024, p. 179-189. Disponível em: https://www.cgee.org.br/documents/10195/10687196/cgee_rpe_54.pdf.

Perez, Carlota. **Technological revolutions and techno-economic paradigms**. Technological [S.l]: University of Tallinn, 2009. Disponível em: <http://technologygovernance.eu/files/main/2009070708552121.pdf>

POSSAS, Mario Luiz. **Em direção a um paradigma microdinâmico: a abordagem neo-schumpeteriana**. In: AMADEO, Edward J. (Org.). Ensaio sobre a economia política moderna: teoria e história do pensamento econômico. São Paulo: Marco Zero, 1989.

QUEENSLAND UNIVERSITY. **Trust in artificial intelligence (AI)**. Australia: Queensland Brain Institute, 2023. Disponível em: https://ai.uq.edu.au/files/6161/Trust%20in%20AI%20Global%20Report_WEB.pdf.

QUEIROZ, Sergio; DIREITO, Denise. **Inteligência artificial nos países do BRICS: soberania, estágios de desenvolvimento e diferentes perspectivas**. Brasília: Ipea, 2025. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/17370/1/TD_3132_web.pdf.

ROSA, Ângela. **Inteligência artificial no Brasil: avanços, aplicações e perspectivas**. [S.l]: Softdesign. Disponível em: <https://softdesign.com.br/blog/inteligencia-artificial-no-brasil/#h-aplicacoes-de-inteligencia-artificial-no-brasil-casos-de-sucesso>

SCHUMPETER, Joseph A. **A teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1988.

SCHUMPETER, Joseph A. **Socialism, capitalism and democracy**. Nova York: Harper and Brothers, 1942.

SILVA, Victor. **O sistema tecnológico digital: IA, computação em nuvem e Big Data**. [S.l.: Revista Brasileira de Inovação, 2020.

STANFORD UNIVERSITY. Human-Centered Artificial Intelligence. **Artificial Intelligence Index Report 2024**. Stanford, CA: Stanford University, 2024. Disponível em: <https://aiindex.stanford.edu/report/>.

STANFORD UNIVERSITY. Human-Centered Artificial Intelligence. **Artificial Intelligence Index Report 2022**. Stanford, CA: Stanford University, 2022. Disponível em: <https://hai.stanford.edu/assets/files/2023-03/AI-Key-Terms-Glossary-Definition.pdf>.

STATISTA. Artificial **Intelligence Market Worldwide**. [S.l]: Statista, 2025. Disponível em: <https://www.statista.com/outlook/tmo/artificial-intelligence/worldwide#>.

STATISTA. Artificial Intelligence Market Worldwide. **Main obstacles to artificial intelligence (AI) adoption in global business in 2025**. [S.l]: Statista, 2025. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/1557024/barriers-ai-adoption/>.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). **Technology and Innovation Report 2025: Catching technological waves, innovation for transformation**. Geneva: UNCTAD, 2025.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). **Technology and Innovation Report 2025: Catching technological waves, innovation for transformation**. Geneva: UNCTAD, 2025. Disponível em: https://unctad.org/system/files/official-document/tir2025_en.pdf.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION – UNIDO. **Industrial development report 2020: industrializing in the digital age**. Vienna: UNIDO, 2020. Disponível em: https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-11/UNIDO_IDR2020-MainReport_overview.pdf

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO). **UNIDO Supervision – 2024 -Industrial Development Report**. Vienna: UNIDO, 2024.

ANEXO A – DEFINIÇÕES TECNOLOGIAS AVANÇADAS

Indústria 4.0	Inteligência Artificial (AI)	Capacidade de uma máquina de se envolver em atividades cognitivas tipicamente realizadas pelo cérebro humano. Implementações de IA que se concentram em tarefas específicas estão amplamente disponíveis e são usadas, por exemplo, para recomendar compras online, para assistentes virtuais em smartphones e para detectar spam ou fraudes.
	Internet das Coisas (IoT)	Dispositivos físicos habilitados para a Internet que coletam e compartilham dados, com muitas aplicações potenciais, como casas inteligentes, saúde, cidades inteligentes e automação industrial.
	Big Data	Conjuntos de dados cujo tamanho ou tipo vai além da capacidade das estruturas de banco de dados tradicionais para capturar, gerenciar e processar dados.
	Blockchain	Uma série de registros de dados com carimbo de tempo, supervisionada por computadores que não pertence a nenhuma entidade única. O Blockchain serve como tecnologia base para criptomoedas, possibilitando transações ponto a ponto que são abertas, seguras e rápidas.
	5G	A próxima geração de conectividade móvel à Internet, oferecendo velocidades de download de cerca de 1 a 10 gigabits por segundo, bem como conexões mais confiáveis em smartphones e outros dispositivos.
	Impressão 3D (3D printing)	Produz objetos tridimensionais a partir de um arquivo digital e pode criar objetos complexos usando menos material do que a manufatura tradicional.
	Robótica (Robotics)	Máquinas programáveis que podem realizar ações e interagir com o ambiente por meio de sensores e atuadores, seja de forma autônoma ou semiautônoma. Elas podem assumir muitas formas, incluindo robôs de resposta a desastres, robôs de consumo, robôs industriais e veículos autônomos.
	Tecnologia de Drones (Drone technology)	Um robô voador que pode ser controlado remotamente ou voar autonomamente usando software com sensores e um sistema de posicionamento global. Têm sido usados para fins militares, mas também têm usos civis, como em videografia, agricultura e serviços de entrega.
Tecnologias verdes	Energia Solar Fotovoltaica (Solar PV)	A tecnologia transforma a luz solar em eletricidade de corrente contínua usando semicondutores em células fotovoltaicas. Além de ser uma tecnologia de energia renovável, pode ser usada em sistemas de energia fora da rede, potencialmente reduzindo os custos de eletricidade e aumentando o acesso.
	Energia Solar Concentrada (Concentrated solar power)	Utilizam espelhos para concentrar os raios solares e produzir calor para geração de eletricidade por meio de um ciclo termodinâmico convencional. Diferente da energia solar (PV), essas usinas utilizam apenas o componente direto da luz solar e podem fornecer calor e energia sem carbono somente em regiões com alta irradiação normal direta.
	Biocombustíveis (Biofuels)	Combustíveis líquidos derivados de biomassa e usados como alternativa aos combustíveis líquidos para transporte baseados em combustíveis fósseis, como gasolina, diesel e combustíveis de aviação.

	Biogás e Biomassa (Biogas and biomass)	Uma mistura de dióxido de carbono, metano e pequenas quantidades de outros gases produzidos pela digestão anaeróbica de matéria orgânica em um ambiente sem oxigênio. Biomassa é material orgânico renovável que provém de árvores, outras plantas e resíduos agrícolas e urbanos. Pode ser usada para aquecimento, geração de eletricidade e combustíveis para transporte.
	Energia Eólica (Wind Energy)	A energia cinética criada pelo ar em movimento, transformada em energia elétrica usando turbinas eólicas. Muitas partes do mundo têm fortes velocidades de vento, mas os melhores locais para gerar energia eólica são, às vezes, remotos e offshore.
	Hidrogênio Verde (Green Hydrogen)	Hidrogênio gerado inteiramente por fontes de energia renováveis ou a partir de energia de baixo carbono. A tecnologia mais estabelecida para produzir hidrogênio verde é a eletrólise da água alimentada por eletricidade renovável. O excesso de capacidade renovável da energia solar e eólica pode ser usado para alimentar eletrolisadores que utilizam essa energia para criar hidrogênio, que pode ser armazenado como combustível em tanques.
	Veículos Elétricos (Electric Vehicles)	Veículos que utilizam um ou mais motores elétricos para propulsão. Eles podem ser alimentados por um sistema coletor, com eletricidade de fontes extra veiculares, ou autonomamente, por uma bateria. Como tecnologias consumidoras de energia, os veículos elétricos criam demanda por eletricidade que pode ser suprida por fontes renováveis.
Outras	Nanotecnologia (Nanotechnology)	Um campo da ciência e tecnologia aplicada que lida com a fabricação de objetos em escalas menores que 1 micrômetro. A nanotecnologia é usada para produzir uma ampla gama de produtos, como produtos farmacêuticos, polímeros comerciais e revestimentos protetores. Também pode ser usada para projetar layouts de chips de computador.
	Edição Genética (Gene Editing)	Também conhecida como edição do genoma. Uma ferramenta de engenharia genética para inserir, deletar ou modificar genomas em organismos. Aplicações potenciais incluem culturas tolerantes à seca ou novos antibióticos.

Fonte: UNCTAD, 2025; Elaboração e tradução Própria.