

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ECONOMIA
GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

PAULO VITOR DE AZEVEDO

**INOVAÇÃO DISRUPTIVA E FLUXO CIRCULAR: COMO A INTELIGÊNCIA
ARTIFICIAL PODE REDEFINIR O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO
MERCADO AUTOMOTIVO**

Juiz de Fora – MG

2025

PAULO VITOR DE AZEVEDO

**INOVAÇÃO DISRUPTIVA E FLUXO CIRCULAR: COMO A INTELIGÊNCIA
ARTIFICIAL PODE REDEFINIR O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO
MERCADO AUTOMOTIVO**

Trabalho de monografia apresentado a
Faculdade de Economia da Universidade
Federal de Juiz de Fora, como parte da obtenção
do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Gonçalves

Juiz de Fora – MG

2025

RESUMO

Este trabalho investiga como a inteligência artificial (IA) se propõe, como inovação tecnológica, transformar o mercado automotivo, especialmente através da popularização de veículos elétricos e híbridos. Partindo da teoria econômica de inovação disruptiva, a pesquisa avalia o potencial dessa tecnologia para romper com os modelos tradicionais de produção e consumo no setor automotivo. A análise mostra que a IA tem um potencial de redefinir toda a cadeia produtiva, desde o desenvolvimento de baterias mais eficientes até a criação de novos serviços digitais para os veículos. O trabalho também discute os impactos econômicos dessa transformação, incluindo mudanças no mercado automotivo e a necessidade de novas políticas públicas para acompanhar a transição tecnológica. Os resultados indicam que, embora a IA traga ganhos de eficiência e abra novas oportunidades de negócios, seu avanço exige arranjos institucionais e cuidados para evitar o aumento das desigualdades sociais e garantir que os benefícios sejam amplamente distribuídos.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Inovação Tecnológica; Economia Automotiva; Política Pública.

ABSTRACT

This study **investigates** how artificial intelligence (AI) proposes, as a technological innovation, to transform the automotive market, particularly through the popularization of electric and hybrid vehicles. Based on the economic theory of disruptive innovation, the research evaluates the potential of this technology to break with traditional production and consumption models in the automotive sector. The analysis demonstrates that AI has the potential to redefine the entire production chain, from the development of more efficient batteries to the creation of new digital services for vehicles. The study also discusses the economic impacts of this transformation, including changes in the automotive market and the need for new public policies to accompany the technological transition. The results indicate that, although AI brings efficiency gains and opens new business opportunities, its advancement requires institutional arrangements and careful consideration to prevent increased social inequalities and ensure that its benefits are widely distributed.

Keywords: Artificial Intelligence; Technological innovation; Automotive Economics; Public Policies.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	REFERENCIAL TEÓRICO: A INOVAÇÃO NA TEORIA ECONÔMICA....	7
2.1	Fluxo circular da vida econômica.....	8
2.2	Estoque e juros no equilíbrio circular.....	9
2.3	Inovação como força motriz do desenvolvimento econômico	10
2.4	Desenvolvimento econômico.....	11
2.5	O viés de habilidades pode ser evitável.....	13
3	IMPACTOS DA IA NO DESENVOLVIMENTO DO MERCADO.....	15
3.1	Definição de IA.....	16
3.2	O processo de desenvolvimento da IA.....	16
3.3	Automação e criação de novas tarefas.....	17
3.4	O papel da Inteligência Artificial no desenvolvimento de carros elétricos..	18
3.5	O mercado automotivo global.....	19
3.6	Os veículos elétricos a bateria (BEVs) no cenário automotivo	20
3.7	Os veículos híbridos plug-in (PHEVs) e suas distinções dos BEVs.....	21
3.8	Vendas de veículos ICE, BEV e PHEV no mercado automotivo.....	22
4	ESTUDO DE CASO	23
4.1	Inovação e desenvolvimento econômico dos BEVs.....	24
4.2	Inovação disruptiva e a ruptura com o fluxo circular	24
4.3	Transformação estrutural da indústria automotiva	25
4.4	O papel do empresário schumpeteriano e o financiamento da inovação	26
4.5	As habilidades na transição energética	28
5	CONCLUSÃO.....	29
	REFERÊNCIAS.....	30

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Azevedo, Paulo Vitor de Azevedo.

Inovação disruptiva e fluxo circular: como a inteligência artificial pode redefinir o desenvolvimento econômico do mercado automotivo : Inovação disruptiva e fluxo circular: como a inteligência artificial pode redefinir o desenvolvimento econômico do mercado automotivo / Paulo Vitor de Azevedo Azevedo. -- 2025.

37 f. : il.

Orientador: Eduardo Gonçalves Gonçalves

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2025.

1. Inteligência Artificial. 2. Economia Automotiva. 3. Inovação Tecnológica. 4. Política Pública. I. Gonçalves, Eduardo Gonçalves, orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
REITORIA - FACECON - Depto. de Economia

FACULDADE DE ECONOMIA / UFJF

ATA DE APROVAÇÃO DE MONOGRAFIA II (MONO B)

NA DATA DE 18/08/2025, A BANCA EXAMINADORA, COMPOSTA PELOS PROFESSORES

1 – EDUARDO GONÇALVES - ORIENTADOR; E

2 – RICARDO DA SILVA FREGUGLIA,

REUNIU-SE PARA AVALIAR A MONOGRAFIA DO ACADÊMICO **PAULO VITOR DE AZEVEDO**, INTITULADA "**INOVAÇÃO DISRUPTIVA E FLUXO CIRCULAR: COMO A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PODE REDEFINIR O DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DO MERCADO AUTOMOTIVO**".

APÓS PRIMEIRA AVALIAÇÃO, RESOLVEU A BANCA SUGERIR ALTERAÇÕES AO TEXTO APRESENTADO, CONFORME RELATÓRIO SINTETIZADO PELO ORIENTADOR. A BANCA, DELEGANDO AO ORIENTADOR A OBSERVÂNCIA DAS ALTERAÇÕES PROPOSTAS, RESOLVEU **APROVAR** A REFERIDA MONOGRAFIA.



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Goncalves, Professor(a)**, em 18/08/2025, às 19:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo da Silva Freguglia, Professor(a)**, em 20/08/2025, às 12:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **2561152** e o código CRC **EEE2AB39**.

1 INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (IA) e a automação estão transformando radicalmente a estrutura produtiva global, redefinindo mercados, processos industriais e as relações de trabalho. Essa revolução tecnológica, impulsionada por avanços no *deep learning*, processamento de dados e sistemas autônomos, tem sido um dos principais motores do desenvolvimento econômico contemporâneo, alinhando-se com a teoria schumpeteriana da inovação como força disruptiva do equilíbrio econômico.

O estudo parte do referencial teórico de Schumpeter (1988), que concebe o desenvolvimento econômico como resultado de inovações que rompem o fluxo circular da economia, introduzindo novas combinações produtivas. Complementarmente, aborda-se a perspectiva de Böhm-Bawerk (1889) sobre o papel do tempo e das fricções no processo de ajuste econômico, bem como as contribuições de Acemoglu e Restrepo (2019) acerca da relação entre automação, criação de novas tarefas e o mercado de trabalho. Além disso, discute-se o paradigma tecnológico da IA utilizando uma linha do tempo Nilsson (2009) para entender a história da inteligência artificial, suas bases conceituais e os desenvolvimentos contemporâneos em *deep learning* (Hinton; LeCun; Bengio).

O objetivo deste trabalho é compreender como a inteligência artificial, enquanto inovação radical, pode alterar a dinâmica do desenvolvimento econômico, gerando novos ciclos de crescimento, reestruturando indústrias, mudando infraestruturas e criando assimetrias no mercado. Especificamente, busca-se analisar a IA como uma força motriz do desenvolvimento econômico, conforme a teoria schumpeteriana, que a enxerga como um elemento disruptivo do equilíbrio estático do fluxo circular.

A relevância desta pesquisa reside no fato de que a inteligência artificial se apresenta com um fator com potencial para remodelar não apenas setores específicos, mas toda a estrutura econômica global. Compreender seu papel no desenvolvimento econômico é essencial para a formulação de políticas públicas, uma vez que governos e instituições precisam equilibrar inovação e inclusão, evitando a acentuação de desigualdades. O trabalho de Acemoglu e Johnson (2023) demonstra que a trajetória tecnológica pode não ser neutra, mas moldada por escolhas institucionais.

No âmbito da gestão empresarial, as empresas devem adaptar-se a um cenário de disruptura constante, no qual a capacidade de inovar determina a sobrevivência no mercado.

O caso da ascensão do mercado de veículos elétricos (Battery Electric Vehicles -BEVs) ilustra como modelos de negócios tradicionais podem ser subvertidos por novas tecnologias. O estudo de caso escolhido se justifica por representar uma alternativa a uma indústria bem estabelecida e dominante no seu setor até o século XX. Ademais, o setor automotivo apresenta um grande histórico de compilação de seus dados, possibilitando acompanhar suas características ao longo do tempo. Além disso, a automação acelerada exige mecanismos de redistribuição e requalificação da força de trabalho, conforme destacado por Goldin e Katz (2008) que podem ser observadas no setor escolhido.

A IA não apenas substitui tarefas, mas também cria ocupações. Entender essa dinâmica é crucial para compreender um mercado em transformação. Assim, esta pesquisa contribui para o debate acadêmico sobre o impacto da IA na economia, oferecendo uma análise teórica fundamentada em Schumpeter, Böhm-Bawerk e Acemoglu.

Essa monografia se encontra dividida em cinco capítulos. Além desta introdução, no capítulo 2, apresenta-se o referencial teórico que fundamenta a análise, abordando os conceitos de fluxo circular da economia, inovação disruptiva e desenvolvimento econômico segundo a perspectiva schumpeteriana. No capítulo 3, realiza-se uma análise detalhada dos impactos da inteligência artificial no mercado automotivo, com ênfase no desenvolvimento de veículos elétricos e nas transformações da cadeia produtiva. No capítulo 4, examina-se um estudo de caso sobre empresas pioneiras como Tesla e B.Y.D, ilustrando a aplicação prática das inovações tecnológicas. E, finalmente, no capítulo 5, conclui-se com uma síntese dos principais achados e reflexões sobre as implicações econômicas e sociais da transformação tecnológica no setor automotivo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO: A INOVAÇÃO NA TEORIA ECONÔMICA

2.1 Fluxo circular da vida econômica

A atividade econômica é influenciada por padrões estabelecidos em períodos anteriores, conforme destaca Schumpeter (1988). Segundo o autor, com elementos passados os agentes econômicos balizam suas ações e propõe a análise do desenvolvimento econômico deve ser feita observando o estágio que o desenvolvimento se encontra. Assim, embora a atividade econômica pode ser motivada por diversos fatores, entretanto, seu destino é satisfação de necessidades.

Contudo, esse sistema não é estático. Böhm-Bawerk (1889) demonstra que mudanças podem ocorrer a partir da introdução de novos elementos e aborda o efeito do elemento tempo sobre esses novos fatos na sua lei de retornos crescentes. Quando um novo fator modifica o equilíbrio econômico anterior ao fato introduzido, todo um processo de ajuste se inicia para restabelecer o equilíbrio. Ele demonstra duas circunstâncias que perturbam esse equilíbrio, a fricção e as mudanças espontâneas dos dados econômicos. Schumpeter (1988), vai além e acrescenta o elemento risco as mudanças que alterem os dados econômicos. Se os riscos não forem previstos no plano econômico eles se tornam fonte de perdas temporárias ou fonte de ganhos temporários.

Nesse contexto, em uma economia de trocas sob livre concorrência, os preços dos serviços da terra (renda) e do trabalho (salários), exemplos usados dentro da obra de Schumpeter (1988) para explicar o conceito, são determinados por sua produtividade marginal. Assim, proprietários e trabalhadores recebem o valor correspondente à sua contribuição produtiva, como demonstrado primeiramente por Böhm-Bawerk (1889). J.B. Say (1803) foi o responsável por identificar que a função do empresário é combinar os fatores produtivos e reuni-los de uma nova forma. Schumpeter (1988) faz uso dessa definição para criar o seu entendimento de inovação. Esse fenômeno incomum não apenas transforma a economia, quando aparece, mas também possui implicações sociais profundas e será posteriormente desenvolvido. Para Schumpeter, os fatos econômicos vêm das práticas dos agentes dentro do sistema econômico, ou seja, o comportamento dirigido para a aquisição de bens. O caráter de um bem é definido dependendo do uso que dele se faz.

Para facilitar, Schumpeter (1988), criou uma classificação hierárquica dos bens, inspirada na Escola Austríaca. Os bens de consumo são da primeira ordem quando estão

disponíveis ao consumidor e os bens que são combinações de outros bens são da segunda ordem. Dentro dessa classificação, o grau se eleva em uma ordem conforme o bem vai se distanciando do consumidor. Como o valor dos bens de ordem superior deriva dos bens de consumo, mudanças na demanda por produtos alteram toda a cadeia produtiva. Em um sistema perfeitamente competitivo, não haveria lucro excedente, pois os preços dos produtos se igualariam ao custo dos fatores de produção incorporados. Schumpeter (1988) indica que o lucro, quando presente no sistema, é um sintoma de imperfeição.

Entretanto, ele argumenta que é baixa a frequência que esses processos aparecem dentro de um sistema econômico, sendo que sua disposição ao longo do tempo tende a se manifestar em ciclos. A análise de Schumpeter (1988) revela que se os parâmetros que governam o sistema econômico permanecerem inalterados, a tendência é que ele continue da mesma forma, mas ele está sujeito a mudanças devido a inovações ou fricções (Böhm-Bawerk, 1889). Ambos concordam, porém, que a livre concorrência tende a equalizar receitas e custos, eliminando lucros extraordinários em um estado de equilíbrio perfeito.

Portanto, foi desenvolvido uma ideia para compreender como o sistema econômico se comporta quando exposto a uma instabilidade. O ciclo é formado por estágios de alta definido como boom econômico e por estágios de baixa que são as depressões. O boom termina quando e a depressão começa “E um novo boom se sucede à depressão, quando o processo de reabsorção das inovações estiver terminado” (SCHUMPETER, 1988, p. 202). Assim sendo, para Spiethoof (1955), esse fenômeno do início do boom econômico pode ser identificado dentro de um ciclo econômico quando aparece uma maior concentração de capital, aparecimento de novos negócios e difusão do impulso por mercados de matéria-prima, trabalho, equipamentos etc. Por isso, o capital não é distribuído de maneira uniforme dentro de um ciclo. Schumpeter (1988), mostra que no início do boom os custos aumentam, mais tarde suas receitas são reduzidas, primeiramente nas empresas onde ocorre a inovação e posteriormente em todas as empresas antigas, na medida em que a demanda dos consumidores se altera em favor da inovação

Schumpeter (1988), conclui que o processo de troca entre o trabalho e terra com os bens de consumo, em quantidade disponível em cada ciclo econômico satisfazendo exatamente a quantidade necessária para sua demanda efetiva, fornecem a direção principal do curso da vida econômica e compõem todo o dividendo nacional. Porém, o sistema não se desenvolve de maneira linear, existem contratempos e movimentos contrários e quando o processo de é

retornado ele não retorna do seu maior ponto de desenvolvimento. Os agentes econômicos não podem saltar a fase dos contratempos e deixar os seus planos intactos.

2.2 Estoque e juros no equilíbrio circular

Schumpeter (1988) ressalta que dentro do seu modelo de fluxo circular a ideia de que estoque acumulado de bens possa financiar o próximo ciclo de boom é falsa, pois, os meios de produção produzidos não perduram por uma série de períodos econômicos. Os bens de consumo geralmente estão apenas nas mãos dos varejistas e dos consumidores, e na quantidade necessária para fazer frente às exigências do momento. Ademais, em um sistema econômico em equilíbrio, conforme as premissas de Schumpeter (1988), não há espaço para poupanças remuneradas a juros. O fenômeno do juro não nasce naturalmente nessa estrutura, indicando que sua existência está ligada a dinâmicas fora do modelo de fluxo circular.

2.3 Inovação como força motriz do desenvolvimento econômico

No centro da teoria do desenvolvimento econômico de Joseph Schumpeter encontra-se o conceito de inovação como agente transformador do sistema capitalista. Anteriormente, nesse trabalho, foi introduzido o assunto e agora ele será desenvolvido.

O autor estabelece suas definições e enfatiza que é necessária uma distinção do entendimento de umas palavras do senso comum. Ao afirmar que "chamamos 'empreendimento' à realização de combinações novas; chamamos 'empresários' aos indivíduos cuja função é realizá-las" (SCHUMPETER, 1988). Essa definição vai além da concepção convencional de empresário, abrangendo todos os agentes que exercem a função inovadora, independentemente de sua posição formal na estrutura econômica.

A essência do empresário schumpeteriano reside precisamente na capacidade de romper com o fluxo circular da economia através da introdução de novas combinações produtivas. Como destaca o autor, "alguém só é um empresário quando efetivamente 'levar a cabo novas combinações', e perde esse caráter assim que tiver montado o seu negócio" (SCHUMPETER, 1988, p.47). Essa natureza transitória da função empresarial explica por que os inovadores não constituem uma classe social estável, mas sim um grupo dinâmico que emerge temporariamente para impulsionar mudanças estruturais na economia.

A inovação, nessa perspectiva, não se limita a melhorias incrementais, mas representa rupturas significativas com os padrões estabelecidos. Schumpeter (1988) contrasta

o fluxo circular tradicional com o processo de desenvolvimento genuíno, que exige transformações qualitativas. Enquanto no primeiro caso predominam "pequenas perturbações que podem [...] somar-se com o tempo até tornar-se grandes montantes" (SCHUMPETER, 1988, p.61), o desenvolvimento propriamente dito ocorre através de saltos descontínuos promovidos pelas novas combinações. Nesse sentido, a aparição dos empresários dentro do ciclo não se distribui de modo contínuo. Ademais, o empresário, geralmente, focado apenas em planejar o seu próprio empreendimento, desconsidera o efeito da difusão e do efeito da sua atividade atrair novos empresários. Assim sendo, a competição diminui suas margens e lhe traz um revés.

O mecanismo pelo qual a inovação gera desenvolvimento está diretamente ligada à criação de valor. Como explica Schumpeter, "uma vez que as novas combinações [...] são necessariamente mais vantajosas do que as antigas, as receitas totais devem nesse caso ser maiores do que os custos totais" (SCHUMPETER, 1988, P.89). Esse diferencial positivo manifesta-se como lucro, que "caberá àqueles indivíduos cuja façanha seja introduzir novas combinações de sucesso no mercado" (SCHUMPETER, 1988, p.93), independentemente de sua participação direta no processo produtivo.

A superioridade das novas combinações revela-se particularmente em operações de grande escala, onde "são possíveis um arranjo mais adequado e uma utilização dos fatores de produção melhor do que em negócios menores" (SCHUMPETER, 1988, p.102). Contudo, o sucesso inovador exige mais do que condições objetivas favoráveis - demanda ação deliberada, pois o empresário "não contribuiu com nada mais do que vontade e ação, não fez nada mais do que recombina fatores existentes" (SCHUMPETER, 1988, p.107).

A conexão fundamental entre inovação e liderança econômica é sintetizada por Schumpeter na afirmação de que "o lucro enquanto um fenômeno do valor especial e independente está vinculado fundamentalmente ao papel de liderança no sistema econômico" (SCHUMPETER, 1988, p.115). Nessa concepção, o lucro não representa mera remuneração do capital, mas sim a recompensa temporária pela capacidade de introduzir mudanças que reconfiguram todo o sistema produtivo.

2.4 Desenvolvimento econômico

Em sua análise sobre o desenvolvimento econômico, Schumpeter (1988), estabelece uma distinção entre o crescimento adaptativo e o desenvolvimento propriamente

dito. Para ele, o verdadeiro desenvolvimento é diferente das mudanças impulsionadas por fatores externos à esfera econômica, como por exemplo, descobertas de uma maior oferta de bens de primeira ordem como os recursos naturais, variações demográficas ou transformações políticas. Esses fenômenos, ainda que possam gerar crescimento, não representam, em sua essência, um processo de desenvolvimento endógeno.

Schumpeter (1988) argumenta que o desenvolvimento econômico autêntico emerge de dentro do sistema capitalista, impulsionado por forças internas que alteram seu próprio curso. Essas forças estão associadas, sobretudo, à inovação e ao empreendedorismo. Quando um empresário introduz uma nova tecnologia, um método de produção mais eficiente ou um produto revolucionário, ele não está apenas reagindo ao ambiente externo, mas sim criando uma ruptura no equilíbrio econômico existente. Essa capacidade de transformação interna é o foco do desenvolvimento schumpeteriano. Para o empresário, os custos de produção correspondem aos pagamentos realizados para adquirir insumos ou fatores produtivos. A adoção de métodos mais produtivos – mesmo que demandem mais tempo – não altera imediatamente o fluxo circular da economia, que se baseia em processos já consolidados (Schumpeter, 1988). Assim, o autor defende que um método só é considerado mais frutífero se gerar maior resultado do que a soma de processos alternativos realizáveis no mesmo período com os mesmos recursos.

Se uma economia apenas se ajustar passivamente as mudanças externas, Schumpeter (1988), afirma que não há desenvolvimento real nesse cenário. Nesse caso, a economia está apenas se adaptando e seu crescimento deve ser explicado por fatores não econômicos. O autor cita exemplos como condições geográficas, políticas ou sociais. O desenvolvimento real, em sua visão, exige que as mudanças sejam geradas pelo próprio mecanismo econômico, através da ação dinâmica de inovadores que desloquem o ponto de equilíbrio anterior.

Portanto, o desenvolvimento não é um fenômeno que pode ser explicado apenas pela teoria econômica tradicional, pois, exige a compreensão de como os agentes econômicos transformam o próprio sistema em que atuam. Para Schumpeter (1988), o comando sobre os meios de produção é necessário para a realização de novas combinações. Assim, a obtenção dos meios de produção é um problema das empresas consolidadas no sistema e que trabalham dentro do fluxo circular. Pois elas já obtiveram esses meios ou então podem obtê-los comumente com o lucro da produção anterior

Essa visão reforça a ideia de que o capitalismo não é um sistema estático, mas sim um processo contínuo de destruição criativa (Schumpeter 1997), no qual, velhas estruturas são substituídas por novas, pela ação de empreendedores e no processo de difusão de inovações. A destruição criativa pode levar à obsolescência de certos empregos e indústrias, mas também cria oportunidades e avanços tecnológicos.

Schumpeter (1988) argumenta que o empresário inovador, diferentemente dos gestores de negócios já estabelecidos, não pode financiar suas empreitadas com os lucros gerados por operações rotineiras. Esse argumento já foi citado nesse trabalho, mas será melhor desenvolvido aqui. Enquanto empresas tradicionais reinvestem receitas anteriores, o pioneiro de novas combinações enfrenta um paradoxo: precisa de capital antes mesmo de ter como comprovar a viabilidade de sua ideia. É nesse contexto que surge a função essencial do capitalista, particularmente na figura do banqueiro moderno. Como destaca Schumpeter (1988), fornecer esse crédito é a função dos capitalistas, observando que o risco inerente à operação recai sobre os detentores dos meios de produção ou do capital-dinheiro, nunca sobre o empresário inovador em si.

O mecanismo descrito por Schumpeter muda a lógica padrão de alocação de recursos. Em condições normais, o acesso ao que dividendo nacional (Schumpeter, 1988) – o fluxo de bens e serviços disponíveis na economia – pressupõe a prévia contribuição produtiva. No entanto, as inovações rompem o ciclo, pois exigem financiamento antes de qualquer resultado concreto. O crédito bancário, portanto, não apenas viabiliza a inovação, mas altera temporariamente a estrutura de preços e demanda na economia, criando o que Schumpeter identifica como um espaço temporal entre o presente e o futuro produtivo.

Nesse processo, o banqueiro assume um papel que vai além de um intermediário financeiro, como explica Schumpeter (1988), já que seu ato de conceder crédito aumenta os meios disponíveis na economia. Ao ter o controle tanto das reservas existentes quanto a definição de quais pessoas que receberam os novos recursos, o sistema bancário moderno se transforma no "capitalista *par excellence*" (SCHUMPETER, 1988, p. 104). Essa mudança coloca o banqueiro como um poder social que "autoriza, por assim dizer, em nome da sociedade" (Schumpeter 1988) quais inovações merecem ser financiadas. Porém, Schumpeter (1988) explica que o risco de buscar uma inovação é arcado sempre sobre o proprietário dos meios de produção ou do capital-dinheiro que foi pago por eles, portanto nunca sobre o empresário.

2.5 O viés de habilidades pode ser evitável

Neste tópico será abordado a discussão sobre o viés de habilidades na economia moderna. Esse conceito pode ser interpretado como um fenômeno inevitável do progresso tecnológico, onde "O crescimento da desigualdade salarial está ligado à desaceleração do crescimento educacional frente ao avanço tecnológico" (GOLDIN; KATZ, 2008, p. 35). Em resumo, viés de habilidade se configura como uma competição entre o avanço tecnológico e a capacidade de resposta dos trabalhadores em elevar seu nível de capacitação. No qual, se o trabalhador não conseguir se especializar ele é substituído pelo avanço tecnológico.

Contudo, a obra de Acemoglu acrescenta uma perspectiva inovadora demonstrando como o direcionamento tecnológico é moldado por fatores institucionais e escolhas políticas. O autor argumenta que a relação entre tecnologia e desigualdade de habilidades não segue uma trajetória única, mas depende fundamentalmente do tipo de inovação que uma sociedade escolhe desenvolver.

Acemoglu e Restrepo (2018) desenvolvem a distinção entre automação e criação de novas tarefas, mostrando como essa dinâmica afeta diferentemente a demanda por habilidades no mercado de trabalho. Enquanto a automação tende a substituir trabalhadores médios e aumentar a desigualdade, a introdução de novas tarefas pode criar oportunidades para diferentes níveis de qualificação. Essa abordagem revela que o chamado viés de habilidades não é uma consequência automática do avanço tecnológico, mas sim resultado de como as inovações são implementadas e difundidas na economia.

A análise histórica apresentada por Acemoglu e Restrepo (2018) demonstra que períodos de intensa automação nem sempre levaram ao aumento da desigualdade de habilidades. Em contextos em que as instituições promoveram a criação complementar de novas tarefas e o investimento em capacitação, os efeitos excludentes da tecnologia foram significativamente mitigados. Isso sugere que o viés de habilidades é antes uma escolha social do que um destino tecnológico inevitável.

A perspectiva institucional desenvolvida em Acemoglu e Robinson (2012) e aprofundada em Acemoglu e Johnson (2023), reforça a ideia de que o impacto da tecnologia sobre as habilidades depende das estruturas de poder e dos arranjos sociais. Quando as instituições são inclusivas e promovem a distribuição dos benefícios tecnológicos, o viés de

habilidades pode ser substancialmente reduzido. O autor mostra como diferentes sociedades ao longo da história enfrentaram desafios tecnológicos semelhantes, mas com resultados distintos em termos de desigualdade, dependendo de suas escolhas institucionais.

A abordagem de Acemoglu e Restrepo (2019) oferece *insights* importantes sobre o atual debate em torno da inteligência artificial. Eles argumentam que mesmo tecnologias disruptivas como a IA não precisam necessariamente acentuar o viés de habilidades, desde que sejam acompanhadas por políticas que estimulem a criação de novas ocupações e a requalificação da força de trabalho. Essa visão desafia o determinismo tecnológico.

Portanto, o viés de habilidades não é uma lei natural da economia tecnológica, mas sim o resultado de escolhas coletivas sobre como desenvolver e implementar inovações pelos detentores do capital. Como Acemoglu e Johnson (2023), a trajetória tecnológica de uma sociedade reflete seus valores e prioridades. Assim sendo, a redução do viés de habilidades exige não apenas compreensão técnica, mas principalmente vontade política para moldar o progresso tecnológico em direção a objetivos mais inclusivos.

3 IMPACTOS DA IA NO DESENVOLVIMENTO DO MERCADO

3.1 Definição de IA

Foi McCarthy quem, em 1956, durante a Conferência de *Dartmouth*, cunhou o termo "Inteligência Artificial" e propôs a definições mais influente do campo: "a ciência e engenharia de fazer máquinas inteligentes, especialmente programas de computador inteligentes" (MCCARTHY, 2007, p. 2). Essa concepção não apenas delimitou o escopo da IA, mas também estabeleceu seu objetivo central: desenvolver sistemas capazes de simular processos cognitivos humanos, como aprendizado, raciocínio e resolução de problemas.

McCarthy defendia que a IA deveria ir além da mera imitação de comportamentos observáveis, buscando compreender e replicar os mecanismos formais da inteligência. Em suas pesquisas, ele enfatizava a importância da lógica simbólica como ferramenta para representar o conhecimento e permitir que máquinas realizassem inferências complexas (MCCARTHY, 1960). Essa abordagem, conhecida como IA simbólica.

Uma das contribuições mais duradouras de McCarthy foi o desenvolvimento da linguagem de programação *LISt Processing* (LISP), criada para implementação de sistemas de IA. Segundo ele, "LISP foi projetada para permitir a manipulação eficiente de estruturas simbólicas, essenciais para a representação do conhecimento" (MCCARTHY, 1962, p. 15). Essa inovação técnica permitiu avanços significativos em áreas como raciocínio automatizado e processamento de linguagem natural, consolidando a IA como disciplina prática além de teórica.

Portanto, a definição de IA proposta por McCarthy não apenas estabeleceu as bases do campo, mas também fundamentou as bases e a direção para o seu desenvolvimento multifacetado. Seja na ênfase inicial na lógica simbólica, na criação de ferramentas como o LISP ou na abertura para paradigmas emergentes. Sua obra ilustra que a IA é um projeto em constante evolução – uma busca, como ele mesmo afirmava, por "entender e recriar a inteligência em todas as suas formas" (MCCARTHY, 2007, p. 20)

3.2 O processo de desenvolvimento da IA

Nilsson (2009) proporciona uma linha do tempo para entender, de forma abrangente, a história da inteligência artificial, desde suas origens filosóficas até os avanços tecnológicos do século XXI. Sua obra propõe refletir sobre os desafios conceituais e práticos que moldaram o campo do desenvolvimento da IA. Assim sendo, Nilsson (2009) destaca que

o desenvolvimento da IA foi marcado por ciclos de otimismo e desilusão, os chamados "invernos da IA", nos quais expectativas excessivas esbarraram em limitações técnicas ainda não superadas.

Um ponto de destaque na análise do autor é a evolução dos paradigmas da IA. O autor demonstra como a área transitou de sistemas baseados em lógica simbólica, predominantes nas décadas de 1950 e 1960, para abordagens estatísticas e baseadas em aprendizado de máquina, que ganharam força a partir dos anos 1990. Nilsson (2009, p. 275) "A IA abandonou a ideia de que a inteligência poderia ser completamente capturada por regras explícitas e abraçou a noção de que padrões emergem de dados". Em sua obra Nilsson (2009) ressalta que essa evolução representou não apenas um avanço técnico, mas uma mudança paradigmática na própria essência do campo. Essa transição, contudo, não ocorreu sem controvérsias, como evidenciado pelos debates entre defensores da IA simbólica e proponentes de redes neurais.

Nilsson também dedica atenção significativa às aplicações práticas da IA destacando casos como os sistemas especialistas da década de 1970 e os carros autônomos do início do século XXI. Segundo o autor, esses exemplos ilustram como problemas aparentemente restritos – como diagnosticar doenças ou navegar em ambientes complexos – exigem a integração de múltiplas capacidades inteligentes (NILSSON, 2009, p. 320). Nilsson (2009, p.450) enfatiza que o progresso no campo tem sido impulsionado não apenas por inovações isoladas, mas por uma combinação de avanços teóricos, aumento do poder computacional e disponibilidade de dados (NILSSON, 2009, p. 450).

Essa perspectiva é ecoada por Russell e Norvig (2016, p. 25), que afirmam que "a IA verdadeiramente geral requer a combinação de representação de conhecimento, raciocínio e aprendizado".

3.3 Automação e criação de novas tarefas

A relação entre automação e o mercado de trabalho é assunto frequente na economia contemporânea, principalmente quando se trata de avanços tecnológicos acelerados. Acemoglu e Restrepo (2019), desenvolveu uma abordagem inovadora para entender como a automação não apenas substitui trabalhadores, mas também pode gerar novas tarefas, reconfigurando a dinâmica do emprego e da desigualdade. Segundo os autores, "o viés de habilidades não é uma consequência inevitável do progresso tecnológico, mas depende do tipo de inovação adotada"

(ACEMOGLU; RESTREPO, 2019, p. 358). Conceito esse que será posteriormente abordado nesse trabalho no estudo de caso.

Acemoglu e Restrepo (2018) argumentam que a automação tende a substituir tarefas rotineiras, tradicionalmente realizadas por trabalhadores de qualificação média, reduzindo sua participação no mercado. No entanto, os autores ressaltam que esse processo não é unidirecional. A introdução de novas tarefas, como aquelas ligadas à gestão de sistemas digitais ou à análise de dados, pode compensar parcialmente os efeitos negativos da automação, realocando trabalhadores para funções complementares à tecnologia. Como observam, "a criação de novas tarefas não apenas absorve a mão de obra deslocada, mas também pode aumentar a produtividade agregada" (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018, p. 1510).

Essa dinâmica é ainda mais explorada em Acemoglu e Restrepo (2019), onde os autores analisam o impacto da IA. Eles demonstram que, embora a IA acelere a automação, também abre espaço para a criação de tarefas que exigem habilidades cognitivas e criativas, frequentemente associadas a trabalhadores mais qualificados. Contudo, os autores alertam para os riscos de um desequilíbrio: quando a automação supera a geração de novas tarefas, o resultado é a polarização do mercado de trabalho e o aumento da desigualdade.

Acemoglu amplia a discussão para o plano histórico e político. Acemoglu e Johnson (2023) argumentam que, historicamente, a trajetória tecnológica foi definida por relações de poder, não por inevitabilidade técnica que a direção do progresso tecnológico não é neutra, mas moldada por instituições e escolhas sociais. Acemoglu defende que, hoje, é possível "redirecionar a tecnologia para que sirva a objetivos mais inclusivos" (ACEMOGLU; JOHNSON, 2023, p. 217), desde que haja vontade política para priorizar inovações que gerem empregos, e não apenas substituam trabalhadores.

Portanto, seus estudos mostram que o futuro do trabalho depende não apenas da tecnologia em si, mas de como ela é implementada e regulada. A criação de novas tarefas surge como um antídoto potencial aos efeitos disruptivos da automação, mas sua eficácia está condicionada a políticas que incentivem inovações complementares à mão de obra. Portanto, Acemoglu e Restrepo (2019, p. 360), defendem que: "o desafio não é impedir a automação, mas garantir que ela seja acompanhada de mecanismos que distribuam seus benefícios de forma mais equitativa".

3.4 O papel da Inteligência Artificial no desenvolvimento de carros elétricos

A IA emergiu como tecnologia para o desenvolvimento e aprimoramento dos veículos elétricos (*Battery Electric Vehicles* -BEVs), atuando em múltiplas frentes da cadeia produtiva e operacional. Conforme destacam Zhou et al. (2023, p. 15), "a IA não apenas acelerou o processo de inovação dos BEVs, mas redefiniu os parâmetros de eficiência e desempenho que eram considerados limites físicos intransponíveis". Essa sinergia entre eletrificação e algoritmos inteligentes manifesta-se em três domínios principais: otimização de baterias, gestão de energia e desenvolvimento de sistemas autônomos.

Para Liu e Zhang (2022), afirmam que no âmbito das baterias, a IA revolucionou o processo de pesquisa e desenvolvimento. Liu e Zhang (2022, p. 112) demonstram que "algoritmos de aprendizado de máquina reduziram em até 70% o tempo necessário para testar novas composições químicas de baterias, permitindo ciclos de inovação mais rápidos". Nesse sentido, empresas como a Tesla, B.Y.D e outras utilizam redes neurais para prever a degradação celular com 95% de precisão, estendendo a vida útil das baterias em aproximadamente 20% (CHEN et al., 2023, p. 45). Esses avanços foram cruciais para superar uma das principais barreiras históricas dos BEVs: a autonomia limitada e o custo elevado das baterias.

Wang et al. (2023) destacam a relevância da IA para a gestão energética em veículos elétricos, apontando que sistemas sofisticados baseados em aprendizado por reforço têm sido desenvolvidos por importantes fabricantes como Volkswagen e BMW. Segundo os pesquisadores, essas soluções tecnológicas analisam dinamicamente múltiplas variáveis operacionais, incluindo características da topografia, condições do tráfego e padrões de condução individuais, visando a otimização contínua do desempenho energético dos veículos. Como observa Kim (2022, p. 56), "um BEV equipado com IA pode aumentar sua autonomia em até 15% apenas através da gestão preditiva do fluxo de energia, sem qualquer modificação física nos componentes".

Por fim, a convergência entre eletrificação e autonomia veicular só foi possível mediante avanços em IA. Os sistemas de direção autônoma, como o *Full Self-Driving* (FSD) da Tesla, dependem de algoritmos de visão computacional e redes neurais profundas processando mais de 100 *terabytes* de dados diários de frota (MUSK, 2023). Conforme destacam Patel e Lee (2023, p. 134), "a arquitetura elétrica dos BEVs, com sua capacidade de

processamento distribuído e atualizações *over-the-air*, criou o ecossistema perfeito para a implantação em larga escala de IA embarcada".

3.5 O mercado automotivo global

O mercado automotivo de veículos movidos a combustão interna (*Internal Combustion Engine* - ICE), tecnologia que dominou o setor ao longo do século XX e moldou a estrutura industrial, econômica e social da mobilidade global. Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA), 99% dos carros comercializados no mundo utilizavam motores a gasolina ou diesel (IEA, 2020). Consoante, esse foi o paradigma tecnológico do período, esse modelo baseava-se em uma cadeia produtiva linear, envolvendo montadoras, concessionárias e uma extensa rede de fornecedores de peças e combustíveis fósseis (WARTSBURG, 2018).

Wartsburg (2018) descreve uma cadeia produtiva altamente verticalizada, onde as montadoras ocupavam posição central no controle desde o desenvolvimento até a comercialização dos veículos. Segundo Wartsburg (2018, p. 67), "as fabricantes estabeleciam relações assimétricas com fornecedores hierarquizados em camadas (*Tier 1*, *Tier 2* etc.), mantendo forte controle sobre especificações técnicas e processos produtivos". Esse arranjo criava um sistema fechado, com concessionárias regionais atuando como elo final na distribuição exclusiva dos produtos.

O autor identifica a dependência de combustíveis fósseis aparece como característica estrutural desse modelo. Wartsburg (2018) demonstra como a indústria desenvolveu relações simbióticas com o setor petrolífero, criando infraestruturas complementares que abrangem desde postos de abastecimento até redes de distribuição de lubrificantes. Essa interdependência, conforme o autor, "reforçava a inércia tecnológica e dificultava a transição para alternativas energéticas" (WARTSBURG, 2018, p. 112). Assim sendo, as barreiras à inovação são analisadas como consequência direta dessa estrutura consolidada, Wartsburg (2018) identifica três obstáculos principais: os altos custos de capital necessários para competir com as montadoras estabelecidas, as economias de escala que beneficiavam os *players* tradicionais e um complexo sistema regulatório moldado em torno da tecnologia de combustão interna. Como observa o autor, "as normas técnicas, os sistemas de homologação e até os modelos de financiamento foram desenvolvidos para perpetuar o status quo tecnológico" (WARTSBURG, 2018, p. 145).

Wartsburg (2018) destaca como a indústria automotiva tradicional moldou o desenvolvimento urbano e regional, com a criação de polos industriais que concentravam

empregos e atividades econômicas correlatas. Contudo, o autor também aponta os riscos dessa dependência excessiva, notando que "regiões inteiras se tornaram vulneráveis às oscilações do setor, com pouca diversificação econômica" (WARTSBURG, 2018, p. 203).

3.6 Os veículos elétricos a bateria (BEVs) no cenário automotivo

A ascensão dos BEVs representa uma significativa transformação tecnológica na indústria automotiva. Conforme destacam Sperling e Eggert (2018, p. 45), "a transição para a mobilidade elétrica configura-se não como uma mera substituição tecnológica, mas como uma reconfiguração completa do ecossistema automotivo". Essa disrupção manifesta-se em múltiplas dimensões, desde a cadeia produtiva até os modelos de negócio tradicionais do setor.

Os fatores catalisadores dessa transformação encontram-se ancorados em três vetores principais. O primeiro refere-se aos avanços tecnológicos nas baterias de íon-lítio, cuja densidade energética aumentou 87% entre 2010 e 2020, enquanto os custos caíram cerca de 89% no mesmo período (BLOOMBERGNEF, 2021). Para o autor, tal evolução permitiu que os BEVs alcançassem autonomias competitivas e preços gradualmente acessíveis, superando uma das principais barreiras históricas à sua adoção em massa. O segundo vetor relaciona-se às pressões regulatórias globais, particularmente após o Acordo de Paris em 2015, quando diversos países estabeleceram metas agressivas para a descarbonização do transporte. Como observa Lutsey (2019, p. 103), "as políticas de zerar emissões líquidas criaram um ambiente institucional favorável à eletrificação, forçando as montadoras a reorientarem seus investimentos".

O terceiro aspecto, como destacam Sperling e Eggert (2018), os BEVs não se limitam a substituir o propulsor térmico, mas introduzem uma nova arquitetura veicular com integração digital nativa. Porquanto, essa característica possibilitou o surgimento de modelos de negócio inéditos, como as atualizações *over-the-air* (OTA) de *software* e serviços de assinatura de funcionalidades, práticas pioneiramente implementadas pela Tesla (MUSK, 2020). A disrupção dos BEVs também altera radicalmente a cadeia de valor automotiva. Enquanto no modelo tradicional cerca de 30% do valor de um veículo vinha do sistema de propulsão térmico (motores, transmissões e componentes associados), nos elétricos esse valor migra para as baterias e sistemas eletrônicos (MCKINSEY, 2022, p. 7).

Contudo, os desafios para consolidação dessa disrupção permanecem significativos. Ainda segundo BloombergNEF (2021, p. 15), "a infraestrutura de recarga,

especialmente para usuários sem garagem privada, constitui uma barreira crítica para a adoção em massa".

3.7 Os veículos híbridos plug-in (PHEVs) e suas distinções dos BEVs

Os Veículos Híbridos *Plug-in* (*Plug-in Hybrid Electric Vehicles* - PHEVs), para Bradley e Frank (2020) representa uma solução paliativa, combinando a flexibilidade dos motores a combustão e as vantagens ambientais da propulsão elétrica em pequenos percursos. Assim o autor aborda que essa dualidade tecnológica se reflete tanto em suas vantagens operacionais quanto em suas limitações estruturais quando comparados aos BEVs.

A arquitetura dos PHEVs diferencia-se fundamentalmente dos BEVs por integrar dois sistemas de propulsão distintos: um motor elétrico alimentado por baterias recarregáveis e um motor a combustão interna tradicional (TRAN,2021). Como observa Tran (2021, p. 78), "enquanto os BEVs operam exclusivamente com energia elétrica armazenada, os PHEVs alternam entre os modos elétrico e híbrido conforme as condições de condução e estado de carga da bateria". Li et al. (2022), afirma que essa característica permite aos PHEVs superarem uma das principais barreiras dos BEVs, pois o motor a combustão atua como redundância quando a carga elétrica se esgota.

Para a Agência Internacional de Energia (*International Energy Agency* – IEA) (IEA, 2022, p. 56) "os PHEVs podem reduzir em até 60% as emissões de CO₂ em comparação com veículos convencionais, quando carregados regularmente". Economicamente, os PHEVs apresentam vantagens e desvantagens distintas em relação aos BEVs. Por um lado, seu custo de aquisição tende a ser menor, pois utilizam baterias menores e menos complexas. Como destacam os relatórios da BloombergNEF (2023, p. 67), "a redução no tamanho do pacote de baterias dos PHEVs (tipicamente entre 8-15 kWh) resulta em economias significativas frente aos BEVs (50-100 kWh)". Por outro lado, a manutenção dos PHEVs é mais complexa e onerosa que a dos BEVs, pois exige a manutenção de dois sistemas de propulsão distintos, conforme demonstram as análises de custo total de propriedade apresentadas por Zhang e Qian (2022, p. 89).

3.8 Vendas de veículos ICE, BEV e PHEV no mercado automotivo

Conforme os dados compilados a partir da IEA e da Organização Internacional dos Fabricantes de Veículos Motorizados (*Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles* - OICA) (Tabela 1), observa-se que as vendas globais de veículos movidos a

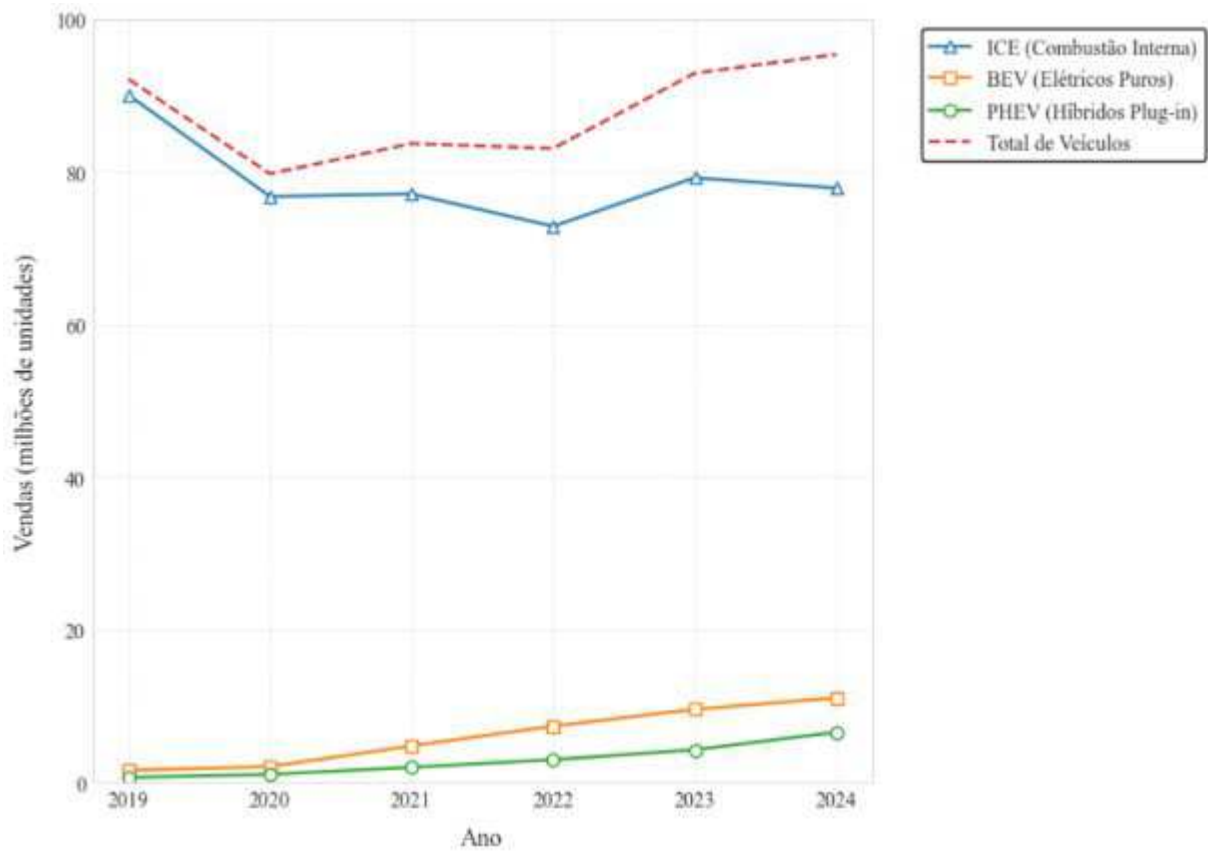
combustão interna (ICE), elétricos a bateria (BEV) e híbridos *plug-in* (PHEV) entre 2019 e 2024 passam por um crescimento acelerado dos BEVs e PHEVs, enquanto os ICEs apresentam declínio relativo, refletindo a transição tecnológica disruptiva descrita por Sperling e Eggert (2018).

Tabela 1 – Vendas globais de veículos ICE, BEV e PHEV de 2019-2024 (em milhões de unidades)

Ano	PHEV	BEV	ICE	Total
2019	0,58	1,5	89,98	92,06
2020	0,97	2,01	76,69	79,66
2021	1,9	4,7	77,03	83,63
2022	2,9	7,3	72,78	82,98
2023	4,2	9,5	79,15	92,85
2024	6,5	11	77,81	95,31

Fonte: Elaboração própria com dados da IEA (2025) e OICA (2025).

Gráfico 1 – Evolução das vendas globais de veículos por tipo de propulsão em milhões de unidades (2019-2024)



Fonte: Elaboração própria com dados da IEA (2025) e OICA (2025).

Os BEVs, que saltaram de 1,5 milhão de unidades em 2019 para 11 milhões em 2024, evidencia a "inovação" schumpeteriana, representada por avanços tecnológicos em baterias (BloombergNEF, 2021) e incentivadas pelas políticas de descarbonização (Lutsey, 2019). Conforme Acemoglu e Restrepo (2019), essa trajetória não é neutra, mas moldada por escolhas institucionais e investimentos em inovação. Já os PHEVs representam uma "solução de transição" (Bradley e Frank, 2020), combinando flexibilidade energética e redução de emissões. A queda relativa dos ICEs, que permanecem dominantes em volume, mas perderam 12 milhões de vendas entre 2019 e 2024, ilustra o processo de "destruição criativa" (Schumpeter, 1997).

A Tabela 1 também revela que, apesar da disrupção, o mercado total de veículos manteve estabilidade, com variação inferior a 4% entre 2019 e 2024. Contudo, como alertam Zhou et al. (2023), a consolidação dos BEVs depende da superação de barreiras estruturais, como infraestrutura de recarga e custos de produção.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Inovação e desenvolvimento econômico dos BEVs

A inovação tecnológica, conforme destacado por Schumpeter (1988), representa um dos principais motores do desenvolvimento econômico, rompendo com o fluxo circular da economia e introduzindo novas combinações produtivas. Nesse contexto, empresas como caso da Tesla, B.Y.D e outras emergem no papel do empresário schumpeteriano. Nesse contexto, os BEVs são um exemplo emblemático de como a inovação disruptiva pode reconfigurar setores tradicionais, como a indústria automobilística. Este estudo de caso analisa a trajetória dos BEVs, à luz do referencial teórico schumpeteriano, explorando como as empresas incorporaram os conceitos de destruição criativa e busca por liderança empresarial na tentativa de transformar o mercado automobilístico.

4.2 Inovação disruptiva e a ruptura com o fluxo circular

Utilizando o conceito desenvolvimento econômico de Schumpeter (1988) o mercado de BEVs busca com suas inovações, impor mudanças internas de dentro do próprio sistema capitalista, alterar o equilíbrio econômico do mercado automobilístico mundial. O paradigma dominante da indústria automobilística, tradicionalmente baseado nos ICEs, foi contestada quanto à sua eficiência. Os BEVs ao propor uma nova matriz energética para mover seus automóveis, vai além desenvolvendo a automação dos seus carros e atendendo os estímulos políticos por uma matriz energética mais favorável as questões ambientais.

A Tesla exemplifica o conceito de destruição criativa proposto por Schumpeter (1997), no qual inovações disruptivas substituem tecnologias e modelos de negócios estabelecidos, reconfigurando mercados inteiros. A Tesla é pioneira no setor ao desenvolver seus sistemas de inteligência artificial de veículos autônomos, como seus sistemas *Autopilot* e *Full Self-Driving* (FSD) representando um marco na indústria automotiva. Essas tecnologias, que integram inteligência artificial e aprendizado de máquina, prometem revolucionar a mobilidade urbana, embora seu desenvolvimento enfrente desafios complexos em múltiplas dimensões.

O desenvolvimento da IA pela Tesla baseou-se em princípios da inteligência artificial simbólica de McCarthy (2007). A abordagem da Tesla foi além do paradigma simbólico inicial, adotando técnicas modernas de *deep learning*, inspiradas nos trabalhos de Hinton (2007), LeCun (2015) e Bengio (2013). Usando como base as redes neurais profundas,

a Tesla extraiu padrões complexos de grandes volumes de dados, uma premissa essencial para a condução autônoma.

O sistema *Autopilot* (TESLA, 2014), introduziu funcionalidades semiautônomas como controle adaptativo de cruzeiro e assistência de permanência em faixa. Já o FSD (TESLA, 2020), busca alcançar autonomia total, respaldada pelas novas tecnologias em baterias, com capacidade de navegação em ambientes urbanos complexos. A abordagem tecnológica distintiva da Tesla, que privilegia visão computacional foi detalhada por Musk (2021) durante o Tesla *AI Day*, que defendeu a capacidade do empreendimento ser escalável como o passar do tempo. A teoria do desenvolvimento desse processo foi explicada por Böhm-Bawerk (1889).

Ademais, acompanha com essa inovação a criação de todo um novo mercado consumidor baseado na infraestrutura física e de serviços. Ao desenvolver veículos elétricos autônomos de alto desempenho, a empresa não apenas introduziu uma nova tecnologia, mas busca redefinir toda a cadeia de valor do setor, essa estratégia alinha-se com a ideia de que "as novas combinações são necessariamente mais vantajosas do que as antigas" (SCHUMPETER, 1988, p. 89), gerando lucros extraordinários no curto prazo.

Conforme a teoria de Schumpeter (1988), esse sistema do fluxo econômico não é estático. As mudanças nos fatores de produção inseridas pela Tesla, são novos elementos, e rompem com o equilíbrio do ciclo anterior.

4.3 **Transformação estrutural da indústria automotiva**

No aspecto produtivo, os BEVs demandam uma estrutura industrial significativamente distinta quando comparada a indústria tradicional de ICEs. Enquanto um veículo ICE convencional requer cerca de 2.000 componentes móveis em seu sistema de propulsão, os BEVs funcionam com aproximadamente 20 (SPERLING; EGGERT, 2018). O autor elucida que essa simplificação estrutural, possibilitada pela IA através de sistemas de design generativo e otimização de componentes, resulta em cadeias produtivas mais enxutas. Como observa Wartsburg (2018), a indústria tradicional desenvolveu ao longo de décadas uma complexa rede de fornecedores especializados em componentes para motores térmicos, enquanto os fabricantes de BEVs estão construindo ecossistemas mais verticalizados e dependentes de software.

A questão dos custos apresenta uma dinâmica peculiar na nova indústria. Se por um lado os BEVs possuem custos de produção iniciais mais elevados - principalmente devido às baterias -, a IA permite ganhos de escala acelerados. Conforme destacam Zhou et al. (2023),

algoritmos de aprendizado de máquina estão reduzindo em até 30% os custos de desenvolvimento de novas gerações de baterias, enquanto sistemas de gestão preditiva estão diminuindo as despesas com manutenção em cerca de 40% quando comparados aos veículos ICE. Essa diferença se torna ainda mais significativa quando consideramos o ciclo de vida completo do produto, onde os BEVs já apresentam vantagem econômica em diversos mercados (BLOOMBERGNEF, 2021).

A eficiência energética constitui outro ponto de divergência fundamental. Enquanto os motores ICE mais avançados convertem apenas cerca de 30-40% da energia do combustível em movimento útil, os sistemas de propulsão elétricos alcançam eficiências superiores a 90% (IEA, 2022). A IA potencializa ainda mais essa vantagem através de sistemas de gestão energética que adaptam dinamicamente o consumo às condições de tráfego e padrões de condução, como demonstram Wang et al. (2023) em seus estudos sobre algoritmos de otimização em tempo real.

O impacto no mercado de trabalho revela transformações profundas. A produção de BEVs demanda aproximadamente 30% menos horas de trabalho direto na montagem quando comparada aos veículos ICE convencionais (MCKINSEY, 2022). Contudo, como alertam Acemoglu e Restrepo (2019), essa redução cria postos especializados em áreas como desenvolvimento de software, análise de dados e gestão de sistemas de energia. A requalificação da mão de obra emerge como desafio central nessa transição, particularmente para trabalhadores de linhas de montagem tradicionais.

A integração da IA na indústria de BEVs também está redefinindo as relações com os consumidores. Enquanto no modelo ICE a interação com o fabricante tendia a se limitar às manutenções periódicas, os BEVs permitem uma conexão contínua através de atualizações de *software* e serviços baseados em dados. Como observa Musk (2020), essa característica transforma o veículo de produto em plataforma, criando fluxos de receita recorrentes inexistentes no modelo tradicional.

Apesar das vantagens evidentes, a transição para os BEVs enfrenta desafios estruturais. Acemoglu e Johnson (2023) destacam que a consolidação da nova indústria depende da superação de gargalos na cadeia de suprimentos de baterias e da construção de infraestrutura de recarga adequada. Além disso, como alerta Schumpeter (1988), processos de destruição

criativa costumam gerar resistências institucionais e desequilíbrios temporários antes de estabelecerem um novo paradigma estável.

4.4 O papel do empresário schumpeteriano e o financiamento da inovação

A figura de Elon Musk, como líder da Tesla, ou Wang Chuanfu, como fundador da B.Y.D ilustram o conceito de J.B. Say (1803) sobre o papel do empresário que é aquele que recombina fatores existentes de forma de forma original. A integração de baterias de íon-lítio, *softwares* avançados de autonomia e automação e uma infraestrutura própria de recarga (*Superchargers*) demonstra como a empresa combinou elementos pré-existentes para criar um produto radicalmente novo.

Musk identificou a oportunidade tecnológica e enfrentou o desafio de financiar um empreendimento, fazendo em pequena parte o papel de capitalista, de alto risco em um setor consolidado. Musk realizou um aporte inicial na empresa em 2004 com capital próprio. Inicialmente, Musk aportou US\$ 6,3 milhões em 2004, durante a rodada de investimento da Tesla, (VANCE, 2015). Esse capital foi essencial para o desenvolvimento dos primeiros modelos, como o *Roadster*, que estabeleceu a Tesla como uma empresa inovadora no setor automotivo. Contudo, o alto custo de produção de veículos elétricos exigiu fontes adicionais de financiamento.

Schumpeter (1988) ressalta que o crédito bancário é essencial para viabilizar inovações, pois o empresário não pode contar com os lucros de operações passadas para financiar projetos disruptivos. Nesse sentido, a Tesla recorreu a mecanismos de financiamento diversos. Incluindo investimentos de risco, subsídios governamentais e emissão de ações. Em 2010, a Tesla realizou sua oferta pública inicial (IPO), tornando-se a primeira montadora de carros elétricos a abrir capital na bolsa de valores *NASDAQ*. O IPO arrecadou US\$ 226 milhões, proporcionando liquidez para expandir suas operações e investir em novas tecnologias (SEC, 2010). Esse movimento também atraiu a atenção de grandes investidores institucionais, como Blackrock, Vanguard e Baillie Gifford, que passaram a comprar ações da empresa, consolidando sua posição no mercado (TESLA, 2020). Schumpeter (1988) ressalta que essa prática é um exemplo do papel do capitalista como gerador de assimetrias dentro do fluxo circular.

Além do mercado de capitais, a Tesla beneficiou-se de políticas governamentais de incentivo a energias renováveis. Esse é iniciativa é uma tentativa de o governo direcionar o

caminho do desenvolvimento, como mostrado por Acemolu (2023). Em 2009, o Departamento de Energia dos Estados Unidos concedeu à empresa um empréstimo de US\$ 465 milhões por meio do programa de veículos de tecnologia avançada (ATVM), destinado ao desenvolvimento de veículos eficientes (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2009).

Assim, o crescimento da Tesla foi sustentado por essa estratégia e permitiu que a empresa superasse desafios iniciais e se tornasse uma líder global em mobilidade elétrica, demonstrando como uma abordagem multifacetada pode impulsionar negócios inovadores.

Esse processo evidencia a presença de um hiato temporal entre o investimento inicial e a geração de receitas, característico das inovações schumpeterianas. Apesar das críticas sobre sua sustentabilidade financeira nos primeiros anos, a Tesla validou a tese de que "o lucro é um fenômeno vinculado à liderança no sistema econômico" (SCHUMPETER, 1988, p. 115), tornando-se lucrativa após dominar parte significativa do mercado.

A inovação tecnológica, conforme destacado por Schumpeter (1988), representa um dos principais motores do desenvolvimento econômico, rompendo com o fluxo circular da economia e introduzindo novas combinações produtivas. Nesse contexto, empresas como caso da Tesla, B.Y.D e outras emergem no papel do empresário schumpeteriano. Nesse contexto, os BEVs são um exemplo emblemático de como a inovação disruptiva pode reconfigurar setores tradicionais, como a indústria automobilística. Este estudo de caso analisa a trajetória dos BEVs, à luz do referencial teórico schumpeteriano, explorando como as empresas incorporaram os conceitos de destruição criativa e busca por liderança empresarial na tentativa de transformar o mercado automobilístico.

4.5 As habilidades na transição energética

A transição para a mobilidade elétrica ao mesmo tempo que impulsiona o desenvolvimento econômico através de inovações radicais, ela ameaça deslocar postos de trabalho vinculados ao paradigma tecnológico anterior, no caso os motores à combustão interna. Esse cenário aparentemente inevitável de obsolescência de habilidades é, contudo, contestado pela perspectiva teórica de Acemoglu e Restrepo (2019), para quem o viés de habilidades não é um destino inevitável do progresso técnico, mas sim um resultado moldado por escolhas institucionais e estratégias corporativas. Nesse contexto, a iniciativa *Battery Academy* (BA) da Volkswagen emerge como um caso de política pública institucional desenhada para mitigar os

efeitos disruptivos da inovação, reafirmando que a trajetória da transformação industrial pode e deve ser guiada para fins de inclusão produtiva.

Implementada na Alemanha, a BA representa um investimento em capital humano, focado na requalificação de funcionários cujas expertises estavam associadas à manufatura de motores a combustão. A BA oferece treinamento intensivo em química de baterias, processos de montagem de células e sistemas de gestão de energia para veículos elétricos (VOLKSWAGEN, 2022). A BA representa um exemplo de qual é o papel de uma instituição responsável durante o ciclo de transição entre tecnologias disruptivas. A substituição de trabalhadores por avanço tecnológico foi planejada e buscou prevenir impactos sociais, durante a conversão das fábricas. Nesse sentido, a iniciativa tenta garantir que a força de trabalho existente não seja descartada, mas sim transicionada para as novas linhas de valor.

Nessa abordagem em vez de substituir a mão de obra considerada obsoleta, a empresa optou por reinvestir nela, criando as habilidades necessárias internamente. Enquanto a automação e a nova arquitetura dos veículos elétricos mudam diversas funções, a BA atua como um mecanismo para a criação de novas tarefas e, por consequência, para a reinstalação do trabalho humano em patamares de qualificação mais elevados (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018). O programa não apenas preserva empregos, mas os transforma, exigindo e desenvolvendo competências técnicas superiores relacionadas à eletroquímica, *data science* e gestão de sistemas complexos.

O investimento está baseado na regulação ambiental europeia e alemã, o *European Green Deal* (COMISSÃO EUROPEIA, 2019) que estabeleceu prazos rigorosos para a descarbonização do transporte. Nesse sentido, a BA é a resposta a incentivos e pressões institucionais mais amplas. Ela exemplifica a tese de Acemoglu e Johnson (2023, p. 217) de que "a trajetória tecnológica é moldada por relações de poder e escolhas institucionais", demonstrando que, quando devidamente orientadas pelas políticas públicas, as corporações podem alinhar sua busca por inovação e lucro com a manutenção da coesão social. Dessa forma, a iniciativa fortalece o argumento de que o direcionamento tecnológico não é neutro, podendo ser orientado para gerar ganhos sociais mais equitativos, mitigando assim o potencial excludente dos processos de mudança tecnológica acelerada.

5 CONCLUSÃO

Esse trabalho evidencia que a IA consolida-se como elemento central na reconfiguração do mercado automotivo de BEVs, evidenciando o processo de destruição criativa descrito por Schumpeter (1988) na prática. A potencial transição do mercado automotivo dos veículos a combustão interna para os elétricos a bateria representa mais do que uma substituição tecnológica, configurando-se como uma transformação estrutural que redefine os paradigmas produtivos, os modelos de negócio e as relações econômicas no setor.

A IA atua como catalisadora de ganhos de eficiência no desenvolvimento de baterias e sistemas de propulsão. Conforme destacado nesse trabalho, os ganhos com algoritmos de aprendizado de máquina na redução de custos de produção e a ampliação da autonomia energética ajudam na estratégia dos BEVs para superar as limitações de eficiência energética dos motores de combustão interna. Essa superioridade técnica, associada à arquitetura simplificada dos veículos elétricos está redefinindo as cadeias de valor e os processos produtivos no setor.

A reconfiguração do mercado automotivo, no entanto, não se limita aos aspectos técnicos e produtivos. A convergência entre eletrificação e digitalização criou não só um produto, mas um mercado novo baseados em serviços recorrentes e modelos de negócio inéditos. Essa transformação é exemplificada pela ascensão das empresas de BEVs como Tesla, B.Y.D e de outras montadoras de veículos elétricos.

Contudo, como destacam Acemoglu e Johnson (2023), a trajetória dessa transformação não segue um caminho definido. Os desafios estruturais - que vão desde a escassez de matérias-primas para a produção de baterias até a necessidade de requalificação da mão de obra - exigem que políticas públicas equilibrem a aceleração tecnológica com a inclusão produtiva. A transição bem-sucedida para a mobilidade elétrica demanda não apenas incentivos fiscais e investimentos em pesquisa, mas também a construção de arranjos institucionais capazes de distribuir os benefícios da inovação e mitigar seus custos sociais. Nesse sentido, os arranjos e as políticas públicas serão os fatores determinante para definir o sucesso ou fracasso desse novo modelo.

Portanto, este trabalho demonstra que a inteligência artificial tem o potencial para mudar o modelo do desenvolvimento econômico no setor automotivo. O pleno potencial dessa transformação, no entanto, só será realizado mediante a construção de arranjos institucionais que articulem progresso tecnológico, desenvolvimento econômico e inclusão social.

REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, D.; JOHNSON, S. **Power and progress: our thousand-year struggle over technology and prosperity**. New York: PublicAffairs, 2023.

ACEMOGLU, D.; RESTREPO, P. Artificial intelligence, automation, and work. In: AGHION, P. et al. (Ed.). **The economics of artificial intelligence**. Chicago: University of Chicago Press, 2019. p. 197-236.

ACEMOGLU, D.; RESTREPO, P. Automation and new tasks: how technology displaces and reinstates labor. **Journal of Economic Perspectives**, v. 33, n. 2, p. 3-30, 2019.

ACEMOGLU, D.; RESTREPO, P. The race between man and machine: implications of technology for growth, factor shares, and employment. **American Economic Review**, v. 108, n. 6, p. 1488-1542, 2018.

ACEMOGLU, D.; ROBINSON, J. **Why nations fail: the origins of power, prosperity, and poverty**. New York: Crown Business, 2012.

BENGIO, Y. **Deep learning of representations for unsupervised and transfer learning**. Proceedings of ICML Workshop on Unsupervised and Transfer Learning, p. 17-36, 2013.

BÖHM-BAWERK, E. **A teoria positiva do capital**. São Paulo: Nova Cultural, 1989.

BLOOMBERGNEF. **Electric Vehicle Outlook 2021**. New York: Bloomberg Finance L.P., 2021.

BRADLEY, T. H.; FRANK, A. A. Design, demonstrations and sustainability impact assessments for plug-in hybrid electric vehicles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 1, p. 142-156, 2020.

CHEN, X. et al. Machine learning for lithium-ion battery degradation diagnosis. **Nature Energy**, v. 8, p. 40-52, 2023.

GOLDIN, C.; KATZ, L. F. **The race between education and technology**. Cambridge: Harvard University Press, 2008.

COMISSÃO EUROPEIA. Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comitê Econômico e Social Europeu e ao Comitê das Regiões: O Acordo Verde Europeu. Bruxelas, 11 dez. 2019.

HINTON, G. E. et al. Learning representations by back-propagating errors. **Nature**, v. 323, p. 533-536, 1986.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global EV Outlook 2020**. Paris: IEA, 2020.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Global EV Outlook 2022**. Paris: IEA, 2022.

KIM, S. AI-powered Energy Management Systems for EVs. **Journal of Power Electronics**, v. 22, n. 1, p. 53-67, 2022.

LECUN, Y. et al. Gradient-based learning applied to document recognition. **Proceedings of the IEEE**, v. 86, n. 11, p. 2278-2324, 1998.

LI, J. et al. Comparative study on energy management strategies for plug-in hybrid electric vehicles. **Applied Energy**, v. 305, p. 117896, 2022.

LIU, H.; ZHANG, Q. Accelerating battery innovation through AI. **Science Robotics**, v. 7, eabq3756, 2022.

LUTSEY, N. **Regulating Vehicle Emissions**. Washington: ICCT, 2019.

MCKINSEY & COMPANY. **The Future of Automotive Supply Chains**. Detroit: McKinsey, 2022.

MCCARTHY, J. **Artificial intelligence: what is it?** Stanford: Stanford University, 2007.

MCCARTHY, J. **LISP 1.5 programmer's manual**. Cambridge: MIT Press, 1962.

MUSK, E. **Tesla AI Day**. Palo Alto: Tesla, 2021.

MUSK, E. **Tesla Battery Day**. Palo Alto: Tesla Inc., 2020.

MUSK, E. **Tesla AI Day 2023**. Palo Alto: Tesla Inc., 2023.

NILSSON, N. J. **The quest for artificial intelligence: a history of ideas and achievements**. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. **Artificial intelligence: a modern approach**. 3. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2016.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, socialismo e democracia**. Rio de Janeiro: Forense, 1997.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico**. São Paulo: Nova Cultural, 1988.

SEC. **Tesla Motors, Inc. Form S-1 Registration Statement**. U.S. Securities and Exchange Commission, 2010.

SPERLING, D.; EGGERT, A. **Electric Vehicles**. Berkeley: University of California Press, 2018.

SPIETHOFF, A. **Die wirtschaftlichen Wechsellagen: Aufschwung, Krise, Stockung**. Tübingen: J. C. B. Mohr (Paul Siebeck), 1955. v. 1-2.

TESLA. **Annual Report (Form 10-K)**. 2020.

TESLA. **Autopilot launch announcement**. Palo Alto: Tesla, 2014.

TESLA. **Full self-driving beta release notes**. Palo Alto: Tesla, 2020.

TESLA. **Impact Report 2023**. Palo Alto: Tesla, 2023.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Department of Energy Announces \$8 Billion in Loans for Advanced Vehicle Technologies**. 2009.

VANCE, A. **Elon Musk: Tesla, SpaceX, and the quest for a fantastic future**. New York: HarperCollins, 2015.

VOLKSWAGEN AG. **Annual Report 2022**. Wolfsburg: Volkswagen AG, 2022.

WARTSBURG, M. **The Automotive Industry: A Chain of Value**. Berlin: Springer, 2018.

WANG, X. et al. AI-powered Energy Management Systems for EVs. *Journal of Power Electronics*, v. 22, n. 1, p. 53-67, 2023.

ZHANG, L.; QIAN, T. Total Cost of Ownership Analysis for Alternative Fuel Vehicles. **Journal of Cleaner Production**, v. 359, p. 132063, 2022.

ZHOU, Y. et al. AI-driven battery management systems in electric vehicles. *Nature Energy*, v. 5, p. 112-125, 2023.