

Universidade Federal de Uberlândia
Instituto de Economia e Relações Internacionais (IERI)

Carlos Eduardo Nascimento Costa

Blockchain, Inteligência Artificial, Assimetria de Informação e Crédito: Uma Discussão sobre
Impactos Econômicos de Inovações Tecnológicas

Uberlândia
2025

Carlos Eduardo Nascimento Costa

Blockchain, Inteligência Artificial, Assimetria de Informação e Crédito: Uma Discussão sobre
Impactos Econômicos de Inovações Tecnológicas

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto de Economia e
Relações Internacionais como requisito
parcial para obtenção do título de bacharel
em Ciências Econômicas.

Orientador: Carlos César Santejo Saiani

Uberlândia

2025

Dedico esta monografia, primeiramente, a Deus, pelo dom da vida; e, em segundo lugar, à minha família, pois foi em seu apoio e incentivo que encontrei as bases para fazer o melhor uso do dom que me foi dado.

RESUMO

Esta monografia investiga os efeitos das inovações tecnológicas na economia, com foco na análise de como o *Blockchain* e a Inteligência Artificial podem contribuir para a mitigação da assimetria de informação. Para tanto, realiza-se uma revisão da literatura da teoria da informação, contextualizando as principais abordagens, bem como discutindo os mecanismos por meio dos quais tais tecnologias vêm sendo aplicadas em diferentes setores. Por fim, desenvolve-se uma análise específica do mercado de crédito, ambiente caracterizado por elevada assimetria informacional, examinando como essas inovações podem reduzir custos de informação e aprimorar a eficiência na concessão de crédito.

Palavras-chave: Inovações Tecnológicas. *Blockchain*. Inteligência Artificial. Assimetria de Informação. Mercado de Crédito.

ABSTRACT

This monograph investigates the effects of technological innovations on the economy, focusing on how Blockchain and Artificial Intelligence can contribute to mitigating information asymmetry. To this end, a literature review grounded in information economics is conducted, contextualizing the main theoretical approaches and discussing the mechanisms through which these technologies have been applied across different sectors. Finally, a specific analysis of the credit market, an environment characterized by high informational asymmetry, is developed, examining how these innovations may reduce information costs and enhance efficiency in credit allocation.

Keywords: Technological Innovations. Blockchain; Artificial Intelligence. Information Asymmetry. Credit Market.

SUMÁRIO

I – INTRODUÇÃO	7
II – REFERENCIAL TEÓRICO, <i>BLOCKCHAIN</i> E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL .	9
2.1 Informação e Economia.....	9
2.2 <i>Blockchain</i> e Inteligência Artificial.....	12
III – <i>BLOCKCHAIN</i>, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E	
ASSIMETRIA DE INFORMAÇÕES	17
3.1 Discussão à luz do referencial teórico	17
3.2 Aplicações do <i>Blockchain</i> no Brasil.....	19
3.3 Aplicações da IA no Brasil.....	22
3.4 O caso do crédito.....	27
CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42

I – INTRODUÇÃO

O papel da tecnologia para o crescimento/desenvolvimento econômico é tema recorrente na literatura econômica. No trabalho seminal de Solow (1957), por exemplo, é preconizado que grande parte do aumento do produto agregado de uma economia decorre do progresso técnico; i.e., não é explicado apenas pelos fatores tradicionais de produção, como capital e trabalho. Assim, destaca o papel da inovação tecnológica como motor do crescimento/desenvolvimento econômico, algo que depois é aprofundado pela literatura schumpeteriana (Paiva et al., 2018).

Segundo Lastres e Ferraz (1999), a importância da informação e do conhecimento sempre foi reconhecida nas análises econômicas. Os autores revisam esta importância em diferentes abordagens econômicas, com ênfase às inovações e, especificamente, ao “paradigma tecnológico (PTE) das tecnologias da informação” e, associado a este, ao desenvolvimento de teorias da “Economia da Informação, Conhecimento e Aprendizado”. Cada novo PTE resulta de um processo de seleção de combinações viáveis de inovações que geram transformações em toda a economia e influenciam o comportamento desta, dado que apresenta três atributos: ampla possibilidade de aplicação, demanda crescente e queda persistente do seu custo unitário. Assim, cada paradigma gera novas combinações de vantagens políticas, sociais, econômicas e técnicas. Os autores destacam, ainda, que o período atual é marcado por transformações sistêmicas, com inovações de todos os tipos sendo desenvolvidas e difundidas, cada vez mais rapidamente e em todas as atividades econômicas, o que culmina em novos produtos, processos e insumos e consolida a difusão das tecnologias da informação (TIs). Nesse contexto, o atual PTE surgiu com o conjunto interligado de inovações em computação, eletrônica, engenharia de *softwares*, sistemas de controle, telecomunicações e circuitos integrados, que reduziram muito os custos de armazenagem, processamento, comunicação e disseminação de informação. Assim, as TIs afetam todas as atividades econômicas, com setores maduros “rejuvenescendo” e indústrias surgindo (Freeman e Soete, 1994; Ferraz, Kupfer e Haguenaue, 1997). No cerne das mudanças estão o crescimento acelerado de setores intensivos em informação e conhecimento e as TIs passando a ser fundamentais à gestão pública, privada e individual (Lastres e Ferraz, 1999).

Considerando os aspectos supracitados, a hipótese norteadora da presente Monografia é que inovações em TIs teriam impactos na Economia. Para a discutir, são tomados como objetos de análise duas inovações recentes importantes no campo: i) o *Blockchain*; e ii) a Inteligência Artificial (IA). *Grosso modo*, a primeira é uma tecnologia de registro distribuído que funciona como um livro-razão digital (público e imutável) e registra transações de descentralizadamente

– i.e., não dependendo de autoridade central – e segura (Nakamoto, 2008). Já a IA corresponde a uma inovação tecnológica que emprega recursos de TIs com o intuito de simular capacidades humanas, como raciocínio lógico, aprendizado e tomada de decisão (Russell e Norvig, 2020).

O objetivo geral é debater que a *Blockchain* e a IA geram impactos na Economia devido à redução de assimetrias informacionais e, consequentemente, amenização de incertezas, custos de transação – e, especificamente, custos de mensuração – e comportamentos oportunistas. Para atingir o objetivo proposto, são feitas discussões embasadas: i) na literatura teórica sobre informação e Economia; ii) em revisão de trabalhos que apresentam aplicações das referidas tecnologias em alguns setores (indústrias) brasileiros; e iii) e no caso do mercado de crédito. É importante apontar que o mercado de crédito é interessante de ser analisado a título de ilustração da problemática abordada em função de ser permeados por sérios problemas informacionais em geral e, especificamente, de assimetrias informacionais. Apesar disso, poucos trabalhos avaliam os possíveis impactos das referidas tecnologias nesse mercado. Assim, a presente Monografia contribui à literatura, ao endereçar uma síntese da discussão geral e setorial sobre o papel de inovações tecnológicas para a eficiência dos mercados e a qualidade das decisões econômicas

Realizados estes apontamentos introdutórios, deve-se destacar, por último, que a presente Monografia desenvolve a discussão proposta em dois capítulos, além desta Introdução e das Considerações Finais. O primeiro capítulo apresenta, inicialmente, o referencial teórico, no qual são enfatizadas a definição de informação na Economia e o problema (causas e consequências) da assimetria de informações. Em um segundo momento no segundo capítulo, são brevemente caracterizadas as tecnologias do *Blockchain* e da IA. No terceiro capítulo, os possíveis efeitos econômicos destas tecnologias, via a redução de assimetrias informacionais, são discutidos à luz da literatura teórica, de uma revisão aplicada e do estudo do caso do mercado de crédito.

II – REFERENCIAL TEÓRICO, *BLOCKCHAIN* E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

2.1 Informação e Economia

A “informação” é difícil de ser definida. A título de ilustração, no dicionário “Novíssimo Aulete”, os seguintes resultados são encontrados: “ação ou resultado de se informar”, “conjunto de dados sobre algo ou alguém” e “relato de acontecimentos ou fatos, transmitido ou recebido” (Aulete, 2011). Essas definições são satisfatórias para o dia a dia. No entanto, quando a questão da informação é problematizada, é necessário um conceito que contribua para a investigação tanto de possíveis soluções de problemas associados a ela quanto dos impactos que são gerados.

Na Economia, além daquelas associadas a inovações tecnológicas – que são mencionadas na Introdução desta Monografia –, há fundamentações relevantes à compreensão de questões econômicas relacionadas a problemas informacionais em geral e, especificamente, a assimetrias informacionais. Tais fundamentações ajudam a entender o papel de soluções tecnológicas para melhorar a eficiência dos mercados e a qualidade das decisões econômicas – o que se relaciona ao objetivo da presente Monografia. Para explorar esse argumento, primeiramente, é importante entender o que a Economia interpreta como informação e como a insere em suas discussões.

Nas Ciências Econômicas, a informação pode ser definida como os dados processados e estruturados que reduzem incertezas e, assim, influenciam as decisões dos agentes econômicos. Ou, de forma mais sucinta, como é sugerido por Birchler e Büttler (1999) e é aqui considerado, como redução de incerteza. Os mesmos autores também apontam dois aspectos essencialmente associados à informação: i) engenharia; e ii) semântica. A engenharia refere-se à transmissão eficaz entre o emissor e o receptor, mesmo com interferências externas. Já o aspecto semântico envolve a interpretação correta das mensagens, pressupondo conceitos compartilhados pelos envolvidos – como o idioma. Esses aspectos ganham relevância na presença de assimetrias informacionais – discutidas mais adiante –; ou seja, de agentes com informações privadas.

Cabe ressaltar, ainda, que vertentes da Economia interpretam a informação como um ativo econômico e, nesse sentido, tendo particularidades únicas. Birchler e Büttler (1999) enfatizam que, embora possa ser “barata” a reprodução, produzir informação é inicialmente dispendioso. Assim, os autores pontuam a dificuldade de verificar diretamente os dados, exigindo avaliações comumente baseadas em observações indiretas, como as atitudes dos envolvidos. Assim, as ações e as decisões dos agentes econômicos são interpretadas, inclusive teoricamente, como

mecanismos indiretos de sinalização de informações privadas – por exemplo, na “Teoria do Consumidor” (neoclássica), com a revelação da preferência por meio da escolha (Varian, 2016).

Isto é problemático, uma vez que uma estrutura informacional sólida permite aos agentes compreenderem melhor as condições reais, favorecendo a tomada de decisões “acertadas”. O valor da informação está justamente na sua capacidade de reduzir incertezas. Conforme Birchler e Büttler (1999, p. 32) “*the value of information (of an information source) is the increase in utility an individual expects from receiving the information (the actual news) and from optimally reacting to it*”. Ou seja, as informações, se mais detalhadas e relevantes, elevam diretamente o benefício obtido pelo agente ao tomar uma decisão para dado fim com base no conhecimento.

Ao reforçar o caráter não só instrumental, mas também como um dos principais alicerces que movimenta a economia contemporânea, Marcondes (2001, p. 61) aponta, sobre o valor da informação, que, principalmente na sociedade atual, com tamanha urgência por informação:

o valor desta como insumo para qualquer atividade, seja ela uma decisão econômica, um processo cultural ou de ensino/aprendizagem, uma pesquisa científica ou tecnológica, está relacionado diretamente ao seu potencial de orientar de forma econômica o dispêndio de energia para a realização desta atividade. Para que possa realizar todo este potencial, a informação relevante para um dado problema precisa estar disponível no tempo certo.

Realizados tais apontamentos iniciais, vale aprofundar uma das discussões da literatura econômica mais relevantes relativas ao tema: a já mencionada assimetria de informação. Esta é interpretada, na vertente neoclássica, como uma falha de mercado quando existem disparidades no acesso às informações entre as partes envolvidas em uma transação econômica. Esta situação surge quando um participante tem conhecimento não disponível ao outro (informação privada) e, devido a isso, pode agir de forma oportunística (oportunismo), se beneficiando, mas afetando decisões dos demais e prejudicando a eficiência econômica geral. Ressalva-se que a assimetria informacional se manifesta por um problema de disponibilidade desigual da informação, mas também: i) pela existência de custos para a obtenção da informação, que algum agente pode não querer assumir ou não ter condições financeiras de arcar com ele; e ii) por divergências na competência de processar a informação – associada a capacidade cognitiva (Williamson, 1985).

As principais manifestações (problemas) associados à assimetria são a seleção adversa (*adverse selection*) e o risco moral (*moral hazard*). Sucintamente, na seleção adversa, uma das partes é incapaz de avaliar previamente (*ex-ante*) aspectos fundamentais dos bens, serviços ou agentes devido a informações não reveladas (problema da informação oculta). Já o risco moral aparece após (*ex-post*) o “fechamento” de um contrato/acordo, quando um agente pode distorcer seu comportamento, oportunisticamente, devido ao incentivo de se beneficiar (Varian, 2016).

Para a presente Monografia, é importante destacar, ainda, a assimetria de informação na discussão da chamada “Teoria dos Custos de Mensuração”, associada à “Economia dos Custos de Transação”. *Grosso modo*, custos de transação vão além dos de produção (refletidos nos preços), sendo incorridos para viabilizar uma transação econômica, como custos de obtenção de informações, de negociação e elaboração de contratos e de fiscalização (Williamson, 1985). Nessa linha, Barzel (1982) define mensuração como a “quantificação da informação” e avança a discussão ao afirmar que quanto maiores os meios de medir o valor real de uma mercadoria, menor é a informação útil que se tem da mesma. Assim, o autor mostra que quando as medições são precisas e consistentes, os compradores e vendedores podem confiar nos dados e tomar decisões eficientes. Porém, na presença de muita variabilidade – i.e., quando os dados são imprecisos ou inconsistentes – há incertezas. Resumidamente, os compradores não sabem exatamente o que estão adquirindo e os vendedores não conseguem precificar corretamente.

Barzel (1982) também argumenta que a sinalização de mercado (*market signaling*) e a seleção adversa são justamente os resultados de um problema geral: o custo de medir atributos relevantes envolvidos em uma transação, dos agentes ou produtos. Nos dois casos, a existência de um custo para medir as características intrínsecas resulta em erros que possibilitam que os indivíduos transfiram riquezas a si mesmos oportunisticamente, beneficiados pela assimetria de informação. A mensuração do valor de um ativo é, então, importante, uma vez que quanto mais difícil for mensurar, maior será o valor desse ativo (Barzel, 1982; Silvera et al., 2022).

Hillier (1997) contribui para essa discussão ao abordar a questão dos elevados custos para verificar informações durante e após a conclusão da transação. Essa dificuldade pode resultar em gastos substanciais, sendo particularmente crítica, por exemplo, em transações financeiras, conforme é argumentado por Stiglitz e Weiss (1981). Esses autores destacam como instituições financeiras apresentam dificuldades em distinguir mutuários “seguros” e “arriscados”, gerando alguns fenômenos, como restrições ao crédito – i.e., limitação da oferta de empréstimos, mesmo havendo demanda, devido aos custos e às incertezas na coleta e na validação das informações¹.

Complementando essa perspectiva, Lastres e Albagli (1999) abordam o papel estratégico da informação na economia do conhecimento contemporânea, ressaltando que o seu acesso e uso eficaz define novas dinâmicas econômicas e sociais. Nesse sentido, deve-se destacar que é estratégico “debruçar-se sobre as informações consideradas sensíveis a cada momento e a cada grau relativo de desenvolvimento de cada empresa” (Passos, 1999). Assim, elas não são apenas simples insumos, mas sim elementos centrais de relações econômicas e institucionais, sendo

¹ As assimetrias informacionais no mercado de crédito são retomadas no próximo capítulo.

que, conforme foi apontado na Introdução para o caso das TIs, mas que pode ser extrapolado a todas as inovações informacionais, elas impactam, em algum grau, todos os setores econômicos.

2.2 *Blockchain* e Inteligência Artificial

O *Blockchain*, introduzido por Nakamoto (2008), é uma ferramenta que consiste em um motor de computação descentralizado, sendo defendido como uma forma segura de codificar e armazenar informações. A evolução da ferramenta, o *Blockchain* 1.0 é focado em criptomoedas e aplicações voltadas ao “dinheiro”, como transferências de moedas – compra de *Bitcoins*², por exemplo – e pagamentos digitais. Já o *Blockchain* 2.0 é voltado a contratos e outras atribuições relativas à economia, como mercados e aplicações financeiras no geral. O *Blockchain* 3.0, por sua vez, além de moeda e finanças, é utilizado em áreas como o governo e saúde (Swan, 2015). Esta evolução das aplicações revela a natureza de “Tecnologia de Uso Geral” – em inglês, *General Purpose Technology (GPT)* – do *Blockchain*; ou seja, vai além do uso básico e inicial financeiro. Isto é possível ao vincular blocos de informações com conexões criptográficas para formar uma cadeia de blocos, possibilitando que os dados sejam armazenados de forma segura e verificados na rede distribuída, sem a necessidade de intermediários (Wang et al., 2019).

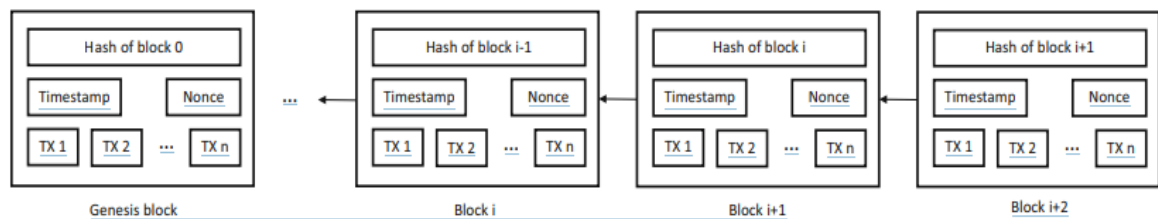
Como ilustrado na Figura 1, um *Blockchain* é uma série de blocos que são vinculados por meio de *hashes* criptográficos – i.e., um algoritmo matemático que transforma dados de entrada brutos em um conjunto de caracteres únicos. Eles podem ser gerados com base nos dados anteriores, formando uma cadeia que garante a integridade de todos os dados e certifica que as alterações em um bloco tornarão todos os blocos subsequentes inválidos (Nofer et al., 2017).

O bloco gênese da cadeia é a base do *Blockchain*, sem a necessidade de um *hash* de bloco. Novos blocos são vinculados sucessivamente a partir deste ponto e cada um dos blocos contém elementos essenciais que incluem o *hash* do bloco anterior – ligando a ele o atual e, portanto, à continuidade da cadeia. Há uma marca de tempo (*timestamp*) que representa a data e hora em que o bloco foi criado; um *nonce*, que é um número aleatório para processos de validação, como no mecanismo “Prova de Trabalho” (*Proof of Work*); e o conjunto de transações (TX) que, uma vez confirmadas pela rede, capturam os dados relevantes (Zheng et al., 2016; Nofer et al., 2017). Os *hashes* criados para cada bloco não são somente para vincular os blocos, mas também garantem a imutabilidade da informação armazenada. Isso se deve ao fato de que qualquer

² Primeira moeda digital descentralizada do mundo.

alteração no bloco exige o recálculo dos *hashes* de todos os subsequentes, exigindo, assim, um poder de processamento computacional muito alto. Essa característica e o armazenamento de *Blockchains* em vários nós descentralizados na rede garantem a segurança. Este mecanismo de consenso ocorre antes de adicionar um bloco, garantindo a autenticidade das transações e a conformidade com os protocolos da rede, assim como possibilitando que qualquer informação registrada no *Blockchain* seja imutável e também segura (Zheng et al., 2016; Nofer et al., 2017).

Figura 1 – Exemplo de um *Blockchain*



Fonte: Zheng et al. (2016) apud Nofer et al. (2017).

É importante ressaltar que a descentralização é uma das características mais significativas do *Blockchain* e tem múltiplas implicações em diferentes domínios. Em contraste com sistemas centralizados, no *Blockchain*, todos os nós da rede armazenam a cópia completa da cadeia de blocos. Isso garante que quaisquer alterações no bloco sejam validadas e aceitas por meio de um consenso dos participantes da rede. Dessa forma, não há a necessidade de intermediários. Outro aspecto a ressaltar é que a descentralização também contribui para o funcionamento do sistema, uma vez que a rede de nós opera normalmente mesmo nos casos de alguns nós estarem comprometidos ou virem a se desconectar da Internet (Nakamoto, 2008; Wang et al., 2019).

A imutabilidade é outra propriedade do *Blockchain* que protege os dados registrados contra fraudes e adulterações. Cada um dos blocos está ligado ao seu antecessor por meio de um *hash* criptográfico único, de modo que alterar um único bloco gera discordância de *hash* a partir daquele ponto, tornando, assim, a manipulação inviável do ponto de vista computacional, dado o grande número de participantes na rede. A imutabilidade é particularmente importante em aplicações que exigem elevadas confiança e integridade das informações, como auditoria financeira, rastreamento de ativos e registros de propriedade. Ressalva-se que a segurança do *Blockchain* é sustentada por criptografia assimétrica ou mecanismos de consenso, significando que cada participante da rede possui uma chave privada, empregada para assinar digitalmente transações, e uma chave pública, por meio da qual a assinatura é verificada (Nofer et al., 2017).

Além disso, os dados armazenados são protegidos contra alterações não autorizadas por meio de algoritmos criptográficos avançados, juntamente aos mecanismos de consenso, como:

i) a “Prova de Trabalho” (*Proof of Work*), que exige que os computadores resolvam problemas matemáticos complexos para validar as transações e garantir a segurança da rede, consumindo grandes quantidades de energia; e ii) a “Prova de Participação” (*Proof of Stake*) – menos usada atualmente –, que valida transações com base na quantidade de criptomoeda que um usuário tem e é disposto a apostar como garantia, consumindo menos energia e assegurando que apenas transações legítimas sejam adicionadas à cadeia, contribuindo à eliminação da dependência de intermediários, reduzindo os grandes custos operacionais (Nofer et al., 2017; Wang et al., 2019). Outro fator que incentiva a adoção do *Blockchain* é a transparência. Isto porque todas as transações registradas na cadeia são visíveis aos participantes da rede, promovendo confiança e permitindo auditorias públicas. A transparência no *Blockchain* não compromete a privacidade, dado que as transações podem ser auditadas sem revelar informações pessoais dos usuários, graças ao uso de endereços pseudônimos e técnicas de proteção de dados (Nofer et al., 2017).

Em conclusão, como uma *GPT*, a estrutura descentralizada do *Blockchain* e seu consenso distribuído possibilitam criar registros imutáveis e transparentes, que são muito importantes no contexto de economias digitais. Por exemplo, os registros digitais de propriedade intelectual, os contratos e os ativos financeiros podem ser geridos de forma eficiente, sem a necessidade de intermediários. Essa generalidade, combinada à escalabilidade³, nas suas diferentes gerações, faz com que o *Blockchain* possa ser utilizado para resolver variadas questões, tanto econômicas como sociais (Nakamoto, 2008; Zheng et al., 2016; Nofer et al., 2017; Wang et al., 2019).

A Inteligência Artificial (IA) também pode ser entendida como uma nova fronteira para o processamento, análise e uso de dados para decisões econômicas. A IA é definida como um campo da computação preocupado em desenvolver máquinas que ajam racionalmente (Russell e Norvig, 2020) – i.e., dado um conjunto de objetivos, que raciocinam sobre a melhor forma de os atingir, percebendo o ambiente e aprendendo. Com a introdução de *Big Data* – *grosso modo*, dados grandes, rápidos e variados que métodos tradicionais não processam – e os decorrentes avanços computacionais, a IA usa técnicas de aprendizado de máquina e crescente sofisticação para processar maciçamente dados e para identificar relações complexas com alta precisão.

Ressalva-se que a IA não é uma tecnologia única e homogênea, mas sim um amplo e heterogêneo campo da ciência da computação, que abrange desde dimensões gerais – como “aprendizagem” e “percepção” – até tarefas específicas – por exemplo, tradução automática e direção autônoma. Por isso, é tradicional dividir a IA em três campos: i) robótica, que envolve sistemas que interagem com o ambiente e respondem a condições desse ambiente; ii) sistemas

³ Capacidade do sistema de se expandir – tanto em quantidade de usuários, como de transações e aplicações – sem perder eficiência e performance e sem aumentar demasiadamente os custos (Nofer et al., 2017; Wang et al., 2019).

simbólicos, voltados a representar conceitos complexos e a operar por manipulação lógica de representação simbólica; e iii) sistemas de aprendizagem, que processam dados com programas analíticos que são inspirados, ao menos em parte, em sistemas neurais (Cockburn et al., 2018).

Uma distinção importante dentro do campo de aprendizagem de máquina diz respeito ao tipo de informação de retorno (*feedback*) disponível no treinamento – ou seja, no processo de ensinar a IA a reconhecer padrões, tomar decisões e gerar conteúdos, fornecendo volumes de dados relevantes e ajustando seus parâmetros internos. Na aprendizagem supervisionada, o pesquisador dispõe de exemplos rotulados; i.e., pares (x, y) : o modelo observa x características (*inputs*) e conhece o “alvo” y (objetivo ou *output*), e o algoritmo ajusta uma função preditiva de modo que minimiza uma medida de erro em novos dados (Mullainathan e Spiess, 2017).

Essa lógica pode ser descrita, de forma concreta e ilustrativa, pela tarefa de classificar imagens em categorias previamente definidas. O sistema recebe as imagens rotuladas, produz *scores*, calcula o erro em relação ao rótulo correto e ajusta seus parâmetros para reduzir tal erro (Lecun, 2015). Já na aprendizagem não supervisionada, os rótulos não são fornecidos e o objetivo é identificar padrões e estrutura nos dados observados; ou seja, “descobrir a estrutura do mundo observando-o, e não sendo informado do nome de cada objeto” (Lecun, 2015).

É possível situar a *random forest* (“floresta aleatória”) e a *deep learning* (“aprendizagem profunda”) no processo de aprendizado de máquina (*machine learning*). A *random forest* é um método (algoritmo) de aprendizagem supervisionada voltado à previsão/classificação. Trata-se de um modelo composto por múltiplas árvores de decisão (*tree predictors*), cada uma construída a partir de subconjuntos aleatórios de dados e de variáveis explicativas, de modo que a previsão final resulta da agregação das respostas individuais dessas árvores, seja por votação majoritária em problemas de classificação ou pela média em problemas de regressão (Breiman, 2001).

Já a *deep learning* não é definida pelo tipo de realimentação (supervisionada ou não), mas sim pela “arquitetura”; ou seja, modelos compostos por múltiplas camadas de processamento que aprendem representações com diferentes níveis de abstração, com avanços importantes em reconhecimento de fala e visão computacional, entre outros domínios (Lecun, 2015). Assim, em linhas gerais, enquanto a *random forests* pode ser entendida como um exemplo canônico de algoritmo supervisionado para previsão, a *deep learning* designa uma família de modelos (redes neurais profundas) que pode ser empregada em tarefas supervisionadas e, em certos arranjos, também em estratégias que exploram a aprendizagem não supervisionada (Breiman, 2001).

Por último, cabe destacar que a atualidade das tecnologias de *Blockchain* e IA abriu um amplo leque de discussões, inclusive as tratando como dispositivos de enfrentamento a falhas de distribuição de informações nos mercados – algo que é discutido mais detalhadamente no

próximo capítulo. Ambas as tecnologias fornecem algumas soluções próprias e complementares que podem se tornar potentes se integradas, melhorando substancialmente as dinâmicas de mercado ao trazer transparência, processos automatizados e segurança informacional, sendo esses alguns dos princípios centrais para mitigar problemas de seleção adversa e risco moral (Stiglitz e Weiss, 1981; Varian, 2016) e, assim, lidar com os custos de transação/mensuração.

Entretanto, tais tecnologias também possuem seus desafios. A IA, em particular, enfrenta a chamada “síndrome da caixa preta”, descrita por Pernagallo (2024), que se refere à falta de transparência nos seus processos algorítmicos, riscos de vieses algorítmicos e preocupações com privacidade de dados. Russell e Norvig (2020) acrescentam que a qualidade, assim como a diversidade dos dados, influencia fortemente as habilidades de soluções baseadas em IA – dados incompletos ou enviesados tornam os algoritmos inúteis ou com previsões errôneas. Já o *Blockchain* apresenta alto consumo de energia, escalabilidade limitada e rigidez de contratos, que precisam de maior desenvolvimento técnico e regulatório (Swan, 2015; Mougayar, 2016).

III – BLOCKCHAIN, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E ASSIMETRIA DE INFORMAÇÕES

3.1 Discussão à luz do referencial teórico

Pesquisas recentes sugerem que avanços tecnológicos são eficazes em mitigar problemas informacionais, em especial assimetrias. Russell e Norvig (2020), por exemplo, indicam que a Inteligência Artificial (IA) possibilita o processamento massivo de dados, revelando padrões ocultos capazes de diminuir incertezas e melhorar a tomada de decisão. Nesse mesmo sentido, Swan (2015) considera a tecnologia do *Blockchain* como um instrumento promissor e benéfico para as transações econômicas, em função da capacidade que ele tem de garantir transparência, descentralização e registros imutáveis, reduzindo custos e riscos da validação de informações. Portanto, pode-se defender que a combinação entre *Blockchain* e IA representa um avanço significativo contra a assimetria informacional, uma vez que facilita mercados mais eficientes e auditáveis. Essas tecnologias podem substituir métodos tradicionais de análise e classificação de risco, como agências de *rating*, por sistemas automatizados mais eficazes (Swan, 2015).

Isto porque, conforme foi discutido no capítulo anterior, problemas informacionais, em especial a assimetria de informação, prejudica a eficiência dos mercados ao aumentar os custos de transação, reduzir a confiança entre os agentes envolvidos na transação e limitar o acesso a recursos. Nessa linha, pode-se defender que o *Blockchain* oferece uma solução ao diminuir dois custos de transação fundamentais: i) de verificação; e ii) de *networking* (Catalini e Gans, 2019). Assim, ele mitiga diretamente consequências negativas do referido problema informacional.

Os primeiros custos supracitados são aqueles relacionados à verificação de aspectos da transação, como propriedade de ativos digitais, integridade de um contrato e credenciais dos agentes econômicos envolvidos na transação; i.e., na linha do discutido anteriormente, casos de custos de mensuração. Em sistemas convencionais, as verificações dependem de intermediários centralizados, como bancos, registros e plataformas digitais, que geralmente impõem altas taxas e concentram o poder de mercado ao controlar dados-chave. Isso também pode gerar riscos de privacidade, pontos centralizados de falha e vulnerabilidade à censura (Catalini e Gans, 2019). Com o *Blockchain*, quaisquer transações e dados são registrados e disponibilizados para todos os participantes da rede, o que reduz a dependência de intermediários e possibilita que os compradores e vendedores verifiquem informações diretamente. Por exemplo, no mercado de

crédito, transações *Blockchain* podem incluir dados verificáveis sobre o histórico de um credor, reduzindo assim dúvidas sobre a qualidade e autenticidade da transação (Catalini e Gans, 2019) – aspecto retomado mais adiante. Pode-se pontuar, ainda, que, ao reduzir custos de verificação das informações, isso também ajuda a mitigar o problema de seleção adversa, apontado no segundo capítulo. Com informações verificáveis e transparentes, os agentes econômicos podem fazer escolhas “melhores” e, assim, são menos propensos à tomada de decisões subótimas⁴.

Já o custo de *networking* refere-se ao desafio de criar, executar e escalar mercados e redes econômicas. Nos sistemas tradicionais, intermediários centralizados – plataformas digitais e bancos, por exemplo – atuam como “coordenadores dos participantes”, geralmente cobrando taxas para conectar compradores e vendedores, processar transações e fornecer infraestruturas. Ou seja, estes intermediários correspondem a custos de transações, definidos anteriormente.

Assim, tendem a acumular poder de mercado e controle sobre os dados dos usuários. Esta dinâmica muda com o *Blockchain*, que, por abranger redes descentralizadas, permite que os participantes trabalhem juntos diretamente – ou seja, infraestrutura que todos compartilham, mas que não possui um operador central (Catalini e Gans, 2019). Ademais, a descentralização é habilitada por mecanismos de consenso – as já mencionadas “Prova de Trabalho” e “Prova de Participação” –, que garantem a validação e a escrita confiável de dados relativas às transações.

Dessa forma, as assimetrias informacionais são reduzidas, é garantida maior transparência e, conseqüentemente, as incertezas são minimizadas (Mougayar, 2016) – diminuindo custos de transação e o oportunismo dos agentes, apontados no capítulo anterior. Ademais, o *Blockchain* pode garantir a integridade e a origem dos dados que alimentam os modelos de IA, o que tende a reduzir riscos, como de adulterações, e a promover uma maior transparência nos critérios de decisão algorítmica – base segura, auditável e descentralizada de dados. Já a IA pode processar tais dados com eficiência e gerar inferências acionáveis (Catalini e Gans, 2019; Yoshinaga e Castro, 2023). Portanto, a combinação de *Blockchain* e IA é uma oportunidade promissora, com destaque à potencial redução de custos de transação no geral e, especificamente, de mensuração, que, como discutidos no segundo capítulo, podem ser um entrave para a eficiência econômica.

⁴ Ocorrem quando os agentes econômicos tomam decisões com base em informações incompletas, distorcidas ou mal distribuídas, levando a resultados de mercado ineficientes ou indesejáveis (Varian, 2016).

3.2 Aplicações do *Blockchain* no Brasil

O Quadro 1 resume trabalhos recentes que abordam a aplicação da tecnologia *Blockchain* em alguns setores no Brasil. É possível notar uma variedade de iniciativas, abrangendo: energia renovável, contabilidade pública, conservação ambiental e inclusão financeira. Assim, é sinalizada uma diversidade de contextos em que a tecnologia é explorada como uma ferramenta para melhorar a transparência, rastreabilidade e confiança em processos econômicos e sociais, reduzindo assimetrias informacionais, oportunismo e custos de transação. Ou seja, os exemplos do quadro abrangem um amplo espectro de aplicações no mundo real, desde a gestão de energia sustentável e transparência pública até um ambiente mais verde e a inclusão socioeconômica.

Quadro 1 – Síntese dos trabalhos relacionados à aplicação do *Blockchain* em setores brasileiros um participante tetm conhecimento

Trabalhos	Métodos	Objetivos	Principais Conclusões
Paiva Sobrinho et al. (2019)	Proposta e discussão	- Apresentar proposta de gestão para a bacia Hidrográfica do Rio Jundiá utilizando moeda complementar via <i>Blockchain</i>	- Promoção de qualidade ambiental e desenvolvimento local, independente de sistemas financeiros tradicionais
Kanegae et al. (2021)	Estudo de caso	- Explorar como a Moeda <i>Seeds</i> usa <i>Blockchain</i> para impacto social em inclusão financeira e igualdade de gênero	- Facilita microfinanças para empreendedoras, apoiando projetos de impacto social via plataforma <i>Blockchain</i>
Prux et al. (2021)	Pesquisa análise descritiva a partir de questionário	- Identificar desafios e oportunidades do uso da <i>Blockchain</i> na contabilidade governamental no Brasil	- <i>Blockchain</i> melhora a contabilidade; benefícios incluem confiança e segurança; desafios são falta de conhecimento e custos
Yamaguchi et al. (2021)	<i>Design Science Research</i> (DSR) e estudo de caso	- Identificar como organizações entendem problemas e propõem artefatos de <i>Blockchain</i> no mercado de Certificados de Energia Renovável (RECs)	- A posição organizacional afeta a adoção de tecnologia; solução precedeu percepção do problema; representações variam por <i>stakeholder</i>
Marques, Gomes e Brandão (2023)	Teoria de Opções Reais (TOR) e Modelo de Árvore Binomial (CRR)	- Propor um modelo de investimento baseado em <i>Blockchain</i> para emissão e venda de Certificados de Energia Renovável (CERs) do tipo <i>token</i> por meio de uma Organização Autônoma Descentralizada (OAD)	- O <i>Blockchain</i> pode ser alternativa viável para incentivar fontes renováveis de energia; - A opção por adiar o investimento aumenta o VPL da geradora em aproximadamente 169,4%; - Métodos simples de precificação de opções reais auxiliam as decisões sob incerteza e flexibilidade

Fontes: trabalhos citados no quadro. Elaboração própria. Nota: VPL – valor presente líquido.

Para a indústria de energia renovável, Yamaguchi et al. (2021) analisam o *Blockchain* como certificadora de energia renovável. Cabe destacar que a certificação é um dos mecanismos tradicionais de sinalização para lidar com o problema de seleção adversa; ou seja, para reduzir assimetrias informacionais (Varian, 2016). O trabalho se concentra nos certificados de energia renovável – em inglês, *renewable energy certificates (RECs)* –, destacando que a tecnologia do

Blockchain permite rastreabilidade e transparência na transação dos certificados, embora haja barreiras regulatórias e de mercado para a implementação. A análise abrange múltiplos setores nos quais os RECs são aplicáveis (energia, meio ambiente, finanças, administração pública e agricultura). Em linha gerais, o trabalho conclui que os setores nos quais a tecnologia vem sendo empregada apresentam reduções de falhas de informação e aumento da eficiência de processos.

Já Marques, Gomes e Brandão (2023), também para discussões sobre os RECs, apontam que a tecnologia *Blockchain* pode promover ainda mais este mercado, uma vez que possibilita a *tokenização* e a distribuição de certificados. Para os autores, a *tokenização* e distribuição de RECs por meio do *Blockchain* podem conferir agilidade às transações, reduzir ou eliminar a burocracia nos meios de pagamento e aumentar a segurança e transparência das transações – i.e., reduz incertezas envolvidas nesse tipo de mercado e, consequentemente, custos de transação. Na contabilidade pública, Prux et al. (2021) avaliam o potencial do *Blockchain* para a administração governamental. Auditoria contínua, orçamentação e prevenção de corrupção são alguns dos casos de uso destacados pelo trabalho, dado que a tecnologia proporciona maiores controle, transparência e segurança da informação, permitindo que as pessoas supervisionem as ações de seus governos (controle social). Peres (2007), ao desenvolver uma abordagem da Economia dos Custos de Transação aplicada ao setor público, aponta justamente a importância de serem estabelecidos mecanismos externos de incentivo e supervisão à “boa” gestão pública.

Especificamente para os recursos ambientais, Paiva Sobrinho et al. (2019) propõem uma nova abordagem para inovar esquemas de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) por meio do emprego de criptomoedas via tecnologia do *Blockchain*. Tomando como estudo de caso a bacia hidrográfica do Rio Jundiá. Em particular, o trabalho propõe uma moeda complementar, chamada “Aqua”, que recompensaria a conservação ambiental, sendo ela menos sujeita a crises econômicas. Segundo Barossi-Filho e Sztajan (2015), em um mercado virtual, suportado por códigos em *open sources*, são diferenciadas tanto a produção como a velocidade de circulação das informações, reduzindo assimetrias informacionais e a chance de desastres econômicos.

Discutindo sobre a inclusão financeira, Kanegae et al. (2021) também abordam a questão das criptomoedas com o caso da Moeda *Seeds*, um ecossistema brasileiro que usa *Blockchain* para o desenvolvimento social. Ao integrar o *e-commerce* a soluções cripto, tal moeda permite microfinanciamento para empreendedoras em comunidades carentes, conta com investidores de todo o mundo financiando, de forma eficiente e transparente, de projetos que atendem aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU). Essa aplicação é um exemplo de vantagens da tecnologia para o crédito, discutidas mais adiante.

Vale ressaltar que, apesar dos diferentes contextos, os trabalhos do Quadro 1 convergem de forma coerente no que diz respeito aos principais benefícios da utilização do *Blockchain*, especialmente no que tange à confiança, transparência e eficiência, o que reduz assimetrias informacionais, comportamentos oportunistas e custos de transação e de mensuração. No setor energético, por exemplo, é verificado que o *Blockchain* não só torna o registro de energia renovável mais econômico, mas também aumenta a rastreabilidade e a transparência dos REC, e esses aspectos são ressaltados pelos empreendedores entrevistados (Yamaguchi et al., 2021). Prux et al. (2021) classifica os potenciais benefícios da implementação do *Blockchain* como altos em termos de confiabilidade e de controle, segurança da informação e prevenção de fraudes, sugerindo que há uma alta expectativa de que a tecnologia provavelmente melhorará a integridade e a qualidade dos registros governamentais. Já no caso ambiental, Paiva Sobrinho et al. listam benefícios semelhantes: todas as transações seriam verificáveis, imutáveis e transparentes em um livro-razão distribuído acessível ao público, aumentando a confiança no esquema PSA.

O caso da Moeda *Seeds*, por sua vez, apoia essas ideias, com o uso de *tokens* digitais e uma plataforma *Blockchain* que garante a transparência das operações e a rastreabilidade dos recursos investidos, o que, por sua vez, mostra ao investidor que seu investimento gera um impacto social nos projetos financiados. Nessa linha, Marques, Gomes e Brandão (2023), ao abordarem as RECs, também ressaltam a importância da tokenização por meio do *Blockchain*.

Portanto, uma conclusão convergente dos trabalhos é que, independentemente do setor a ser aplicado, o *Blockchain* parece uma tecnologia que melhora a confiança nos ecossistemas transacionais. Ou seja, reduz assimetrias informacionais, tanto para a confirmação da origem de energia limpa, garantia de registros públicos confiáveis, aprovação de atividades ambientais ou impulsionamento de microcréditos transparentes e inclusivos. Porém, os referidos trabalhos também mostram algumas divergências e nuances dependendo de cada contexto de aplicação.

Yamaguchi et al. (2021), por exemplo, notam diferenças na abordagem organizacional à inovação: a empresa estabelecida (líder de mercado) parece muito hesitante, esperando até que o mercado chegue a um consenso sobre a tecnologia para então apostar completamente nela, enquanto a organização desafiadora prefere experimentar rapidamente, construindo protótipos e novas soluções antes da definição adequada do problema. Assim, em algumas situações, a tecnologia veio antes da necessidade; i.e., o *Blockchain* aplicado em nome da inovação em si, o que gera modelos de negócios incorretos e coexistência de processos analógicos e digitais.

No setor público, embora as vantagens pareçam ser promissoras, a adoção é lenta ou relutante. A pesquisa de Prux et al. (2021) sinalizou que 98,9% dos profissionais identificam como desafios: falta de conhecimento e treinamento, dúvidas sobre a relação custo-benefício,

integração ou substituição de sistemas legados e falta de casos de sucesso para serem utilizados como de referência. Além disso, mais de 50% dos entrevistados não perceberam disposição de suas instituições para implementar o *Blockchain* a curto prazo, ilustrando a desconexão entre o potencial teórico e a prioridade prática. Outros entrevistados duvidam de que a tecnologia atinja realmente todo o seu potencial ou seria ultrapassada por outra tecnologia antes de amadurecer.

No estudo ambiental, Paiva Sobrinho et al. (2019) adotam um tom muito ativo e positivo ao afirmarem que um sistema PSA em *Blockchain*, por ser independente do sistema financeiro tradicional e imune a crises, torna os programas ambientais mais resilientes. Mas reconhecem complicações, incluindo a aceitação dos usuários, o que torna necessária a educação ambiental e financeira, assim como a adesão por parte das empresas locais e talvez até implementar apoio governamental para aceitar a criptomoeda para pagamento de impostos, aumentando a adoção.

No caso da Moeda *Seeds*, já existe uma implementação concreta em escala piloto: em três anos de operação, já haviam sido financiados mais de 200 projetos comunitários (em torno de R\$ 5 milhões), mobilizando mais de 5 mil investidores na plataforma. Porém, tal viabilidade prática não veio sem desafios: a empresa teve que se inovar ao criar um *token* estável vinculado ao Real (MDABRL), entre outras coisas, para superar a grande volatilidade das criptomoedas e se integrar ao sistema financeiro nacional. Além disso, devido à crise sanitária da pandemia do COVID-19, a moeda precisou adaptar seu modelo de negócios, investindo na criação de um mercado digital (moeda *Market*) para distribuir a produção dos empreendedores durante a crise. Os aspectos comentados sinalizam que, além da própria tecnologia, a flexibilidade e a interoperabilidade com outras soluções – como *e-commerce* e parcerias institucionais – são fundamentais para a sustentabilidade da iniciativa em cenários adversos. Em suma, os trabalhos divergem quanto ao estágio de maturidade e obstáculos: alguns enfatizam a experimentação e o aprendizado (energia), outros expõem um hiato entre a expectativa e a prática (setor público). Nessa linha, enquanto a proposta ambiental idealiza um novo sistema monetário verde, o caso da moeda exemplifica os ajustes para operacionalizar uma solução *Blockchain* no mundo real.

3.3 Aplicações da IA no Brasil

O Quadro 2 sintetiza os trabalhos aqui revisados que abordam a aplicação da IA no Brasil. A discussão na sequência, inicialmente, considera os primeiros três trabalhos do quadro, com aplicações setores estratégicos: agricultura, energia elétrica e finanças. Em linhas gerais, estes

trabalhos sinalizam como a tecnologia de IA tem sido utilizada para impulsionar a tomada de decisões, elevar a automação e oferecer eficiência. Ademais, apontam os obstáculos usualmente associados a tal aplicação, que incluem infraestrutura, regulamentação e qualificação técnica.

No setor agrícola, em 2020, a pesquisa de Embrapa, Sebrae e INPE (2020) mapeia o uso de tecnologias digitais em propriedades brasileiras – 504 produtores rurais em todos os estados brasileiros e 249 empresas. O trabalho traça um panorama do uso destas ferramentas no setor e identifica as expectativas e dificuldades enfrentadas pelos usuários. Os resultados mostram uma alta penetração das tecnologias digitais: aproximadamente 84% dos produtores utilizam pelo uma ferramenta tecnológica relacionada à agricultura digital em suas atividades. As ferramentas podem ser acesso à internet, redes sociais para adquirir/compartilhar informações, aplicativos móveis para auxiliar no planejamento da produção e sensores de campo para monitoramento de culturas. Ou seja, a IA e tecnologias semelhantes – como a “Internet das Coisas”⁵ e análises de dados – fazem parte da rotina diária de muitos agricultores no Brasil, os auxiliando com a comunicação, a recuperação de dados de propriedade e até drones para mapeamento de culturas. Os benefícios com a digitalização no campo, na visão dos entrevistados, são relevantes – como, maior produtividade, eficiência no trabalho, qualidade da produção e queda de impactos ambientais. Tais ganhos vêm, por exemplo, da otimização por área do uso de insumos (água, sementes e fertilizantes), viabilizada por sensores e ferramentas de agricultura de precisão, bem como da adoção de melhores práticas de gestão por dados. Os produtores estão “ansiosos” para adotar mais soluções digitais: segundo a pesquisa 95% dos entrevistados querem aprender mais sobre a agricultura digital e as novas ferramentas disponíveis. Nos usuários ativos, há uma percepção de valor, o que pode expandir a aplicação no agronegócio. Porém, o estudo também constatou que barreiras importantes ainda precisam ser superadas para a difusão completa da IA no ambiente rural brasileiro (Embrapa, Sebrae e INPE, 2020), o que é abordado mais adiante.

No setor de eletricidade, a IA é aplicada em problemas de engenharia e regulação. Costa et al. (2023) discutem sobre uma abordagem inovadora assistida por IA para melhor definir os limites de interrupção na entrega de energia elétrica. Trata-se da aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina (*machine learning*) para permitir a seleção de atributos relevantes, assim como a classificação ou o agrupamento de empresas de utilidade pública ou grupos de consumidores com características para definir metas de continuidade do serviço – indicadores de duração e frequência de interrupções) de forma mais justa e eficiente. Assim, o objetivo do estudo é desenvolver – o que fez – uma ferramenta, chamada MAIA, que utiliza técnicas de IA

⁵ Sucintamente, rede de objetos físicos incorporados com sensores, *softwares* e tecnologias para conectar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas pela internet.

para ordenar e selecionar variáveis, como dados elétricos, meteorológicos, urbanos, sociais e econômicos, que melhor sinalizem o perfil de distintos conjuntos de unidades consumidoras.

Quadro 2 – Síntese dos trabalhos relacionados à aplicação da IA em setores brasileiros

Trabalhos	Métodos	Objetivos	Principais Conclusões
Embrapa, Sebrae e INPE (2020)	Pesquisa <i>online</i> com 504 agricultores e 249 empresas	- Mapear o uso de tecnologias digitais na agricultura; - Identificar desafios e oportunidades	- 84% dos entrevistados utilizam pelo menos uma tecnologia digital; - Principais barreiras são custos e conectividade
Costa et al. (2023)	Aprendizado de máquina (<i>Random Forest</i> e <i>K-means</i>)	- Desenvolver metodologia assistida por IA para seleção de atributos para limites de interrupção de energia	- Metodologias de IA melhora seleção de atributos e agrupamento para indicadores DEC e FEC
Yoshinaga e Castro (2023)	Revisão bibliográfica e Análises	- Explorar aplicações da IA em finanças e seus impactos	- A IA transforma finanças por meio de análise de dados em tempo real, escalabilidade, gestão eficiente de portfólios; - Desafios incluem necessidade de especialistas e ética
Aveni e Faria (2024)	Revisão bibliográfica e Análises	- Explicar a relação entre o direito de concorrência brasileiro e o uso de IA	- A IA pode fortalecer o cumprimento da lei antitruste e promover mercados mais “justos” e competitivos; - Possível assimetria de informações entre agentes que usam a IA e agentes que não controlam a tecnologia, levando a conluíus prejudiciais à concorrência; e regulador-regulado
Bavaresco e Webber (2024)	Método Analítico Hierárquico	- Discutir a necessidade de implementar a IA Explicável para mitigar a assimetria de informação nas relações de consumo	- A adoção de IA Explicável é essencial para desenvolver um mercado mais equilibrado e consciente, onde a explicabilidade das decisões algorítmicas fortalece a confiança e promove um consumo mais informado
Velloso (2025)	Revisão Bibliográfica e Documental	- Analisar os impactos da IA nas relações de consumo	- O uso de IA agrava a assimetria informacional no consumo, prejudicando a autonomia e a autodeterminação dos consumidores e favorecendo ações comerciais abusivas

Fontes: trabalhos citados no quadro. Elaboração própria. Nota: DEC – Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora; FEC – Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora.

Os testes realizados por Costa et al. (2023), utilizando dados reais de casos de uso de 2020, mostram melhorias tangíveis com o uso de IA nesse contexto. Com a metodologia MAIA, constata-se facilidade da escolha dos atributos mais relevantes, resultando em modelos com maior representatividade dos dados e índices de desempenho nos agrupamentos superiores aos apresentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) na prática. Além disso, a abordagem baseada em IA é mais reprodutível e transparente por eliminar a subjetividade da

seleção manual de parâmetros, permitindo uma fácil replicação a vários conjuntos de dados ou a dados atualizados no futuro. Essa descoberta é importante para o setor elétrico brasileiro, à medida que este busca sempre modernizar a regulamentação da qualidade da distribuição de eletricidade – estabelece indicadores de continuidade de forma mais fundamentada e integrada. Assim, é um exemplo da adoção da IA para melhorias em processos setoriais específicos.

No setor financeiro, a IA tem aplicação na gestão financeira de várias maneiras, desde estratégias de investimento até práticas internas de finanças corporativas, conforme aponta a revisão sistemática de Yoshinaga e Castro (2023). Para tais autores, à medida que a IA se integra no “tecido da atividade financeira”, ela proporciona a reorientação de práticas e o surgimento de possibilidades transformadoras, permeando abordagens de investimento, avaliação de riscos, processos de escolha financeira e alocação de ativos corporativos. A IA pode, por exemplo, fazer análises em tempo real de grandes volumes de dados, detectando padrões sutis no mercado e permitindo negociações de alta frequência com velocidade superior à da análise tradicional.

Na alocação de ativos, a IA possibilita uma gestão de fundos mais eficaz, posicionamento otimizado de *portfólios* e decisões com base em modelagem avançada, ao mesmo tempo em que reduz preconceitos e emoções humanas que comprometem as decisões, potencialmente as tornando mais lógicas e eficazes. Já na gestão financeira corporativa, a IA costuma ser utilizada para automatizar processos de contabilidade, previsão de fluxo de caixa e detecção de fraudes, proporcionando maior escalabilidade das operações e resultados aprimorados para análises. Em resumo, a pesquisa de Yoshinaga e Castro (2023) mostra que a IA já revoluciona os serviços financeiros, tanto nas interfaces com clientes – por exemplo, crédito automatizado e consultores virtuais, aspectos retomados mais adiante – quanto na tomada de decisões institucionais.

É interessante ressaltar que, ao analisar os resultados dos três trabalhos listados no Quadro 2, são perceptíveis convergências em termos das utilidades fornecidas pela IA, assim como diferenças quanto à forma e ao estágio de adoção dessas tecnologias em cada setor. De modo geral, todos os trabalhos convergem ao ponto de que, independentemente do setor de adaptação, a adoção de IA tende a gerar ganhos de desempenho significativos. Por exemplo, ganhos de produtividade e eficiência são observados na agricultura (maior produção e uso otimizado de insumos) e nas finanças (decisões de investimento mais rápidas e portfólios mais bem geridos). Além disso, a qualidade das operações também tende a melhorar. No setor de agricultura, via a assistência digital, a qualidade da produção e a sustentabilidade ambiental aumentaram. Já no setor elétrico, em função do algoritmo limpo e quântico proposto, a qualidade da energia fornecida (continuidade do fornecimento) pode ser regulada de forma mais precisa e “justa”.

Assim, há algum consenso de que a IA serve como um vetor para inovação e melhoria, seja no campo em geral, nas redes de energia ou até mesmo no mercado financeiro, levando a decisões orientadas por dados e à automação inteligente de tarefas complexas que antes eram realizadas de forma menos otimizada. Uma segunda convergência diz respeito a como agentes com condições de compra estão interessados e receptivos a estas soluções. Os agricultores, por exemplo, tendem a ser abertos a novas tecnologias e desejam informações para as adotar. Da mesma forma, as empresas financeiras e os investidores interpretam a IA como uma fronteira cada vez mais difícil de ignorar devido às potenciais vantagens competitivas em análises de mercados e eficiências operacionais. Então, nos três setores, os usuários finais, se informados sobre os benefícios, parecem valorizar e desejar a incorporação da IA em suas atividades.

Ao mesmo tempo, há divergências em termos de maturidade e problemas específicos de cada setor. Na agricultura, a adoção de tecnologia digital é representativa, mas com aplicações bastante básicas – uso da internet, redes sociais e aplicativos simples – e existe uma lacuna a ser preenchida em termos de tecnologias avançadas de IA e automação total, particularmente no caso de pequenos e médios produtores. No setor elétrico, ela aparece em aplicação específica – otimização dos indicadores de interrupção de consumo de energia –, mas pode ser mais eficaz que a abordagem tradicional para tal fim. Já no setor financeiro, a tecnologia está em um estágio avançado de difusão e de experimentação ativa – em grandes bancos, *fintechs* e empresas de investimentos –, mas há nuances a serem observadas, como questões regulatórias únicas e a velocidade da inovação que requer inovações constantes. Assim, diverge o foco e abrangência: o trabalho agrícola cobre um amplo panorama setorial – diversas tecnologias no agronegócio nacional –, o trabalho elétrico é focado e aprofundado em um problema técnico nacional, e o trabalho financeiro traz uma perspectiva conceitual e global sobre as mudanças em curso nele. Os setores também desfrutam dos benefícios da melhoria na alocação de recursos, sejam recursos físicos (como insumos agrícolas ou infraestrutura elétrica) ou financeiros (capital de investimento), devido a uma melhor produção de informações da IA. Porém, cada setor enfatiza benefícios adicionais distintos. Na agricultura, valoriza-se o impacto social de inclusão digital no campo e a sustentabilidade ambiental. Na energia, salienta-se transparência e embasamento técnico nas normas de qualidade. Nas finanças, destaca-se a velocidade e escalabilidade trazidas via automação inteligente de transações. Em contraste, os desafios setoriais variam em natureza: alguns são mais tecnológicos/infraestruturais, enquanto outros são humanos e institucionais.

Os demais trabalhos do Quadro 2 se relacionam mais diretamente ao objeto da presente Monografia; ou seja, à assimetria de informações. Aveni e Faria (2024), ao traçarem possíveis aplicações da IA em problemas de concorrência no Brasil, a partir da centralidade do Conselho

Administrativo de Defesa Econômica (CADE), apontam que a tecnologia, ao contribuir para as análises e decisões desse Conselho, pode fortalecer o cumprimento da lei antitruste e promover mercados mais “justos” e competitivos. Porém, o CADE deve estar atento à uma possível assimetria de informação entre agentes econômicos que usam a IA e aqueles que não controlam a tecnologia, o que pode levar a conluios prejudiciais à concorrência entre os primeiros, além de problemas informacionais aos reguladores – assimetrias informacionais regulador-regulado.

Já Velloso (2025), por meio de revisão bibliográfica e documental, defende que o avanço da IA promove uma transformação relevante nas relações de consumo, garantindo eficiência e personalização. Porém, também aprofunda desafios jurídicos, destacando-se a intensificação da vulnerabilidade comportamental e algorítmica dos consumidores, devido à coleta massiva de informações e à falta de transparência nos processos automatizados. Ademais, a assimetria informacional se agrava, comprometendo a autonomia e a autodeterminação dos consumidores, além de favorecer práticas comerciais abusivas – i.e., o oportunismo, discutido anteriormente. Por fim, Bavaresco e Webber (2024) reconhecem o possível agravamento de assimetrias informacionais no consumo com o emprego de IA. Por isso, os autores defendem a adoção de IA Explicável para mitigar a assimetria de informação potencializada nas relações de consumo. Ou seja, sucintamente, métodos e técnicas que tornam os resultados de modelos complexos de aprendizado de máquina (*machine learning*) mais facilmente compreensíveis para os agentes econômicos. Assim, os ganhos de processamento oriundos da IA se revertem efetivamente em reduções de assimetrias informacionais, “melhores” decisões e mercados eficientes. Aveni e Faria (2024) e Velloso (2025) ressaltam que, para isso, são necessárias mudanças institucionais.

3.4 O caso do crédito

A seguir, é discutido como o *Blockchain* e IA têm o potencial de reduzir assimetrias de informações no mercado de crédito, tornando-o mais eficiente, seguro e acessível. Antes disso, é importante ressaltar que, como uma componente relevante das economias, o crédito permite potencialmente a alocação eficiente de recursos ao conectar agentes com *superávits* financeiros àqueles que necessitam de capital para consumo ou investimento. Esse processo é responsável por impulsionar o crescimento econômico, encorajar a inovação, melhorar o bem-estar social e reduzir desigualdades regionais – como é destacado na revisão de Galeano e Feijó (2012).

Contudo, como apontado por Dell’Ariccia (1998), faz parte da caracterização do mercado de crédito a assimetria de informação, em especial devido à divergências de informações entre os credores e tomadores. A assimetria se dá no sentido de credores possuírem pouca informação sobre capacidade de pagamento, histórico financeiro e conduta dos tomadores, o que possibilita tanto o problema da seleção adversa como o do risco moral – discutidos no segundo capítulo.

Cabe ressaltar que, no crédito, a seleção adversa manifesta-se devido aos credores serem incapazes de distinguir, antes da concessão do empréstimo, tomadores de baixo risco e aqueles com maior probabilidade de inadimplência. Segundo Stiglitz e Weiss (1981), essa incapacidade de diferenciação faz com que a taxa de juros deixe de ser apenas um preço de equilíbrio, exercendo também o papel de triagem. O aumento dessa taxa afasta os tomadores mais seguros e atrai os mais dispostos a assumir maiores riscos, deteriorando a qualidade média da carteira de crédito.

O risco moral, por sua vez, surge após a concessão do crédito, quando o comportamento de devedores pode se desviar do esperado devido à dificuldade de monitoramento por credores. Para Jaffee e Russell (1976), tal fenômeno não decorre apenas de falhas de supervisão, mas de mudanças nos incentivos enfrentados pelos agentes; ou seja, após firmado o contrato, tomadores passam a tomar decisões que podem maximizar sua utilidade individual, mesmo com maior risco ou inadimplência, sempre que os custos associados ao *default* forem relativamente baixos. Uma ressalva importante é que a assimetria de informação no crédito não se manifesta de forma uniforme entre os diferentes segmentos de tomadores. Marchiori (2021) demonstra que, no Brasil, as operações destinadas a pessoas físicas historicamente apresentam taxas de juros e *spreads*⁶ superiores aos praticados para pessoas jurídicas, fenômeno que é atribuído diretamente ao maior grau de assimetria informacional nesse segmento. Como as instituições financeiras têm menos instrumentos para avaliar a capacidade de pagamento de tomadores individuais, elevam o prêmio de risco como mecanismo de proteção, penalizando inclusive aqueles com boa capacidade de pagamento. Essa diferenciação revela que o problema não é apenas de acesso ao crédito, mas também de precificação inadequada do risco, com consequências distributivas.

Pinto e Lima (2020) mostram que, sem informação individualizada sobre os tomadores, os bancos são levados a cobrar uma taxa média única que resulta em subsídio implícito aos maus pagadores e em penalização aos bons pagadores. Isso porque a taxa praticada é calculada pela probabilidade média de inadimplência da carteira como um todo e não na probabilidade específica de cada tomador. O paradoxo resultante é que justamente os agentes que representam

⁶ É a diferença entre o custo de captação dos bancos e a taxa cobrada nos empréstimos, incorporando prêmio de risco, custos e margem.

menor risco ao sistema financeiro arcam com um custo de crédito artificialmente elevado; já os de maior risco se beneficiam de uma taxa de juros abaixo do que seria adequado para seu perfil. Esse desequilíbrio tem implicações que vão além do mercado financeiro em si, afetando diretamente a dinâmica macroeconômica. Marchiori (2021) evidencia que choques de política monetária intensificam os efeitos da assimetria informacional, produzindo simultaneamente redução do crédito ofertado, elevação dos *spreads*, contração de prazos de concessão e aumento da inadimplência. Esse conjunto de respostas indica que, em um ambiente já contaminado pela assimetria de informação, choques externos ampliam as distorções, fazendo com que o crédito seja mais escasso e caro quando os agentes econômicos mais necessitam de financiamento.

Segundo Stiglitz e Weiss (1981), a consequência direta da assimetria de informações é o racionamento de crédito. Isso explica por que os bancos preferem restringir a oferta de crédito ao invés de aumentar as taxas. Taxas maiores podem elevar o risco médio da carteira de crédito ao atrair tomadores mais arriscados e incentivar comportamentos que elevam a probabilidade de inadimplência. Nessas condições, credores não têm incentivos a aumentar indefinidamente os juros para eliminar o excesso de demanda, optando por restringir a quantidade de crédito.

O resultado é o equilíbrio com crédito racionado, no qual parte da demanda permanece não atendida mesmo na ausência de rigidez de preços ou intervenções externas (Stiglitz e Weiss, 1981). Essa estratégia cria uma situação em que indivíduos e empresas capazes de honrar suas dívidas ficam sem acesso a financiamentos, prejudicando a economia como um todo. O efeito dessa falha de mercado na economia é extremamente danoso, impedindo, por exemplo, que as empresas mais inovadoras acessem crédito porque carecem de garantias sólidas ou informações históricas suficientes que possam garantir a confiança dos credores. Essa exclusão pode limitar o crescimento de setores considerados mais arriscados – sendo que alguns apresentam um maior potencial de inovação – e reduz a competitividade entre empresas – aquelas com garantias para obter crédito são frequentemente maiores e com maior poder de mercado (Wang et al., 2018).

Nessa linha, com base em uma ampla base de dados de firmas de diferentes tamanhos em diversos países, incluindo o Brasil, Beck et al. (2005) mostram que restrições financeiras, legais e institucionais afetam de forma desigual o crescimento das empresas, sendo bem mais severas às firmas de menor porte. Os autores evidenciam que obstáculos financeiros, como dificuldades de acesso ao crédito, exigências elevadas de garantias e ineficiências no sistema bancário, entre outros fatores que fogem do escopo da presente Monografia, são negativamente associados ao crescimento das firmas, mesmo após o controle por atributos específicos das empresas e dos países. Para os autores, a maior sensibilidade das pequenas empresas às restrições sugere que a assimetria de informação e os custos de monitoramento contribuem para sua exclusão relativa

do sistema financeiro formal, em linha com os argumentos supracitados. Assim, a evidência empírica sustenta a interpretação de que o racionamento de crédito é um fenômeno estrutural, com impactos reais tanto ao crescimento econômico como à dinâmica competitiva entre firmas. Diante dessa discussão, oferecer garantias ajuda a reduzir assimetrias de informações e, assim, os tomadores a serem financiados. Em um sistema de crédito tradicional, as garantias funcionam como um filtro que auxilia os bancos a diferenciar empresas de baixo e alto riscos. As empresas de baixo risco, por entrarem no mercado de crédito com poucas garantias, muitas vezes são incapazes de obter empréstimos – i.e., não conseguem sinalizar sua qualidade, com potenciais novos entrantes sendo excluídos do mercado. Além disso, os indivíduos enfrentam restrições similares por carecerem de acesso a bens e serviços de alto valor, como educação e habitação, sacrificando os seus progressos socioeconômicos no longo prazo (Wang et al., 2018). Por outro lado, o emprego generalizado de garantias tem o efeito nocivo de aumentar os custos de transação no mercado de crédito. Isto porque a avaliação, a negociação, o registro e, em caso de inadimplência, a execução judicial das garantias elevam o custo do financiamento (Wang et al., 2018). Esses custos não aumentam somente o custo do crédito para os tomadores, mas, ao mesmo tempo, utilizam recursos que poderiam ser destinados a atividades produtivas. Outro destaque é que o setor financeiro ainda recorre, preferencialmente, a intermediários financeiros para avaliar a solvabilidade dos tomadores de crédito (Dell’Ariccia, 1998), como bancos e cooperativas de crédito, juntamente com sistemas de avaliação de risco que se baseiam em históricos de crédito ou ativos reais como garantias. Essa prática busca enfrentar os referidos desafios da assimetria de informação, gerando mecanismos para rastrear (*screen*) e monitorar os mutuários como forma de redução dos riscos (Hillier, 1997). Porém, o processo de *screening* e monitoramento apresentam ineficiências; por exemplo, a análise de crédito ao consumidor demanda altos custos informação e verificação (Dell’Ariccia, 1998) – custos de transação em geral e, especificamente, custos de mensuração, na linha da discussão feita no segundo capítulo. Ademais, como apontado no início dessa seção, grande parte de pessoas e pequenas empresas não dispõe de crédito formal – i.e., não conseguem acessar o sistema financeiro tradicional.

Portanto, o mercado de crédito, em grande parte em função de problemas de assimetrias informacionais, apresenta elevados custos de transação e de mensuração, que não se limitam apenas a ineficiências operacionais, mas também agem como uma barreira ao crédito às pessoas e empresas com acesso restrito aos mercados financeiros. Estes custos são ainda mais evidentes em economias em desenvolvimento, nas quais a informalidade das atividades econômicas é grande e, assim, uma parte da população fica à margem dos sistemas de crédito formais, de modo que os reduzir pode revolucionar o acesso ao crédito e impulsionar o desenvolvimento.

Diante de tal diagnóstico – e considerando as discussões do segundo capítulo e do início deste capítulo –, é plausível defender o *Blockchain* como uma tecnologia que pode proporcionar soluções promissoras para um mercado de crédito mais transparente, acessível e eficiente. Para Wang et al. (2018), um dos principais benefícios do *Blockchain* é justamente a sua capacidade de reduzir assimetrias de informações – e, conseqüentemente, custos de transação. Isto porque os sistemas tradicionais dependem de intermediários para o fornecimento de informações sobre a capacidade de pagamento e o histórico financeiro dos tomadores. Essa dependência resulta em custos de transação e decisões não ótimas baseadas em dados desatualizados e incompletos. Ao contrário do sistema financeiro tradicional, no qual os credores têm acesso somente a certos detalhes financeiros, o *Blockchain* fornece uma plataforma descentralizada em que todas as transações financeiras são registradas em livro-razão imutável, visível a todos, fornecendo uma visão mais clara do histórico dos devedores e, assim, reduzindo a seleção adversa e o risco moral. Para Stiglitz e Weiss (1981), ser capaz de avaliar informações dos devedores diminui o racionamento de crédito e permite acesso mais equitativo ao financiamento aos bons pagadores. Deve-se ressaltar que o *Blockchain* pode ser um avanço na área de operações de risco de crédito. Tal risco, segundo Hull (2015), origina-se do risco de inadimplência do devedor ou de uma contraparte financeira em um contrato de empréstimo ou obrigação. O *Z-Score* de Altman (1968)⁷ e a Distância à Inadimplência de Merton (1974)⁸ estão entre os modelos que são mais comumente empregados para determinar a solvência de uma empresa. Porém, eles são baseados em resultados financeiros trimestrais e, conforme Potekhina e Riumkin (2017), a defasagem temporal entre a publicação dos relatórios financeiros compromete a capacidade de refletirem com exatidão a solvência real das empresas. Assim, a adoção de sistemas contábeis baseados em *Blockchain* elimina tal problema ao registrar transações e resultados em tempo real, o que permite a avaliação contínua, automatizada e mais responsiva às condições financeiras atuais.

Além disso, a tecnologia fornece um mecanismo para lidar com as garantias. Estas, em sistemas tradicionais, passam por um longo processo de avaliações, registros e execuções, que aumentam massivamente os custos via custos de transação e mensuração. Segundo Wang et al. (2018), o uso de *Blockchain* permite o registro digital de ativos e, conseqüentemente, o uso de

⁷ Sucintamente, o *Z-Score*, desenvolvido por Edward Altman (1968), combina cinco indicadores financeiros em uma equação discriminante capaz de prever a probabilidade de falência de uma empresa. Valores baixos indicam alto risco de insolvência, enquanto escores elevados refletem solidez financeira. (Potekhina e Riumkin, 2017).

⁸ O modelo de Merton (1974) interpreta o patrimônio líquido como uma opção de compra sobre os ativos da empresa, em que a falência ocorre se o valor dos ativos for inferior ao das dívidas. A distância até a inadimplência expressa quantos desvios-padrão separam a empresa do ponto de insolvência (Potekhina e Riumkin, 2017).

garantias digitais em transações de crédito. Os registros digitais são verificáveis e transferidos quase instantaneamente, sem intermediários e, dessa forma, com custos de transação mínimos.

Outro destaque a ser feito é que as transações entre empresas ou indivíduos registradas no *Blockchain* são facilmente compartilhadas com corporações credoras, demonstrando as suas capacidades de quitar as dívidas. O desenvolvimento de um compartilhamento de informações instantâneo e confiável, reduzindo a assimetria de informação, permite que os credores avaliem a capacidade de pagamento e o comportamento financeiro dos devedores de forma mais precisa e menos custosa, aumentando a confiança para a concessão do crédito (Wang et al., 2018). Essa dinâmica remete aos argumentos de Stiglitz e Weiss (1981) sobre a importância de mecanismos que mitiguem a incerteza informacional para aumentar a eficiência do mercado de crédito.

Como pequenas empresas e indivíduos sem histórico de crédito formal enfrentam mais desafios para conseguir financiamentos, outro impacto significativo do *Blockchain* é a inclusão financeira. Tal tecnologia pode enfrentar esse problema ao permitir que dados alternativos – por exemplo, históricos de pagamentos de serviços públicos e transações digitais – determinem a credibilidade dos mutuários. Como é argumentado por Wang et al. (2018), o acesso ao crédito é democratizado e cria oportunidades para os segmentos historicamente excluídos do sistema financeiro tradicional. Nessa linha, a precificação do crédito também é melhorada com o uso do *Blockchain*, devido à sua transparência, que permite a construção de um histórico financeiro que culmina em precificação mais precisa – o que ajuda, por exemplo, as pequenas empresas.

Apesar das vantagens apontadas, o *Blockchain* enfrenta alguns desafios de adoção em um ambiente amplo de crédito. Como pontuado na revisão aplicada, o problema da escalabilidade aparece. Swan (2017) aponta que, à medida que mais usuários aderem, o tempo para confirmar transações e a energia necessária para o consenso aumentam. Além disso, questões de política e governança devem ser resolvidas para que a ferramenta possa ser incorporada aos sistemas financeiros existentes. De acordo com Wang et al. (2018), o mercado de crédito deve adotar uma abordagem colaborativa entre os desenvolvedores de tecnologia, as instituições financeiras e os reguladores governamentais para ter sucesso na implementação da tecnologia *Blockchain*. Portanto, o impacto que o *Blockchain* pode causar no mercado de crédito é grande. O seu potencial para reduzir assimetrias de informações e custos de transação faz desta tecnologia uma alternativa de nova geração para o mercado de crédito, assim como a IA. A aplicação desta em setores econômicos, incluindo no mercado de crédito, tem sido extensa, visando a otimizar processos e a aumentar a eficiência. O principal objetivo da IA é prever, automatizar e otimizar o trabalho humano de maneira mais rápida e precisa (Shalev-Shwartz e Ben-David, 2014).

Para Pernagallo (2024), com a revolução dos dados e o advento de técnicas de *machine learning*, as instituições financeiras dispõem de ferramentas quantitativas que permitem calcular mais objetivamente a probabilidade de inadimplência de mutuários a partir de microdados sobre características pessoais e comportamentais. Isto porque algoritmos podem processar grandes volumes de dados – estruturados e não estruturados⁹ –, produzindo avaliações mais precisas de risco de crédito e minimizando significativamente a assimetria informacional nesse mercado (Peters e Panayi, 2016). É importante ressaltar a possibilidade de empregar dados alternativos, incluindo, por exemplo, o comportamento do consumidor, histórico de pagamentos digitais e até comportamentos *online*, gerando uma avaliação de risco personalizada (Bag et al., 2021)

Portanto, a IA pode ser uma importante aliada na avaliação de crédito, sendo que quanto maior a disponibilidade de dados, mais precisas são as respostas produzidas pelas máquinas (Pernagallo e Torrisi, 2022) – ou seja, informação como redução de incerteza como definido no segundo capítulo da presente Monografia. Ademais, além de aprimorar a avaliação de risco, a referida tecnologia também pode desempenhar funções na automação da alocação de crédito.

As ferramentas de *credit scoring* (*escore* de crédito) baseadas em *machine learning* não apenas aceleram as decisões de concessão de crédito, como também reduzem as chances de as organizações assumirem riscos adicionais. Historicamente, os credores dependiam de modelos com dados estruturados sobre o histórico de transações e pagamentos, empregando métodos como regressão, árvores de decisão (*decision tree*) e análise estatística para calcular os *escores* de crédito. Com a IA, os bancos e outros credores passam a poder recorrer a fontes de dados adicionais, tanto estruturados como semiestruturados. A aplicação de algoritmos de *machine learning* a esse tipo de dados permite a avaliação de fatores qualitativos, como comportamento de consumo e disposição a pagar, gerando maior, mais rápida e barata segmentação da qualidade dos mutuários e, em última análise, a decisão de crédito mais ágil (Peters e Panayi, 2016).

Um benefício adicional é a expansão do acesso ao crédito. Nos modelos tradicionais de *credit scoring*, o potencial mutuário deve ter quantidade suficiente de informações históricas de crédito disponíveis para ser considerado “pontuável”. Na ausência desses dados, um *escore* de crédito não pode ser calculado e um mutuário potencialmente confiável frequentemente fica impossibilitado de obter crédito e construir um histórico. Com dados alternativos e a aplicação de algoritmos de *machine learning* para a avaliação da capacidade e da disposição a pagar, os credores podem chegar a decisões de crédito que eram impossíveis anteriormente. Por exemplo, dados de alta frequência sobre transações de pagamentos *online* podem ajudar a averiguar a

⁹ Dados não estruturados são informações que não seguem um modelo de dados predefinido, como vídeos, e-mails e postagens em redes sociais.

credibilidade de indivíduos e pequenas empresas; já a avaliação de pagamentos de contas não relacionadas a crédito, como pagamentos de contas de telefone celular e serviços públicos, pode ser combinada com outras informações para gerar um perfil de crédito (Peters e Panayi, 2016).

Aspectos relativos à utilidade da IA na redução da assimetria de informação, de acordo com Marwala e Hurwitz (2017), é a sinalização e a triagem. A primeira – apontada no segundo capítulo –, segundo Spence (1973), é o processo em que o agente mais informado transmite ao mercado suas qualidades, buscando reduzir a assimetria informacional. Aplicado ao objeto dessa Monografia, é o processo em que mutuários divulgam dados sobre a sua credibilidade e “qualidade” como tomadores de crédito, geralmente via garantias e históricos financeiros. A IA melhora esse processo, lidando com o risco moral. Algoritmos podem examinar informações e identificar padrões que indicam se o solicitante é provável ou não de cumprir suas obrigações financeiras, minimizando a incerteza a credores e permitindo taxas de juros mais competitivas. A triagem, conforme Stiglitz (1974), é o processo inverso; i.e., o agente menos informado busca modos do outro indivíduo revelar informações ocultas (privadas). No mercado de crédito, refere-se à capacidade de os credores conseguir e utilizar informações sobre os mutuários para identificar bons e maus pagadores. A IA leva isso um passo adiante, analisando correlações, incluindo comportamentos financeiros, padrões de consumo e dados não estruturados. Assim, a IA identifica perfis de risco melhor do que os métodos convencionais e atua para reduzir o crédito a clientes com altas chances de inadimplência. Isso ajuda a alocar recursos financeiros com maior precisão e desencoraja perdas no mercado de crédito (Marwala e Hurwitz, 2017).

Além disso, a IA pode identificar padrões “ocultos”; ou seja, menos evidentes aos agentes econômicos. Algoritmos podem filtrar características que tendem a determinar a capacidade de um mutuário de pagar o empréstimo (Marwala, 2015). Consequentemente, isso melhora o custo do crédito e minimiza as chances de decisões “erradas” com base em informações incompletas. No entanto, a implementação da IA no mercado de crédito não está isenta de seus próprios desafios. Um exemplo é a mencionada “síndrome da caixa preta” (*black box syndrome*), descrita por Pernagallo (2024) como a falta de transparência nos processos algorítmicos da tecnologia. Esta questão decorre da capacidade dos modelos de IA, que, quando alimentados com grandes quantidades de dados, produzem previsões, mas sem explicações claras sobre como as decisões foram tomadas. Isso reduz a auditabilidade e a confiabilidade do sistema e torna difícil entender qual variável afeta os resultados. O autor estende ainda mais seu argumento ao ponto em que a proliferação de modelos “obscuros” resulta em uma situação na qual os tomadores de decisão terão que confiar nas previsões da IA sem opção de questionar por que o modelo chegou a uma certa conclusão ou aplicar raciocínio qualitativo para corrigir um erro ao qual o modelo chegou.

Assim, embora as soluções potenciais, como a IA Explicável, sugerida por Pernagallo (2024) – e também pelo trabalho com aplicações ao Brasil (Quadro 2) de Bavaresco e Webber (2024) –, possam melhorar a interpretação dos modelos de IA, a questão da transparência ainda permanece prevalente, pois pode reduzir a confiabilidade da concessão de crédito e dificultar auditorias e a regulação do setor (Mittelstadt et al., 2016), afetando a capacidade de monitorar potenciais “erros” e tornando difícil a assunção da responsabilidade por decisões equivocadas. Além disso, não ser transparente cria desigualdades na concessão de crédito, dado que os solicitantes não sabem os critérios utilizados nas suas avaliações (assimetria informacional), o que significa que desconhecem meios para melhorar suas perspectivas de obtenção de crédito. Por isso, modelos cada vez mais explicáveis e auditáveis é um desafio à implementação da IA.

Vale ressaltar, ainda, que o viés algorítmico é uma preocupação porque aprende padrões a partir de dados passados. A IA poder apresentar tal viés decorre do fato de que o desenvolvedor pode ser enviesado. Quando os dados são tendenciosos – por exemplo, refletindo disparidades raciais ou sociais preexistentes –, os algoritmos também perpetuam tais distorções na concessão do crédito (Pernagallo, 2024). Outras preocupações são aquelas relacionadas à privacidade: a coleta e o empregos de vários dados pessoais podem levar as organizações a utilizá-los indevidamente, o que torna necessária uma regulamentação adequada (Mittelstadt et al., 2016). Cabe apontar que, embora técnicas baseadas em dados possam amenizar a maioria dos problemas relacionados à assimetria de informação, ainda há alguns casos em que simplesmente ter acesso a muitos e variados dados não é suficiente para remediar a situação. Por exemplo, se empresas e instituições financeiras sabem mais sobre os processos de crédito do que os próprios consumidores/tomadores, a assimetria de informação pode continuar a ser um problema em função do fenômeno que é conhecido como “monopólios de conhecimento” (Pernagallo, 2024).

Esses monopólios são criados quando grupos controlam a informação disponível e como ela é interpretada (Innis, 1946; Comor, 2018). No contexto da IA, eles podem ocorrer porque apenas um grupo limitado – desenvolvedores e donos dos sistemas – tem conhecimento sobre ferramentas avançadas de análise de dados, enquanto a maioria dos consumidores carece de compreensão suficiente de como seus dados são utilizados nos processos de tomada de decisão (Pernagallo, 2024) – problema levantado pelos trabalhos com aplicações no Brasil (Quadro 2) revisados na seção anterior (Aveni e Faria, 2024; Bavaresco e Webber, 2024; Velloso, 2025).

No caso de informações pessoais, por exemplo, a assimetria existe porque as empresas podem reunir muito mais informações sobre os consumidores do que eles pensam estar fornecendo. As empresas possuem, ainda, maior conhecimento técnico sobre o que fazer com os dados brutos que coletam e isso culmina em novas formas de assimetrias informacionais

(Pernagallo, 2024). Assim, enquanto tecnologias baseadas em IA reduzem alguns problemas informacionais, elas podem também solidificar o poder de empresas com mais informações.

Portanto, considerando tudo o que foi exposto, a IA é uma ferramenta útil para fortalecer a modernização do mercado de crédito, pois possibilita maior precisão nas análises de risco, automação de processos e, assim, contribui para a redução de problemas relativos à assimetria de informações. Contudo, deve ser adotada de forma criteriosa, com atenção à transparência do modelo, mitigação de viés, proteção à privacidade e ética. Assim, embora possa proporcionar soluções para muitos problemas enfrentados pelo setor, há espaço para regras adequadas para garantir que a IA seja utilizada adequadamente para auxiliar tanto credores quanto mutuários.

Por último, é interessante reforçar aspectos relativos à aplicação conjunta de *Blockchain* e IA. A integração entre as duas tecnologias surge como uma solução inovadora para mitigar as assimetrias de informações no mercado de crédito. Como já ressaltado, o crédito constitui um mecanismo importante nas economias para a alocação de recursos, mas é marcado por falhas, como seleção adversa e risco moral, decorrentes da disparidade informacional entre credores e tomadores (Stiglitz e Weiss, 1981). Tais problemas elevam os custos de transação e mensuração, tornando complexa a verificação de atributos relevantes (mensuração), como a capacidade de pagamento e histórico financeiro. A informação, tratada aqui como redução de incerteza, adquire valor ao possibilitar a tomada de decisões mais eficientes, embora a sua reprodução barata e verificação indireta gerem vulnerabilidades que impactam a eficiência econômica.

Como apontado anteriormente, o *Blockchain* proporciona uma estrutura descentralizada e imutável que diminui custos de verificação e *networking* (Catalini e Gans, 2019), promovendo transparência e eliminando a dependência de intermediários. Por sua vez, conforme também já foi apontado, a IA possui capacidade de processar grandes volumes de dados para identificar padrões, aprimorando avaliações de risco e automação de processos (Russell e Norvig, 2020; Goodfellow et al., 2016). Quando unidas, tais tecnologias se complementam de forma sinérgica. O *Blockchain* assegura a integridade e a origem dos dados – i.e., lida com assimetria em função da disponibilidade e custos de obtenção –, enquanto a IA garante o processamento deles para produzir inferências acionáveis, reduzindo incertezas e custos de mensuração. No âmbito do mercado de crédito, essa união mitiga a seleção adversa ao fornecer dados verificáveis em tempo real. Sistemas tradicionais tendem a depender de modelos estatísticos limitados por dados fragmentados e defasados, comprometendo a precisão de análises de risco (Farazi, 2024). Ademais, o *Blockchain* registra transações descentralizadamente com o seu *ledger* (livro-razão) imutável, minimizando riscos de manipulação e permitindo avaliações contínuas. A IA, com seus algoritmos, como redes neurais e *random forests*, analisa tais informações para prever

inadimplências com maior acurácia, incorporando variáveis não estruturadas – por exemplo, padrões comportamentais (Farazi, 2024). Assim, a integração aprimora a precificação do risco e democratiza o acesso ao crédito para segmentos excluídos do crédito ao explorar informações alternativas para a sinalização de credibilidade (Wang et al., 2018; Peters e Panayi, 2016).

Vale apontar, ainda, que a combinação das tecnologias pode lidar com o problema de risco moral pós-contrato por meio de monitoramento contínuo e automatizado. O *Blockchain* garante rastreabilidade de transações e a IA detecta anomalias em tempo real, como fraudes ou desvios comportamentais (Goodfellow et al., 2016; Odeyemi et al., 2024), reduzindo incertezas – na linha da definição de informação de Birchler e Bütler (1999) e fomentando maior inclusão financeira, como na iniciativa brasileira mencionada da Moeda *Seeds* (Kanegae et al., 2021).

Em conclusão, a integração de *Blockchain* e IA não se limita a uma inovação tecnológica, mas representa uma transformação institucional que minimiza falhas informacionais, aprimora a mensuração de atributos e eleva a eficiência econômica. A união das tecnologias, de acordo com Rabah (2018) e Odeyemi et al. (2024), impulsiona a “4ª Revolução Industrial”, reduzindo assimetrias e promovendo mercados mais eficientes. Contudo, deve-se novamente ressaltar que há desafios, como a “síndrome da caixa preta” na IA (Pernagallo, 2024) e a escalabilidade limitada do *Blockchain* (Swan, 2015), que podem perpetuar vieses algorítmicos ou monopólios de conhecimento (Pernagallo, 2024). No Brasil, barreiras, como custos de implementação e falta de conhecimento (Prux et al., 2021) demandam regulações para maximizar os benefícios.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A hipótese norteadora desta Monografia foi que inovações em tecnologias da informação (TIs) teriam impactos na Economia. Tomando como objetos de análise as recentes inovações tecnológicas do *Blockchain* e da Inteligência Artificial (IA), o objetivo geral foi debater que elas geram impactos na Economia devido à redução de assimetrias informacionais e, assim, amenização de incertezas, custos de transação e mensuração e comportamentos oportunistas. Para cumprir o objetivo proposto, a Monografia articulou três frentes complementares: i) um referencial teórico sobre o papel da informação na Economia; ii) uma revisão de trabalhos que apresentam aplicações concretas das tecnologias em setores brasileiros; e iii) um estudo do caso específico do mercado de crédito, escolhido em razão de ser amplamente permeado por problemas informacionais e por ser fundamental ao crescimento/desenvolvimento econômico. O referencial teórico do segundo capítulo estabeleceu os fundamentos necessários para compreender por que as tecnologias analisadas são economicamente relevantes. Partindo da definição de informação como redução de incerteza, foi possível enquadrar como um ativo econômico de natureza única: custosa de produzir, barata de reproduzir e de difícil verificação direta, o que torna as análises dos agentes dependentes de sinais indiretos e sujeitas a “erros”.

Nesse contexto, a assimetria de informação é uma das principais falhas de mercado da economia. Quando uma das partes de uma transação detém informações privadas não acessíveis à outra, há os problemas de seleção adversa, que prejudica a seleção prévia dos agentes e produtos (*ex-ante*), e risco moral, que distorce os incentivos durante uma transação (*ex-post*). Tais problemas elevam os custos de transação em geral e, especificamente, os de mensuração.

O segundo capítulo também caracterizou as duas tecnologias analisadas. O *Blockchain* foi apresentado como uma tecnologia de registro distribuído, descentralizado e imutável, que, nas suas diferentes gerações, vai além do uso financeiro inicial para se consolidar como uma Tecnologia de Uso Geral (GPT). A IA, por sua vez, foi definida como o campo da computação voltado a desenvolver sistemas que agem racionalmente, processando massivamente dados por meio de técnicas de aprendizado de máquina para identificar padrões, realizar previsões e automatizar decisões. Ao final do capítulo, foi discutida a complementaridade delas: a primeira provendo dados mais íntegros e auditáveis; a outra, a capacidade de processamento dos dados.

No início do terceiro capítulo, foi feita uma discussão crítica dessa complementaridade à luz da literatura teórica, especificamente enfatizando as duas tecnologias como mecanismos que podem reduzir assimetrias informacionais. Ainda nessa linha, a revisão aplicada no mesmo

capítulo apontou o emprego das tecnologias em setores estratégicos do Brasil, permitindo ver na prática como as expectativas teóricas e a realidade em âmbito nacional se interlaçam.

No que diz respeito ao *Blockchain*, os trabalhos analisados abrangeram quatro contextos: a certificação de energia renovável, a contabilidade governamental, os pagamentos por serviços ambientais e a inclusão financeira via criptomoedas. Em todos os referidos contextos, verificou-se uma convergência consistente: a tecnologia aprimorou a confiança, a rastreabilidade e a transparência das transações, reduzindo assimetrias informacionais, o oportunismo dos agentes e os custos de transação e de mensuração envolvidos. Independentemente do setor considerado, o *Blockchain* revelou-se como capaz de substituir ou complementar mecanismos centralizados de verificação, reduzindo intermediários e tornando os registros acessíveis e imutáveis.

Porém, os trabalhos também expuseram divergências importantes quanto ao estágio de maturidade e aos obstáculos de adoção. Enquanto a implementação da Moeda *Seeds* (estudo sobre inclusão financeira) demonstrou viabilidade prática em escala piloto, com mais de 200 projetos financiados e adaptações criativas ao contexto pandêmico, o setor público revelou uma profunda desconexão entre o potencial teórico da tecnologia e a sua implementação efetiva. Tais descobertas sinalizaram que os benefícios da tecnologia do *Blockchain* não se materializam automaticamente, dependendo de condições técnicas, regulatórias e institucionais favoráveis.

Para a IA, a revisão abrangeu três setores (agricultura digital, energia elétrica e finanças) e decisões de consumo e de regulação antitruste. Em todos os casos, a tecnologia demonstrou capacidade de melhorar a eficiência e a qualidade das decisões: na agricultura, otimizando o uso de insumos e aumentando a produtividade; no elétrico, aperfeiçoando os indicadores de continuidade do fornecimento de energia de forma mais objetiva e transparente; no financeiro, acelerando análises de risco, detectando fraudes e aprimorando a gestão de *portfólios*; na regulação antitruste, melhorando a atuação dos órgãos competentes; e nas decisões de consumo. No entanto, os trabalhos ressaltam a necessidade de IA Explicável, para reduzir o problema da “caixa preta” e de regulamentações. Ademais, ressaltam divergências quanto ao grau de difusão: enquanto o setor financeiro já incorporou a IA ao cotidiano, o agrícola convive com barreiras infraestruturais e de conectividade e o elétrico está em fase de propostas e validações do uso.

A partir das discussões à luz da literatura e da revisão de trabalhos aplicados, foi possível sinalizar que o *Blockchain* e IA são tecnologias com potencial comprovado para reduzir falhas informacionais e elevar a eficiência econômica, mas sua adoção é heterogênea e condicionada por fatores que vão além da viabilidade técnica. Ao final do terceiro capítulo, o potencial para lidar com problemas informacionais é reforçado com o estudo do caso específico do crédito.

Conforme foi discutido, a incapacidade dos credores de distinguir *ex-ante* tomadores de baixo e alto risco distorce o papel da taxa de juros como instrumento de equilíbrio, induz ao racionamento de crédito e exclui agentes potencialmente solventes, principalmente pequenas e médias empresas e indivíduos sem histórico financeiro formal. Nesse cenário, o *Blockchain* é uma tecnologia capaz de reduzir dois custos de transação/mensuração: aqueles de verificação, associados à autenticação de ativos, contratos e credenciais, e os de *networking*, relacionados à criação e à operação de redes econômicas sem intermediários (financeiros) centralizados.

Ao registrar o histórico financeiro de tomadores em livro-razão imutável e compartilhado, a tecnologia permite avaliações mais precisas da capacidade de pagamento, mitiga a seleção adversa e viabiliza o emprego de garantias digitais com custos operacionais significativamente menores. Ademais, ao permitir o registro de dados alternativos, como histórico de transações digitais e pagamentos de serviços públicos, o *Blockchain* amplia o grupo de potenciais agentes que podem ser avaliados como tomadores de crédito, contribuindo para a inclusão financeira.

A IA, por sua vez, foi examinada como um instrumento de aprimoramento da avaliação de risco e de automação dos processos de concessão de crédito. Algoritmos de *machine learning* permitem processar volumes massivos de dados estruturados e não estruturados, identificando padrões de inadimplência com precisão superior a modelos tradicionais. Ademais, ao incorporar fontes de dados alternativas, a IA viabiliza a geração de *scores* de crédito para tomadores sem histórico formal, ampliando o acesso ao financiamento a segmentos historicamente excluídos. A análise de sinalização e triagem também foi abordada, no sentido de a IA melhorar ambos os processos, possibilitando que os credores identifiquem bons pagadores com maior acurácia e que os tomadores sinalizem sua credibilidade por meio dos próprios perfis comportamentais.

Vale ressaltar, ainda, que a integração entre *Blockchain* e IA revelou-se possível e com grande potencial. O *Blockchain* assegurando a integridade, origem e auditabilidade dos dados que alimentam os modelos de IA, reduzindo, assim, riscos de adulteração e viés de entrada. A IA, por sua vez, extraindo inferências acionáveis desses dados com eficiência e velocidade superiores à capacidade humana. Juntas, as tecnologias atuam sobre as duas dimensões centrais das falhas informacionais no crédito: a seleção adversa *ex-ante*, via aprimoramento da triagem e da sinalização; e o risco moral *ex-post*, por meio do monitoramento contínuo e automatizado das transações. Os resultados são reduções dos custos de transação/mensuração, precificação de risco mais precisa e mercado de crédito potencialmente mais “justo”, acessível e eficiente.

Após a análise realizada, a hipótese norteadora desta Monografia parece ser corroborada: ou seja, é plausível afirmar que o *Blockchain* e a IA, com algumas ressalvas, efetivamente geram efeitos econômicos positivos, operando como instrumentos de redução de assimetrias

informacionais, custos de transação/mensuração e comportamentos oportunistas, e promovendo eficiência, transparência e inclusão nos mercados. Esta conclusão é sustentada pela literatura teórica, pelos estudos aplicados ao contexto brasileiro e pela análise do mercado de crédito.

Cabe, contudo, a qualificar. Os benefícios dessas tecnologias não são automáticos nem universais. A materialização depende de condições que ainda estão em construção em muitos contextos: maturidade tecnológica suficiente, marcos regulatórios adequados, capacitação técnica dos agentes envolvidos e disposição institucional para a mudança. Os desafios que foram identificados ao longo da análise, como a “síndrome da caixa preta” e o risco de vieses algorítmicos da IA e problemas de escalabilidade do *Blockchain* mostram que a adoção dessas tecnologias demanda tanto investimento técnico como governanças e regulações específicas.

Além disso, é preciso reconhecer que, em alguns casos, as próprias tecnologias podem introduzir novas formas de assimetria informacional. Por exemplo, os chamados “monopólios de conhecimento” – nos quais os desenvolvedores e proprietários de sistemas de IA concentram poder informacional sobre os demais agentes – são um risco que merecem atenção regulatória. Assim, embora o potencial seja inegável, a transformação via *Blockchain* e IA em mercados mais eficientes e inclusivos é uma possibilidade condicionada, não a consequência inevitável.

O momento atual é, então, de transformação sistêmica marcado pela consolidação do que foi apontado na Introdução como “paradigma tecno-econômico das TIs”, no qual inovações de todos os tipos são geradas e difundidas de forma crescentemente veloz por todas as atividades econômicas. Nesse contexto, o *Blockchain* e a IA são duas inovações importantes do período, com potencial de reconfigurar estruturas informacionais que sustentam as relações econômicas. Por último, vale ressaltar que a contribuição central da presente monografia foi articular, de forma sistemática, o potencial das referidas tecnologias com o arcabouço teórico relativo à “Economia da Informação”, mostrando que seus benefícios não são meramente técnicos, mas econômicos, já que reduzem assimetrias informacionais e custos de transação/mensuração, inibem o oportunismo dos agentes e ampliam o acesso deles a mercados antes inacessíveis. O mercado de crédito, analisado no trabalho, ajuda a revelar de forma clara como a combinação das tecnologias pode alterar as condições de estrutura de um mercado historicamente marcado por exclusão e ineficiência. Assim, quando implementados, o *Blockchain* e a IA têm o potencial de contribuir para tornar os mercados mais eficientes e relações econômicas menos incertas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKERLOF, G. A. The market for “lemons”: quality uncertainty and the market mechanism. *The Quarterly Journal of Economics*, Oxford, v. 84, n. 3, p. 488–500, 1970.
- ALVES, Moisés Oliveira. Inovação tecnológica e desenvolvimento econômico: uma análise a partir da teoria schumpeteriana. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 51, n. 4, p. 109–126, 2020.
- ALTMAN, Edward I. Financial ratios, discriminant analysis, and the prediction of corporate bankruptcy. *The Journal of Finance*, Hoboken, v. 23, n. 4, p. 589–609, 1968.
- AULETE, Caldas. *Novíssimo Aulete: dicionário contemporâneo da língua portuguesa*. Org. Paulo Geiger. Rio de Janeiro: Lexikon, 2011.
- AVENI, A.; FARIA, L. C. Desafios e perspectivas da inteligência artificial na análise da concorrência do poder público. *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, São Paulo, v. 7, n. 14, p. e141035, 2024. DOI: 10.55892/jrg.v7i14.1035.
- BAG, S. et al. Big data analytics as an operational excellence approach to enhance sustainable supply chain performance. *Resources, Conservation & Recycling*, v. 164, p. 105–111, 2021.
- BAROSSA-FILHO, Milton; SZTAJN, Rachel. Natureza jurídica da moeda e desafios da moeda virtual. *Justitia*, São Paulo, v. 70–72, n. 204–206, p. 251–268, 2013–2015.
- BARZEL, Yoram. Measurement cost and the organization of markets. *Journal of Law and Economics*, Chicago, v. 25, n. 1, p. 27–48, 1982.
- BAVARESCO, M. Z.; WEBBER, C. G. Inteligência artificial explicável (XAI) como instrumento para mitigação da assimetria de informação nas relações de consumo. *Redin – Revista de Educação e Inovação*, Taquara, v. 13, n. 2, p. 59–77, 2024.
- BECK, Thorsten; DEMIRGÜÇ-KUNT, Asli; MAKSIMOVIC, Vojislav. Financial and legal constraints to growth: does firm size matter? *The Journal of Finance*, Hoboken, v. 60, n. 1, p. 137–177, 2005.
- BIRCHLER, Urs; BÜTLER, Monika. *Information economics*. London: Routledge, 1999.
- BREIMAN, Leo. Random forests. *Machine Learning*, Dordrecht, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001.
- CATALINI, Christian; GANS, Joshua S. Some simple economics of the blockchain. MIT Sloan Research Paper, n. 5191-16, 2019. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=2874598>. Acesso em: 15 fev. 2025.
- CHAKRAVARTY, Sugato; ZIEGELMEYER, Michael. *Asymmetric information and the market structure of the banking industry*. Washington, D.C.: International Monetary Fund, 1998. (IMF Working Paper, WP/98/92).
- CHOWDHURY, R. H. Blockchain and AI: driving the future of data security and business intelligence. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, v. 23, n. 1, p. 2559–2570, 2024. DOI: 10.30574/wjarr.2024.23.1.2273.
- CHRISTIDIS, Konstantinos; DEVETSIKIOTIS, Michael. Blockchains and smart contracts for the internet of things. *IEEE Access*, v. 4, p. 2292–2303, 2016.
- COCKBURN, Iain M.; HENDERSON, Rebecca; STERN, Scott. The impact of artificial intelligence on innovation. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research, 2018. (NBER Working Paper, n. 24449).

COMMITTEE ON THE GLOBAL FINANCIAL SYSTEM; FINANCIAL STABILITY BOARD. *Artificial intelligence and machine learning in financial services: market developments and financial stability implications*. Basel: Bank for International Settlements, 2017.

COMOR, Edward. Ubiquitous media and monopolies of knowledge: the approach of Harold Innis. In: DAUBS, M.; MANZEROLLE, V. (ed.). *From here to ubiquity*. New York: Peter Lang, 2018. p. 183–200.

COSTA, R. F. et al. Artificial intelligence-assisted methodology for dataset reduction applied to the establishment of power interruption limits in Brazil. *Energies*, v. 16, n. 19, p. 7012, 2023.

DELL'ARICCIA, Giovanni. Asymmetric information and the market structure of the banking industry. Washington, D.C.: International Monetary Fund, 1998. (IMF Working Paper, WP/98/92).

DELOITTE. *State of AI in the enterprise*. 2. ed. 2019.

EMBRAPA; SEBRAE; INPE. *Agricultura digital no Brasil: tendências, desafios e oportunidades*. Brasília: Embrapa, 2020.

FARAZI, M. Z. R. Evaluating the impact of AI and blockchain on credit risk mitigation. *International Journal of Science and Research Archive*, v. 13, n. 1, p. 575–582, 2024. DOI: 10.30574/ijrsra.2024.13.1.1707.

FERRAZ, João Carlos; KUPFER, David; HAGUENAUER, Lia. *Made in Brazil: desafios competitivos para a indústria*. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

FREEMAN, Christopher; SOETE, Luc. *Work for all or mass unemployment?*. London: Pinter, 1994.

GALEANO, Edileuza Vital; FEIJÓ, Carmem Aparecida. Crédito e crescimento econômico: evidências a partir de um painel de dados regionais para a economia brasileira nos anos 2000. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 201–220, 2012.

GIZA, Wojciech. Asymmetric information as a market failure in retrospect. In: RABAN, D. R.; WŁODARCZYK, J. (ed.). *The Elgar companion to information economics*. Cheltenham: Edward Elgar, 2024. p. 106–117.

GOODFELLOW, Ian; BENGIO, Yoshua; COURVILLE, Aaron. *Deep learning*. Cambridge: MIT Press, 2016.

HILLIER, Brian. *The economics of asymmetric information*. London: Macmillan Education UK, 1997.

HULL, John C. *Risk management and financial institutions*. 4. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2015. (Wiley Finance).

INNIS, Harold A. *Political economy in the modern state*. Toronto: The Ryerson Press, 1946.

JAFFEE, Dwight M.; RUSSELL, Thomas. Imperfect information, uncertainty, and credit rationing. *The Quarterly Journal of Economics*, Oxford, v. 90, n. 4, p. 651–666, 1976.

KANEGAE, Letícia Cristina; CERNEV, Adrian Kemmer; DINIZ, Eduardo. Moeda Seeds: e-commerce and crypto solutions for development. *Revista de Administração Contemporânea*, Rio de Janeiro, v. 25, n. spe, e200224, p. 1–23, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2021200224.en>

LASTRES, Helena Maria Martins; ALBAGLI, Sarita (org.). *Informação e globalização na era do conhecimento*. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

LASTRES, Helena Maria Martins; FERRAZ, João Carlos. Economia da informação, do conhecimento e do aprendizado. In: LASTRES, Helena Maria Martins; ALBAGLI, Sarita (org.). *Informação e globalização na era do conhecimento*. Rio de Janeiro: Campus, 1999. p. 27–57.

LECUN, Yann; BENGIO, Yoshua; HINTON, Geoffrey. Deep learning. *Nature*, London, v. 521, n. 7553, p. 436–444, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature14539>.

MARCHIORI, N. C. Assimetria de informação no mercado de crédito brasileiro: avaliação empírica para modalidades de crédito livre (2007-2020). 2021. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2021.

MARCONDES, Carlos Henrique. Representação e economia da informação. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 30, n. 1, p. 61–70, jan./abr. 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-19652001000100008>.

MARQUES, Naielly Lopes; GOMES, Leonardo Lima; BRANDÃO, Luiz Eduardo. Um modelo baseado em blockchain para ofertas de certificados token de energia renovável. *Revista Contabilidade & Finanças*, São Paulo, v. 34, n. 91, e1582, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/1808-057x20221582>.

MARWALA, Tshilidzi. Causality, correlation, and artificial intelligence for rational decision making. Singapore: World Scientific, 2015.

MERTON, Robert C. On the pricing of corporate debt: the risk structure of interest rates. *The Journal of Finance*, Hoboken, v. 29, n. 2, p. 449–470, 1974.

MARWALA, Tshilidzi; HURWITZ, Evan. *Artificial intelligence and asymmetric information theory*. Johannesburg: University of Johannesburg, 2017.

MITTELSTADT, Brent T. et al. The ethics of algorithms: mapping the debate. *Big Data & Society*, v. 3, n. 2, 2016.

MOUGAYAR, William. *The business blockchain: promise, practice, and application of the next internet technology*. Hoboken: Wiley, 2016.

MULLAINATHAN, Sendhil; SPIESS, Jann. Machine learning: an applied econometric approach. *Journal of Economic Perspectives*, Nashville, v. 31, n. 2, p. 87–106, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1257/jep.31.2.87>.

NAKAMOTO, Satoshi. *Bitcoin: a peer-to-peer electronic cash system*. 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2025.

NOFER, Michael; GOMBER, Peter; HINZ, Oliver; SCHIERECK, Dirk. Blockchain: a disruptive technology. *Business & Information Systems Engineering*, Wiesbaden, v. 59, n. 3, p. 183–187, 2017.

ODEYEMI, O. et al. Integrating AI with blockchain for enhanced financial services security. *Finance & Accounting Research Journal*, v. 6, n. 3, p. 271–287, 2024. DOI: [10.51594/farj.v6i3.855](https://doi.org/10.51594/farj.v6i3.855).

PAIVA, Matheus Silva de et al. Inovação e os efeitos sobre a dinâmica de mercado: uma síntese teórica de Smith e Schumpeter. *Interações*, Campo Grande, v. 19, n. 1, p. 155–170, 2018. DOI: <https://dx.doi.org/10.20435/inter.v19i1.1561>.

PASSOS, C. A. K. Novos modelos de gestão e as informações. In: LASTRES, Helena Maria Martins; ALBAGLI, Sarita (org.). *Informação e globalização na era do conhecimento*. Rio de Janeiro: Campus, 1999. p. 57–74.

PERES, Ursula Dias. Custos de transação e estrutura de governança no setor público. *Revista Brasileira de Gestão de Negócios*, São Paulo, v. 9, n. 24, p. 15–30, 2007.

PERNAGALLO, Giuseppe. Overcoming asymmetric information: a data-driven approach. In: RABAN, D. R.; WŁODARCZYK, J. (ed.). *The Elgar companion to information economics*. Cheltenham: Edward Elgar, 2024. p. 135–153.

PERNAGALLO, Giuseppe; TORRISI, Benedetto. A theory of information overload applied to perfectly efficient financial markets. *Review of Behavioral Finance*, Bingley, v. 14, n. 2, p. 223–236, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1108/RBF-07-2020-0164>.

PETERS, Gareth W.; PANAYI, Efsthios. Understanding modern banking ledgers through blockchain technologies: future of transaction processing and smart contracts on the internet of money. London: University College London, Department of Statistical Science, 2016. (UCL Research Paper, n. 1/2016).

PINTO, A. C.; LIMA, A. V. O problema de assimetria de informação no mercado de crédito. *Boletim Economia Empírica*, v. 1, n. 1, p. 54–56, 2020.

POTEKHINA, Anastasiia; RIUMKIN, Ivan. *Blockchain – a new accounting paradigm: implications for credit risk management*. Umeå: Umeå School of Business and Economics, 2017.

PRUX, P. R. et al. Opportunities and challenges of using blockchain technology in government accounting in Brazil. *BAR – Brazilian Administration Review*, v. 16, n. 3, e190022, 2021.

RABAH, Kamel. Convergence of AI, IoT, big data and blockchain: a review. *The Lake Institute Journal*, v. 1, n. 1, p. 1–18, 2018.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. *Artificial intelligence: a modern approach*. 4. ed. Hoboken: Pearson, 2020.

SHALEV-SHWARTZ, Shai; BEN-DAVID, Shai. *Understanding machine learning: from theory to algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

SILVEIRA, V. C. et al. A economia dos custos de mensuração: uma revisão sistematizada da literatura. In: *Open Science Research VII*. São Paulo: Editora Científica Digital, 2022. p. 765–775.

SOLOW, Robert M. Technical change and the aggregate production function. *The Review of Economics and Statistics*, Cambridge, MA, v. 39, n. 3, p. 312–320, 1957.

SOBRINHO, R. P. et al. Tecnologia blockchain: inovação em pagamentos por serviços ambientais. *Estudos Avançados*, São Paulo, v. 32, n. 93, p. 145–162, 2019.

SPENCE, Michael. Job market signaling. *The Quarterly Journal of Economics*, Oxford, v. 87, n. 3, p. 355–374, 1973.

STIGLITZ, Joseph E. Incentives and risk sharing in sharecropping. *The Review of Economic Studies*, Oxford, v. 41, n. 2, p. 219–255, 1974.

STIGLITZ, Joseph E.; WEISS, Andrew. Credit rationing in markets with imperfect information. *The American Economic Review*, Nashville, v. 71, n. 3, p. 393–410, 1981.

SWAN, Melanie. *Blockchain: blueprint for a new economy*. Sebastopol: O'Reilly Media, 2015.

VARIAN, Hal R. Microeconomia: uma abordagem moderna. Tradução de Regina Célia Simille de Macedo. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

VELLOSO, Larissa Cimorelli. A vulnerabilidade do consumidor nas relações de consumo mediadas por inteligência artificial. *Revista Foco*, v. 18, n. 6, e8723, p. 1–21, 2025. DOI: [10.54751/revistafoco.v18n6-116](https://doi.org/10.54751/revistafoco.v18n6-116).

WAERDT, Emily. The impact of AI and big data on consumer privacy. *Journal of Digital Ethics*, v. 5, n. 2, p. 78–94, 2020.

- WANG, Rong; LIN, Zhibin; LUO, Hongning. Blockchain, bank credit and SME financing. *Financial Innovation*, v. 4, n. 10, p. 1–20, 2018.
- WANG, Rong; LIN, Zhibin; LUO, Hongning. Blockchain, bank credit and SME financing. *Quality & Quantity*, v. 53, n. 3, p. 1127–1140, 2019.
- WILLIAMSON, Oliver E. *The economic institutions of capitalism: firms, markets, relational contracting*. New York: Free Press, 1985.
- YAMAGUCHI, J. A. R. et al. Blockchain technology in renewable energy certificates in Brazil. *BAR – Brazilian Administration Review*, v. 18, n. 4, e210070, 2021.
- YOSHINAGA, C. E.; CASTRO, F. H. Inteligência artificial: a vanguarda das finanças. *GV Executivo*, v. 22, n. 2, p. 24–27, 2023.
- ZHENG, Zibin et al. Blockchain challenges and opportunities: a survey. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON BIG DATA (BIGDATA), 2016, Washington, DC. Proceedings [...]. Washington, DC: IEEE, 2016. p. 404–413.