

Kleyton Vieira Sales da Costa

**A MOEDA DIGITAL EMITIDA PELO BANCO  
CENTRAL: UMA INVESTIGAÇÃO DAS SUAS  
PROPRIEDADES E EFEITOS  
MACROECONÔMICOS**

Seropédica - RJ

2021



Kleyton Vieira Sales da Costa

**A MOEDA DIGITAL EMITIDA PELO BANCO CENTRAL:  
UMA INVESTIGAÇÃO DAS SUAS PROPRIEDADES E  
EFEITOS MACROECONÔMICOS**

Monografia apresentada no curso de graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, curso de Ciências Econômicas como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Instituto de Ciências Sociais Aplicadas

Departamento de Economia

Orientador: Prof. Dr. Antonio José Alves Junior

Coorientador: Prof. Dr. Felipe Leite Coelho da Silva

Seropédica - RJ

2021

Kleyton Vieira Sales da Costa

A MOEDA DIGITAL EMITIDA PELO BANCO CENTRAL: UMA INVESTIGAÇÃO DAS SUAS PROPRIEDADES E EFEITOS MACROECONÔMICOS/ Kleyton Vieira Sales da Costa. – Seropédica - RJ, 2021-

83p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Antonio José Alves Junior

Coorientador: Prof. Dr. Felipe Leite Coelho da Silva

Monografia (Bacharelado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Instituto de Ciências Sociais Aplicadas  
Departamento de Economia, 2021.

1. CBDC. 2. Política Monetária. 3. Aprendizado Profundo. I. Antonio Jose Alves Júnior. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. III. Departamento de Ciências Econômicas. IV. A Moeda Digital Emitida pelo Banco Central: uma Investigação de suas Influências na Política Monetária e nos Bancos Comerciais

Kleyton Vieira Sales da Costa

# **A MOEDA DIGITAL EMITIDA PELO BANCO CENTRAL: UMA INVESTIGAÇÃO DAS SUAS PROPRIEDADES E EFEITOS MACROECONÔMICOS**

Monografia apresentada no curso de graduação da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, curso de Ciências Econômicas como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Data da defesa:  
Resultado:

---

**Prof. Dr. Antonio José Alves Junior**  
Orientador

---

**Prof. Dr. Felipe Leite Coelho da Silva**  
Coorientador

---

**Prof. Dr. Andre de Melo Modenesi**  
Convidado 1

---

**Prof. Dra. Débora Mesquita Pimentel**  
Convidado 2

Seropédica - RJ  
2021



*Este trabalho é dedicado aos mortos,  
aos vivos e aos que ainda estão por nascer.*





# Agradecimentos

O período de graduação é intenso em diversos aspectos, mas com o suporte de amigos, professores e familiares os nossos objetivos se tornam mais fáceis de serem alcançados. Como não poderia ser diferente, inicio os meus agradecimentos reconhecendo todo o apoio que tive da minha família para que pudesse chegar até a conclusão de mais esta etapa. Agradeço em especial à minha mãe Maria da Glória, minha avó Rita, minha irmã Maria Eduarda e ao meu irmão Alexandre.

Em seguida, gostaria de agradecer aos professores, verdadeiros mestres (ou melhor, Doutores) que estão sempre observando o nosso crescimento e trabalhando para que a formação dos alunos seja a melhor possível. Destaco a influência dos professores Antonio José Alves Junior e Felipe Leite Coelho da Silva. Os seus ensinamentos e ações fizeram com que eu entendesse que o papel de um professor vai muito além daquilo que ele transmite em sala de aula, transbordando motivação e acreditando no potencial de cada aluno.

Eu não poderia deixar de registrar um agradecimento especial ao meu grande amigo Fellipe Tavares, por todo o incentivo na jornada pelo mundo da estatística e da programação. As suas dicas e conselhos foram determinantes para o meu desenvolvimento.

Listo agora uma série de pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente, para a minha caminhada nos últimos cinco anos, já adiantando um pedido de desculpas para eventuais falhas de memória: aos amigos Adriano Koshiyama, Alexandre Cabús, André Modenesi, Camila Silva, Emre Kazim, Gabriel Costa, Gustavo Martinele, Isabela Modenesi, João Felipe Ribeiro, Jessica Marques, José Albuquerque, Kethelen Cruz, Kethelen Nascimento, Layz Feitoza, Maria Luiza Dias, Márcia Núbia, Matheus Brito, Rachel Domingues e Pedro Nascimento; aos professores Pablo Bielschowsky, Daniel Ribeiro, Cícero Pimenteira, Josiane Cordeiro e Débora Pimentel; e, finalmente, a alguns dos autores que me inspiraram: John Maynard Keynes, Knut Wicksell, John H. Cochrane, Michael Woodford, George Box, Gwilym Jenkins, Pedro Morettin, Paulo Nogueira Batista Junior, Anton Tchekhov, J.W. Goethe, Karl Polanyi, Roland Barthes, Ian Goodfellow, André Lara Resende, Milton Friedman, Fernando Cardim de Carvalho, Maurice Obstfeld, John Taylor, Robert Litterman, entre outros.

Que este momentâneo passo final possa ser o primeiro de uma jornada longa e plena, sempre em defesa das instituições públicas de ensino superior, lutando pelo direito de que todos os jovens deste país tenham a mesma oportunidade de educação que me foi confiada e que possam contribuir para o avanço científico e econômico do Brasil. Devemos permanecer atentos à construção de uma sociedade menos desigual e garantidora da dignidade merecida para este povo que enfrenta todas as adversidades com alegria e esperança em dias melhores!

Seropédica, 11 de dezembro de 2021

Kleyton da Costa



*Escrito está: "Era no início o Verbo"  
Começo apenas, e já me exarcebo  
Como hei de ao verbo dar tão alto apreço?  
De outra interpretação careço;  
Se o espírito me deixa esclarecido,  
Escrito está: No início era o Sentido!  
Pesa a linha inicial com calma plena,  
Não se apressure a tua pena!  
É o sentido então, que tudo opera e cria?  
Deverá opor! No início era a Energia!  
Mas, já, enquanto assim retifico,  
Diz-me algo que tampouco nisso fico.  
Do espírito me vale a direção,  
E escrevo em paz: Era no início a Ação!  
(Fausto: uma tragédia - Primeira Parte, J.W. Goethe)*



# Resumo

A moeda pública é a garantia para que o banco central tenha controle em relação à moeda e atue, dessa maneira, no sentido de evitar a paralisação do sistema econômico ou uma crise. Sendo o banco central responsável pela estabilidade dos preços e pela manutenção do nível de produto da economia, a inserção de elementos desestabilizadores - como *moedas digitais privadas* - precisa ser investigada de forma cuidadosa e os seus impactos mensurados. Para contrapor as iniciativas privadas, os bancos centrais iniciaram discussões sobre a possibilidade da emissão de uma moeda digital pública, ou seja, uma moeda digital que seja operacionalizada e garantida por uma autoridade monetária estatal. Esse debate vem ganhando cada vez mais espaço nos últimos anos e, buscando contribuir para a literatura, este trabalho se propõe a definir as propriedades fundamentais de uma moeda digital emitida pelo banco central (CBDC) e analisar os seus efeitos para a condução da política monetária e sobre variáveis macroeconômicas brasileiras. As possíveis propriedades para uma CBDC foram definidas e comparadas com as atuais formas de negociação monetária, além de uma sucinta apresentação a respeito das tendências, viabilidade, desafios e discussões que circundam a temática. Um elemento desafiador e que precisa ser investigado com mais profundidade está relacionado com a condução da política monetária a partir da emissão de uma CBDC. O trabalho apresenta e descreve um conjunto de contribuições acadêmicas que abordam estratégias de política monetária no caso de uma CBDC, além de discutir brevemente sobre a atual forma de condução da política monetária utilizada pelos bancos centrais de economias desenvolvidas e subdesenvolvidas. Por fim, analisou-se o grau de monetização da economia brasileira através da estimação de variáveis macroeconômicas explicativas para em seguida se investigar a capacidade de previsão dos modelos de aprendizado profundo (*Multilayer Perceptron*, *Long Short-Term Memory* e *Gated Recurrent Unit*) aplicados à variável dependente. Os resultados indicam que a inflação, a taxa de câmbio e a taxa Selic são importantes para se explicar o fenômeno da monetização. E o modelo MLP com vinte nós na camada oculta foi aquele com o melhor desempenho preditivo quando comparado com as outras arquiteturas analisadas.

**Palavras-chave:** CBDC. Política Monetária. Redes Neurais Artificiais.



# Abstract

The public currency is the guarantee for the central bank to have control over the currency and act, in this way, to avoid the stagnation of the economic system - or a crisis. As the central bank is responsible for price stability and for maintaining the economy's output level, the insertion of destabilizing elements - such as *private digital currencies* - needs to be carefully investigated and their impacts measured. To counteract the private initiatives, central banks started discussions on the possibility of issuing a public digital currency, that is, a digital currency that is operationalized and guaranteed by a state monetary authority. This debate has been gaining more space in recent years and, seeking to contribute to the literature, this paper aims to define the fundamental properties of a digital currency issued by the central bank (CBDC) and analyze its effects on the conduct of monetary policy and Brazilian macroeconomic variables. Possible properties for a CBDC were defined and compared with current forms of monetary negotiation, as well as a brief presentation about trends, feasibility, challenges, and discussions surrounding the topic. A challenging element that needs investigation is related to the conduct of monetary policy based on the issuance of a CBDC. The work presents and describes a set of academic contributions that address monetary policy strategies in the case of a CBDC, in addition to briefly discussing the current way of conducting monetary policy used by central banks in developed and underdeveloped economies. Finally, the degree of monetization of the Brazilian economy was analyzed through the estimation of explanatory macroeconomic variables to then investigate the predictive capacity of deep learning models (*Multilayer Perceptron*, *Long Short-Term Memory* and *Gated Recurrent Unit*) applied to the dependent variable. The results indicate that inflation, exchange rate, and Selic rate are important to explain the monetization phenomenon. And the MLP model with twenty nodes in the hidden layer was the one with the best predictive performance when compared to the other architectures analyzed.

**Keywords:** CBDC. Monetary Policy. Artificial Neural Networks.





# Lista de ilustrações

Figura 1 – Exemplo de um sistema monetário com uma CBDC de uso geral e bancos comerciais. Elaborado pelo autor com base em (AUER; BOEHME, 2021). . . . .	28
Figura 2 – Diagrama de Venn com as principais propriedades da moeda. Emissor (Banco central ou não), forma (digital ou físico), acessibilidade (ampla ou restrita) e a tecnologia (baseada em conta ou símbolo). Elaborado pelo autor com base em CPMI-MC (2018) e Bech e Garratt (2017). . . . .	29
Figura 3 – Volume das transações financeiras pelo Pix liquidadas mensalmente no Sistema de Pagamentos Instantâneos (SPI) e fora do SPI (transações liquidadas nos livros do participante), considerando as ordens de pagamentos e devoluções no período. Elaborado pelo autor. Fonte: Banco Central do Brasil (2021b). . . . .	32
Figura 4 – Porcentagem na população da Suécia, por faixa etária, com posição negativa em relação ao uso decrescente de dinheiro na sociedade, em 2020. Elaborado pelo autor. Fonte: Riksbank (2021). . . . .	33
Figura 5 – Distribuição percentual das transações Pix liquidadas mensalmente por faixa etária do usuário pagador (quantidade de transações), considerando as ordens de pagamentos e devoluções no período. Elaborado pelo autor. Fonte: Banco Central do Brasil (2021b) . . . . .	33
Figura 6 – Grau de monetização da economia brasileira entre dezembro de 2021 e janeiro de 2021. Elaborado pelo autor. Fonte: BCB . . . . .	34
Figura 7 – (a) Preço do Bitcoin em valores diários entre 2015 e 2021, em milhares de dólares americanos. (b) Volume de transações diárias do Bitcoin entre 2015 e 2021. Elaborado pelo autor. Fonte: McTaggart, Daroczi e Leung (2020). . . . .	35
Figura 8 – Engajamento e Fase de desenvolvimento dos bancos centrais para a emissão de uma moeda digital. Elaborado pelo autor com base em Barontini e Holden (2019) e Boar, Holden e Wadsworth (2020). . . . .	38
Figura 9 – Motivações dos bancos centrais para a emissão de uma moeda digital. Média das respostas para 1-não importante, 2-importante de alguma maneira, 3-importante, 4-muito importante. Elaborado pelo autor com base em Barontini e Holden (2019) e Boar, Holden e Wadsworth (2020). . . . .	38
Figura 10 – Trilema da política monetária. Elaborado pelo autor com base em (OBST-FELD; TAYLOR, 2003). . . . .	46
Figura 11 – Trilema macroeconômico interno. Elaborado pelo autor com base em (BJERG, 2017). . . . .	48
Figura 12 – Gráfico das variáveis selecionadas. . . . .	57

Figura 13 – Grau de monetização da economia brasileira entre dezembro de 2021 e janeiro de 2021. Elaborado pelo autor. . . . .	58
Figura 14 – Representação de um rede neural profunda com $(L + 1)$ -camadas, $n$ nós na camada de entrada e $k$ nós na camada de saída. A $l^{\text{th}}$ camada oculta possui $m^{(l)}$ nós. Elaborado pelo autor. . . . .	60
Figura 15 – Bloco de memória para um modelo LSTM com uma célula. Elaborado pelo autor. . . . .	61
Figura 16 – Fluxograma da estratégia empírica. Elaborado pelo autor. . . . .	62
Figura 17 – Erro do treino para o modelo MLP com 5, 10 e 20 nós na camada oculta. . .	66
Figura 18 – Erro do treino para o modelo LSTM com 5, 10 e 20 nós na camada oculta. .	66
Figura 19 – Erro do treino para o modelo GRU com 5, 10 e 20 nós na camada oculta. . .	67

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparação entre as propriedades existentes e potenciais da moeda do banco central. Elaborado pelo autor com base em CPMI-MC (2018). . . . .	31
Tabela 2 – Síntese do engajamento dos bancos centrais para a emissão de uma moeda digital. Elaborado pelo autor com base em Barontini e Holden (2019) e Boar, Holden e Wadsworth (2020). *média das respostas para 1-não importante, 2-importante de alguma maneira, 3-importante, 4-muito importante . . . . .	37
Tabela 3 – Comportamento esperado no comportamento do grau de monetização a partir do comportamento de variáveis macroeconômicas. . . . .	55
Tabela 4 – Resumo estatístico para as variáveis em análise. . . . .	57
Tabela 5 – Resultados para a regressão linear múltipla estimada através de MQO. . . . .	63
Tabela 6 – Coeficientes estimados para a regressão linear múltipla. . . . .	64
Tabela 7 – Estatísticas e testes para a regressão linear múltipla. . . . .	64
Tabela 8 – Resultado das simulações para previsão do grau de monetização da economia brasileira. . . . .	65



# Lista de abreviaturas e siglas

CBDC	<i>Central Bank Digital Currencies</i>
BIS	<i>Bank of International Settlements</i>
IMF	<i>International Monetary Fund</i>
SWIFT	<i>Society for Worldwide Interbank Financial Telecommunication</i>
BCB	Banco Central do Brasil
USD	Dólar dos Estados Unidos
EUR	Euro
BRL	Real brasileiro
SEK	Coroa sueca
MLP	<i>Multilayer Perceptron</i>
LSTM	<i>Long Short-Term Memory</i>
GRU	<i>Gated Recurrent Unit</i>
MQO	Mínimos Quadrados Ordinários
SELIC	Sistema Especial de Liquidação e Custódia
PIB	Produto Interno Bruto
RLM	Regressão Linear Múltipla



# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>23</b>
<b>2</b>	<b>A NATUREZA DA MOEDA DIGITAL EMITIDA PELO BANCO CENTRAL</b>	<b>27</b>
2.1	Introdução	27
2.2	Tendências	31
2.3	Viabilidade e Desafios	35
2.4	Discussão e Implementação	36
2.4.1	China	39
2.4.2	Brasil	39
2.4.3	Suécia	40
2.5	Resumo	40
<b>3</b>	<b>A MOEDA DIGITAL EMITIDA PELO BANCO CENTRAL NA CONDUÇÃO DA POLÍTICA MONETÁRIA</b>	<b>43</b>
3.1	Introdução	43
3.2	Trilema Macroeconômico Interno	45
3.3	Estratégias de Política Monetária	48
3.4	Resumo	51
<b>4</b>	<b>ANÁLISE E PREVISÃO DO GRAU DE MONETIZAÇÃO DA ECONOMIA BRASILEIRA</b>	<b>53</b>
4.1	Introdução	53
4.2	Agregados Monetários	54
4.3	Metodologia	56
4.3.1	Descrição dos Dados	56
4.3.2	Modelo	58
4.3.3	Redes Neurais Artificiais	59
4.3.4	Estratégia Empírica	62
4.4	Resultados e Discussão	62
4.4.1	Estimação do Grau de Monetização da Economia Brasileira	63
4.4.2	Desempenho Preditivo	64
4.5	Resumo	67
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>69</b>

<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>73</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>79</b>
<b>APÊNDICE A – ESTIMAÇÃO DO MODELO</b> . . . . .	<b>81</b>
<b>APÊNDICE B – CÓDIGOS</b> . . . . .	<b>83</b>



# 1 Introdução

A digitalização dos meios de pagamento é um fenômeno que cresce de maneira acelerada, seguindo os passos observados em outras áreas da vida cotidiana (BECH; GARRATT, 2017). Dessa maneira, o avanço tecnológico e a expansão da competitividade dentro do mercado de serviços bancários traz desafios para as formas tradicionais de negociação. Como descrito em Green (2007), todas as negociações necessariamente utilizam uma das duas instituições que existem simultaneamente na economia: (i) os símbolos de transferência representados através de moedas, papel-moeda e cartões físicos e; (ii) o arcabouço institucional para negociação sendo a gravação de um par de compensações dos lançamentos contábeis nas contas dos operadores da transação para o registro contábil, apoiado por outro par de entradas de compensação na conta de um intermediário de nível superior, como um banco correspondente ou banco central, caso os operadores tenham contas em dois intermediários diferentes.

A forma sob a qual as moedas foram entendidas e operacionalizadas ao longo da história tem como plano de fundo o ganho em eficiência e a diminuição dos custos transacionais - implicando em um aumento da produtividade dos agentes econômicos -, além da premência de adequação às demandas criadas pela sociedade. Essa motivação pode ser compreendida através da análise dos fatores que fundamentaram as principais mudanças ocorridas durante a utilização da moeda, como a passagem de um sistema de trocas baseado em uma coincidência mútua de interesses para um sistema ancorado em moedas metálicas; passando por uma organização monetária fiduciária e creditícia até as atuais discussões sobre sistemas de pagamentos instantâneos e que avançam para uma moeda completamente digital, emitida por um banco central com diferentes possibilidades de arquitetura (BECH; GARRATT, 2017; AGUR; ARI; DELL'ARICCIA, 2019) ou ancoradas em sistemas privados que tenha como base a autenticação ponto a ponto<sup>1</sup> (NAKAMOTO, 2008; IWAMURA et al., 2019).

A teoria monetária convencional aborda o mecanismo de evolução da moeda através de uma estrutura narrativa sequencial em que a nova tecnologia, considerada disruptiva, coloca-se sobreposta a tecnologia anterior, que se compreende obsoleta. Encontra-se uma marcha semelhante no que Schumpeter apresenta em seu conceito de *destruição criativa*, sendo este um processo composto por revoluções ocorridas ao longo da história dos aparatos produtivos e que, assim, "revoluciona a estrutura econômica *de dentro para fora*, destruindo incessantemente a antiga, criando incessantemente a nova (SCHUMPETER, 2017)". Entretanto, o comportamento observado em uma economia de mercado é distinto do que defendiam os economistas clássicos, para os quais o mundo era composto por indivíduos racionais que observam os preços relativos,

---

<sup>1</sup> Na literatura de engenharia de software, uma rede de computadores que segue uma arquitetura ponto a ponto (P2P) é caracterizada como uma rede descentralizada onde cada ponto da rede pode ser um cliente ou um servidor, dependendo do contexto (KWOK, 2011).

e não apenas os preços nominais, sendo percebido qualquer aumento na quantidade de moeda. Nesse mundo *clássico*, a moeda possui um papel secundário. Assim, temos que a motivação de Keynes para romper com a ortodoxia econômica se deu pela insatisfação no que diz respeito ao tratamento clássico (neoclássico) para a moeda, como exposto em [Carvalho \(2020, p.57\)](#). Para a ortodoxia, a moeda é observada como um instrumento que facilita as trocas, mas sem interferir de forma direta nos valores de equilíbrio para o longo prazo, construindo-se dessa maneira a hipótese de *neutralidade da moeda*. O filósofo inglês David Hume, um dos precursores da economia política, introduz seu ensaio *Of Money* da seguinte maneira:

A moeda não é, propriamente falando, um dos objetos de comércio; mas apenas um instrumento combinado entre os homens para facilitar a troca de uma mercadoria por outra. Ela não é uma das engrenagens do comércio: é o óleo que suaviza e facilita o movimento das engrenagens. ([HUME, 2003, p.144](#))

Essa interpretação da moeda era apropriada para descrever a sua função no sistema de economia de mercado que surgia de forma pujante no período da aurora do capitalismo, ou seja, no período em que Hume escrevia. Mas de acordo com a evolução e o crescimento do mercado essa interpretação perdeu espaço a medida em que a finalidade da moeda se mostrava como muito mais profunda do que apenas um instrumento para facilitar as trocas.

A partir do início do século XIX se reconheceu que as crises financeiras e as falências de instituições bancárias/financeiras são acontecimentos prejudiciais para os setores econômicos, possuindo um efeito propagador danoso que não atinge apenas os agentes diretamente relacionados com as causas da crise ([MOENJAK, 2014](#)). Assim, os bancos centrais passaram a se posicionar como elementos primários para a manutenção da estabilidade econômica e monetária de um determinado país. E entre as inúmeras questões que englobam o seu campo de atuação (controle do nível geral de preços da economia, regulação das instituições financeiras, gerenciador de expectativas etc.), uma das problemáticas recentes que se apresentam para o atuação dos bancos centrais está fixada na expansão das tecnologias monetárias e financeiras. Com destaque, no final da primeira década do século XXI os agentes econômicos foram apresentados a uma nova formulação monetária que se propunha essencialmente digital e privada. Essa formulação foi proposta em [Nakamoto \(2008\)](#), estabelecendo as bases do *Bitcoin*, que se popularizou como a primeira experiência amplamente utilizada de moeda digital privada e que ainda gera discussões em relação a sua caracterização como moeda.

As funções da moeda comumente estabelecidas na literatura econômica são as de meio de pagamento, unidade de conta e reserva de valor. A representação da moeda como meio de pagamento permite que vendas e compras sejam efetuadas em datas diferentes (não existindo a exigência de coincidência mútua e complementar de necessidades). Sendo unidade de conta, a moeda está em todos os contratos de uma economia, expressando a ideia de que a quantidade de moeda que é capaz de liquidar a dívida estabelecida no contrato, em um período futuro  $t + 1$ , terá aproximadamente a mesma capacidade de compra do período atual  $t$ . E a moeda como reserva

de valor caracteriza a possibilidade do detentor da moeda de reter recursos para períodos futuros sem que existam custos (de carregamento) - salvo no caso de uma economia com altos níveis inflacionários, porque seria uma atitude custosa ao detentor em decorrência da perda de poder de compra na mesma proporção da variação dos preços (CARVALHO et al., 2012).

No estudo proposto por Yermack (2015), as conclusões indicam que o *Bitcoin* segue a função de meio de pagamento, mas as suas características não o fazem possuir as funções de unidade de conta e reserva de valor e, entre outros aspectos, o excesso de volatilidade o caracteriza como um ativo de especulação ao invés de uma moeda - a partir das funções que a moeda possui em um sistema de trocas indiretas. Em contraponto, o artigo proposto por Hazlett e Luther (2020) conclui que a análise de Yermack (2015) está baseada em uma confusão entre a definição de moeda (meio de troca amplamente aceito), funções da moeda (meio de pagamento, unidade de conta e reserva de valor) e as características da moeda (estabilidade, durabilidade, portabilidade, etc.). Considerando moeda como um meio de pagamento que é utilizado em um determinado território e, utilizando a capitalização de mercado como um estimador para a demanda por moedas emitidas em diversos países, o autor infere que a demanda por *Bitcoin* se assemelha à demanda por essas outras moedas, caracterizando-o como uma moeda (pelo menos em determinado domínio).

Permanecendo o embate teórico colocado em relação ao *Bitcoin* (e outras *moedas digitais privadas* - Ethereum, Ripple, Litecoin etc.), há necessidade de se levar em consideração que a autoridade monetária de um país é responsável, entre outros aspectos, pela manutenção da estabilidade econômica e, assim, a inclusão de um ativo com potencial desestabilizador<sup>2</sup> precisa ser entendida de forma plena uma vez que as *moedas digitais privadas* não fazem parte (até o período considerado neste estudo) do sistema bancário e financeiro do Brasil e de outros países. Conseqüentemente, essas formas monetárias não são validadas e asseguradas por seguros de depósito, tratados internacionais e camadas de regulação.

Assim, com este avanço das *moedas digitais privadas*, a discussão sobre a possibilidade de uma moeda digital que fosse emitida por um banco central (CBDC, na sigla em inglês) entrou no ambiente de discussão acadêmica e regulatória. A partir de uma abordagem pós-Keynesiana, a moeda pública é a garantia para que o banco central tenha poder de controle em relação à moeda e, assim, preserve o seu valor, evitando uma paralisação do sistema econômico ou uma crise - caso ocorra uma escassez de liquidez, por exemplo. Dessa maneira, o objetivo deste trabalho é o de investigar o que é e quais são os efeitos da emissão de uma moeda digital por parte do banco central no ambiente econômico-monetário.

Para alcançar o objetivo da pesquisa, este trabalho está estruturado da seguinte forma: o Capítulo 2 aborda a natureza de uma moeda digital emitida pelo banco central; o Capítulo 3 discute as influências de uma CBDC na condução da política monetária; o Capítulo 4 apresenta

<sup>2</sup> Ver a discussão a respeito da formação de "bolhas" de preços em *moedas digitais privadas* em Bouri, Shahzad e Roubaud (2019), Cheung, Roca e Su (2015), Corbet, Lucey e Yarovaya (2018).

uma análise econométrica para analisar e prever o grau de monetização da economia brasileira a partir de variáveis macroeconômicas. E, por fim, o Capítulo 5 é destinado às principais conclusões e sugestões de pesquisa futura.

## 2 A Natureza da Moeda Digital Emitida pelo Banco Central

### 2.1 Introdução

A forma com que as inovações monetárias ocorrem ao longo do tempo são pontos importantes na investigação do comportamento monetário, ou seja, na maneira pela qual a sociedade determina o seu símbolo universalmente aceito para a realização de trocas. Como descrito em [Hugon \(1976\)](#), a moeda nasce através da aceitação geral por parte da sociedade e pode ser considerada uma ponte entre o passado e o presente e entre o presente e o futuro, sendo um instrumento para a manutenção do equilíbrio econômico através do tempo, ainda que existam descontinuidades da realidade no presente. Assim, a superposição de instrumentos monetários novos aos antigos é muito mais comum do que uma completa substituição. E nesse cenário de superposição surge o debate em torno do que a literatura contemporânea denomina *Central Bank Digital Currencies* (CBDC), sendo uma forma de moeda digital emitida pelo banco central com o potencial de se sobrepor ao atual sistema monetário baseado em papel-moeda, depósitos, reservas e saldos para liquidação.

O termo CBDC é usado como referência para um grande número de conceitos. A definição comum o descreve como uma nova moeda emitida pelo banco central, porém, digitalmente. No entanto, a partir da observação das operações realizadas pelos bancos centrais contemporâneos se nota que estes já emitem moedas digitais - na forma de reservas e saldos em conta de liquidação que são mantidas por bancos comerciais e outras instituições financeiras. Sendo assim, a definição de uma CBDC pode ser construída a partir da seguinte negação:

Uma moeda digital emitida pelo banco central é uma forma digital de moeda do banco central que difere dos saldos tradicionais em reserva ou contas de liquidação.<sup>1</sup> ([CPMI-MC, 2018](#))

A Figura 1 apresenta a relação existente entre as formas de representação da moeda e o balanço de pagamentos dos bancos centrais e comerciais. Observa-se que através da emissão de uma moeda digital os agentes econômicos que possuem CBDC podem ter a mesma relação direta com os bancos centrais existente para o caso do papel-moeda, sem a necessidade de intermediação com os bancos comerciais que é necessária no caso dos depósitos bancários - em que os depósitos bancários são transferidos para os bancos centrais através das reservas dos bancos comerciais.

---

<sup>1</sup> Tradução do autor a partir do original: "*a CBDC is a digital form of central bank money that is different from balances in traditional reserve or settlement accounts.*"

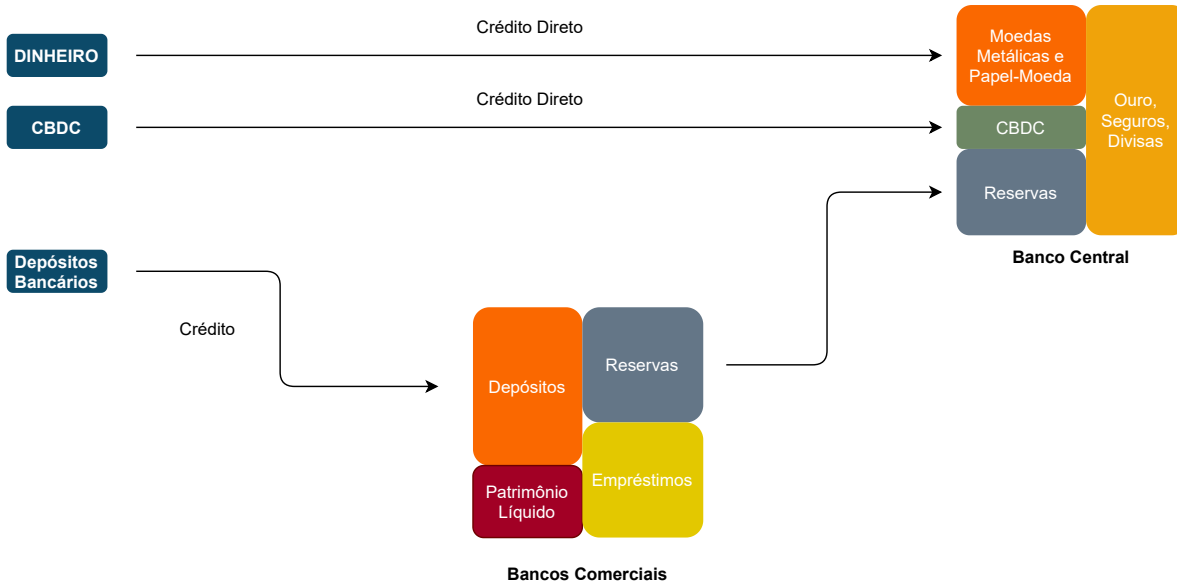


Figura 1 – Exemplo de um sistema monetário com uma CBDC de uso geral e bancos comerciais. Elaborado pelo autor com base em (AUER; BOEHME, 2021).

Uma estratégia de interpretação de uma CBDC é dado pela comparação entre essa nova forma de moeda e as formas já existentes. Uma classificação eficiente é apresentada por meio de um diagrama, reproduzido na Figura 2, que tem como característica a combinação de quatro propriedades essenciais do funcionamento de uma moeda. A primeira propriedade define qual é o seu grau de acessibilidade por parte dos usuários finais, ou seja, se o acesso é amplo ou há limitação de alguma natureza. Na segunda propriedade, descreve-se a forma pela qual se tem acesso a moeda, sendo através de uma ferramenta digital ou objeto físico. Outro fator importante, apresentado na propriedade três, está no tipo de emissor da moeda. O diagrama define um tipo de emissor específico (o banco central) e um tipo genérico (outras instituições que não o banco central). E, por fim, a quarta propriedade apresenta a tecnologia utilizada na moeda, sendo ela baseada em conta ou em símbolo. O que distingue uma moeda baseada em conta de uma moeda baseada em símbolo é a maneira pela qual a autenticidade é comprovada em um processo de negociação. Uma moeda que seja baseada em conta depende, quase que exclusivamente, da verificação da identidade do titular da conta. Enquanto que uma moeda baseada em símbolo necessita que o recebedor valide a autenticidade do objeto de pagamento como, por exemplo, a checagem dos itens de segurança que os bancos centrais incluem no papel-moeda emitido.

É possível observar a possibilidade de três formas de CBDC: uma com base em conta e duas com base em símbolo. Segundo CPMI-MC (2018), em uma CBDC com base em conta o banco central disponibiliza uma conta de depósitos para todos os agentes econômicos da sua jurisdição, favorecendo a ocorrência de transações que necessitem verificar a identidade do recebedor e/ou do pagador. No caso das formas com base em símbolo, uma é um instrumento de amplo acesso com foco em transações cotidianas realizadas no varejo e também com disponibilidade para propósitos gerais. A outra tem o propósito de proporcionar negociações no atacado ou

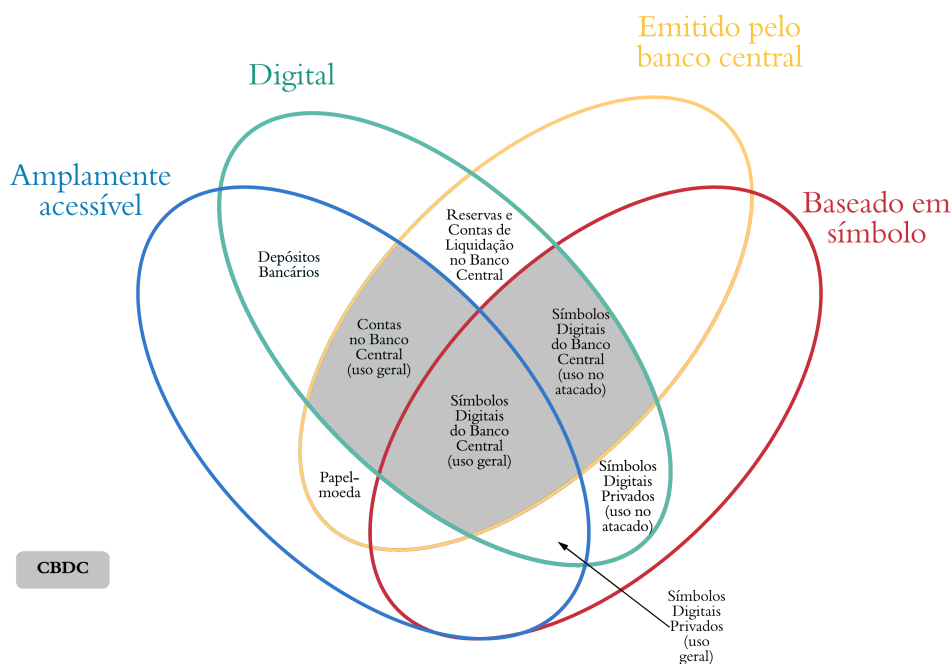


Figura 2 – Diagrama de Venn com as principais propriedades da moeda. Emissor (Banco central ou não), forma (digital ou física), acessibilidade (ampla ou restrita) e a tecnologia (baseada em conta ou símbolo). Elaborado pelo autor com base em [CPMI-MC \(2018\)](#) e [Bech e Garratt \(2017\)](#).

que necessitem de liquidação, sendo uma tecnologia direcionada para compras com um volume monetário elevado.

A *Money Flower* não engloba todas as características existentes ou possíveis que uma moeda pode apresentar. Assim, a Tabela 1 se apresenta como um complemento às possibilidades, limitações e desafios para a emissão de uma CBDC. Nela é possível observar cinco variáveis<sup>2</sup> para a moeda do banco central existente e o que pode ser desenhado para uma CBDC. A combinação dessas variáveis pode ser feita a fim de promover outras medidas potenciais.

A moeda digital do banco central existente possui limitações de acesso com relação ao dia (normalmente cinco dias por semana) e horário (menos de vinte e quatro horas por dia). Essa característica é um fator limitador para as necessidades que um mundo dinâmico e globalizado exigem. No caso de uma CBDC há possibilidade de que o acesso seja determinado de acordo com a conveniência definida pelo órgão regulador, não existindo empecilhos práticos ou teóricos para que a sua disponibilidade seja de vinte e quatro horas por dia nos sete dias da semana. Essa propriedade também é observada nos projetos de transferência monetária instantânea, discutidos e implementados por bancos centrais de alguns países (Brasil, China, Estados Unidos, México, entre outros).

<sup>2</sup> Disponibilidade, anonimidade em relação ao banco central, mecanismo de transferência, juros e limites ou topos.

O nível de anonimidade em relação ao banco central de uma CBDC baseada em símbolo é uma decisão chave que a sociedade deve discutir levando em consideração aspectos como o financiamento do terrorismo, sonegação de impostos, privacidade e práticas que visem negligenciar a origem ilícita de ativos financeiros. A depender do nível de anonimidade adotado na moeda essas práticas podem ser encorajadas ou não.

Os mecanismos de transmissão considerados na Tabela 1 são pessoa para pessoa (P-P), pessoa para empresa (P-E), pessoa para governo (P-G), governo para pessoa (G-P), empresa para governo (E-G) e governo para empresa (G-E). P-P e P-E são os mais comuns nas negociações do cotidiano. Uma CBDC também é capaz de intermediar pagamentos de impostos, taxas e tarifas (P-G e E-G), subsídios (G-E) e transferências unilaterais de renda (G-P). Com isso, os processos de pagamento se tornam mais rápidos, convenientes e uma maior transparência nas operações é capaz de fortalecer e criar novos mecanismos para minimizar desperdícios em investimentos públicos e privados, bem como neutralizar efeitos adversos (como fraudes e corrupção).

Assim como em outras formas de passivos digitais do banco central é tecnicamente viável que as três formas de CBDC tenham uma remuneração em juros. Essa característica é inviável em outras tecnologias, como o papel-moeda, e a taxa de juros pode ser equivalente a taxa de juros observada na economia. Dessa forma, a demanda por uma CBDC pode ser encorajada ou desencorajada por meio do nível da taxa de juros definida.

A orientação da utilidade de uma CBDC em determinada direção, ou o controle no caso de implicações indesejáveis, pode ser feito através de limites ou topos quantitativos ao uso ou alocação de capital. Ou seja, limites podem ser definidos para que uma CBDC seja mais útil, por exemplo, em transações com volume elevado do que em transações com volumes menores.



Tabela 1 – Comparação entre as propriedades existentes e potenciais da moeda do banco central. Elaborado pelo autor com base em [CPMI-MC \(2018\)](#).

Principais características da moeda do banco central					
	<i>Moeda do banco central existente</i>		<i>Central Bank Digital Currencies</i>		
	Papel-Moeda	Reservas e Saldos para Liquidação	Propósitos gerais		Apenas para o Atacado
			Com base em símbolo	Com base em conta	
Meio de Pagamentos	✓	✗	✓	✓	✓
Unidade de Conta	✓	✗	✓	✓	✓
Reserva de Valor	✓	✓	(✓)	(✓)	(✓)
Disponibilidade (24/7)	✓	✗	✓	(✓)	(✓)
Anonimidade em relação ao banco central	✓	✗	(✓)	✗	(✓)
Transferências					
Pessoa para pessoa	✓	✗	(✓)	(✓)	(✓)
Pessoa para empresa	✓	✗	(✓)	(✓)	(✓)
Pessoa para governo	✓	✗	(✓)	(✓)	(✓)
Governo para pessoa	✓	✗	(✓)	(✓)	(✓)
Empresa para governo	✓	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
Governo para empresa	✓	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
Juros	✗	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
Limites ou topos	✗	✗	(✓)	(✓)	(✓)

✓ = existe ou possível, (✓) = possível, ✗ = não possível

## 2.2 Tendências

O movimento iniciado por alguns bancos centrais no sentido de considerar a possibilidade para a emissão de CBDCs está atrelado a quatro pontos-chave, interligados entre si, sendo eles: (i) o interesse para a utilização de inovações tecnológicas no setor financeiro; (ii) novos entrantes nos serviços de pagamentos e intermediação financeira; (iii) a tendência de diminuição no uso de papel-moeda em determinados países e; (iv) o aumento da atenção direcionada ao que se pode definir como *moedas digitais privadas*.

A tecnologia possui um ritmo de inovação cada vez mais rápido, fazendo com que muitos dos avanços computacionais e tecnológicos não tenham uma adoção uniforme entre os diferentes setores da economia. Como exemplo, podemos citar o caso das *Fintechs*, empresas que empregam serviços financeiros atrelados ao uso intenso de tecnologia e que passaram a

disputar um espaço cada vez mais significativo em relação aos bancos comerciais tradicionais. A facilidade para a abertura de contas, execução de transações e operações através de *Smartphones* trouxe uma nova dinâmica para o setor, impulsionando a busca por serviços de maior qualidade e que proporcionem mais comodidade aos usuários. Como uma forma de atrelar mais tecnologia ao sistema de meios de pagamentos brasileiro, em novembro de 2020 o BCB implementou o Pix, a sua infraestrutura de pagamentos instantâneos. O sistema de pagamentos instantâneos apresentou resultados significativos nos três primeiros meses de funcionamento. Como pode ser observado através da Figura 3, o volume de transações financeiras cresceu rapidamente, ultrapassando os 150 bilhões de reais em janeiro de 2021.

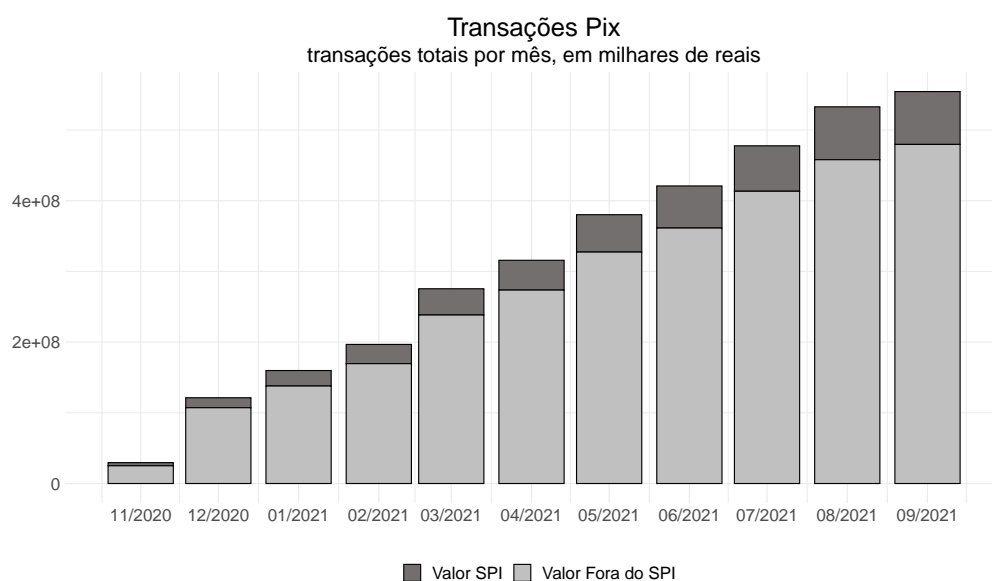


Figura 3 – Volume das transações financeiras pelo Pix liquidadas mensalmente no Sistema de Pagamentos Instantâneos (SPI) e fora do SPI (transações liquidadas nos livros do participante), considerando as ordens de pagamentos e devoluções no período. Elaborado pelo autor. Fonte: [Banco Central do Brasil \(2021b\)](#)

Empresas que agregam tecnologia aos serviços financeiros ganham espaço no Brasil e no mundo. Durante os últimos anos se observou um crescimento no número de instituições que se propõe a desenvolver serviços financeiros disruptivos e intensivos em tecnologia. As novas gerações são um público cada vez mais propício para a disseminação dessa forma de solução, levando em consideração que essa parcela da população economicamente ativa cresceu em contato com a internet, o que torna a utilização dessas ferramentas algo mais confiável do que a percepção de gerações anteriores em relação a soluções tecnológicas que envolvem dados sensíveis, como é o caso dos dados bancários. Essa posição negativa por parte de faixas etárias mais elevadas pode ser observada a partir da Figura 4, em que se apresenta o percentual de posicionamento negativo em relação ao desuso do papel-moeda na sociedade a partir de um questionário elaborada pelo banco central da Suécia, em 2020. A Figura 5 também corrobora com essa percepção, uma vez que é possível observar que os mais jovens estão dispostos a utilizar novas tecnologias financeiras, como no caso do Pix.

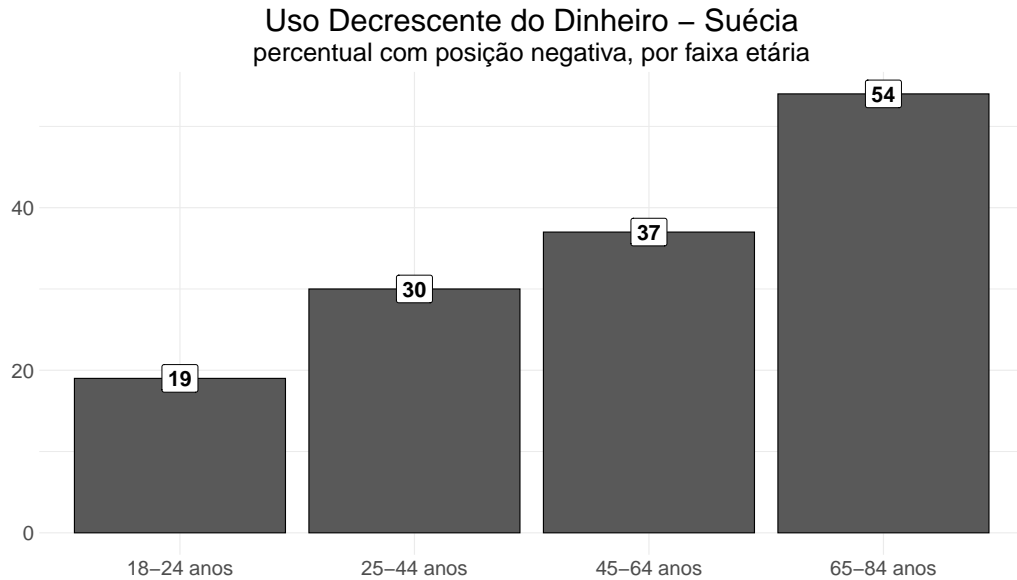


Figura 4 – Porcentagem na população da Suécia, por faixa etária, com posição negativa em relação ao uso decrescente de dinheiro na sociedade, em 2020. Elaborado pelo autor. Fonte: [Riksbank \(2021\)](#).

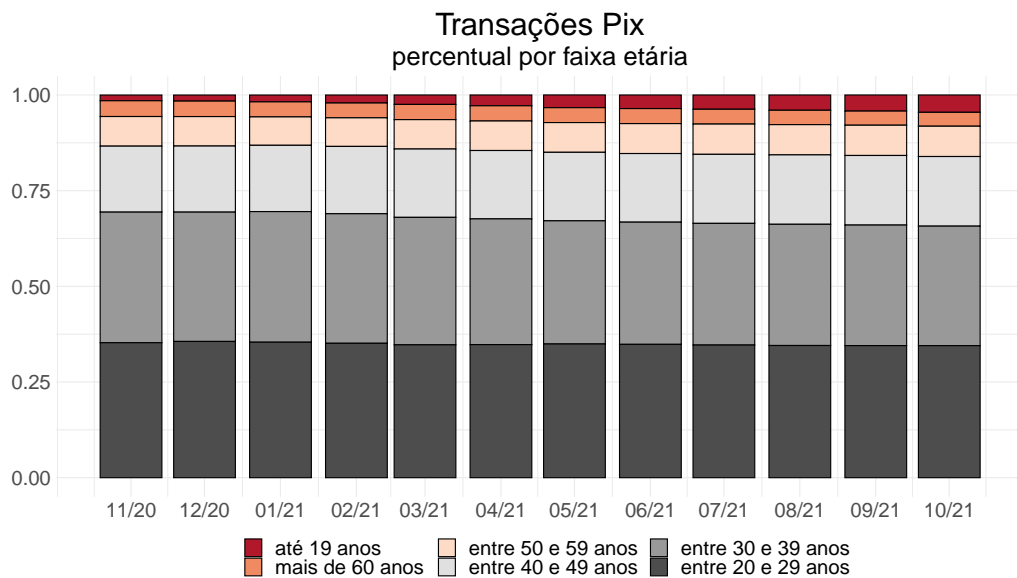


Figura 5 – Distribuição percentual das transações Pix liquidadas mensalmente por faixa etária do usuário pagador (quantidade de transações), considerando as ordens de pagamentos e devoluções no período. Elaborado pelo autor. Fonte: [Banco Central do Brasil \(2021b\)](#)

O sistema financeiro e monetário em diversos países começa a conviver com o fenômeno do desuso do papel-moeda. Essa é uma consequência dos fatores (i) e (ii), fazendo com que a utilização da tecnologia da informação para suprir necessidades cotidianas ganhe cada vez mais espaço e, naturalmente, métodos mais tradicionais e analógicos sejam substituídos. Assim, a tendência esperada para as próximas décadas passa pela substituição do uso de papel-moeda para soluções que possam ser acessadas por celulares ou acessórios inteligentes conectados à internet, a chamada IoT (*Internet of Things*).

Uma análise da razão entre M1 e o M4 possibilita a obtenção de informações relevantes no sentido de compreender o grau de monetização da economia. De acordo com os resultados observados pela média móvel simples anual, expostos na Figura 6, a economia brasileira apresentou tendência de queda no uso meios de pagamento restritos entre os anos de 2002 e 2019. Com a pandemia da Covid-19 no ano de 2020, o Brasil viu um aumento exponencial e incomum na procura por meios de pagamento restritos, principalmente papel-moeda. Entretanto, esse não foi o comportamento observado em outros países do ocidente (JOSHI; JOSHI, 2020). O “ciclo bancário” do papel-moeda tem início e fim no banco central. Quando, por algum motivo, o ciclo não se completa ocorre o chamado entesouramento bancário. Segundo Banco Central do Brasil (2020a) esse fenômeno pode ter ocorrido por certos fatores, dentre eles: saques com a finalidade de formação de reservas, redução no volume de compras no setor de serviços e quebra da previsão de retorno dos auxílios financeiros promovidos pelo governo do Brasil, pagos em papel-moeda. Com isso, a razão M1/M4 iniciou um movimento de crescimento no ano de 2020<sup>3</sup>.

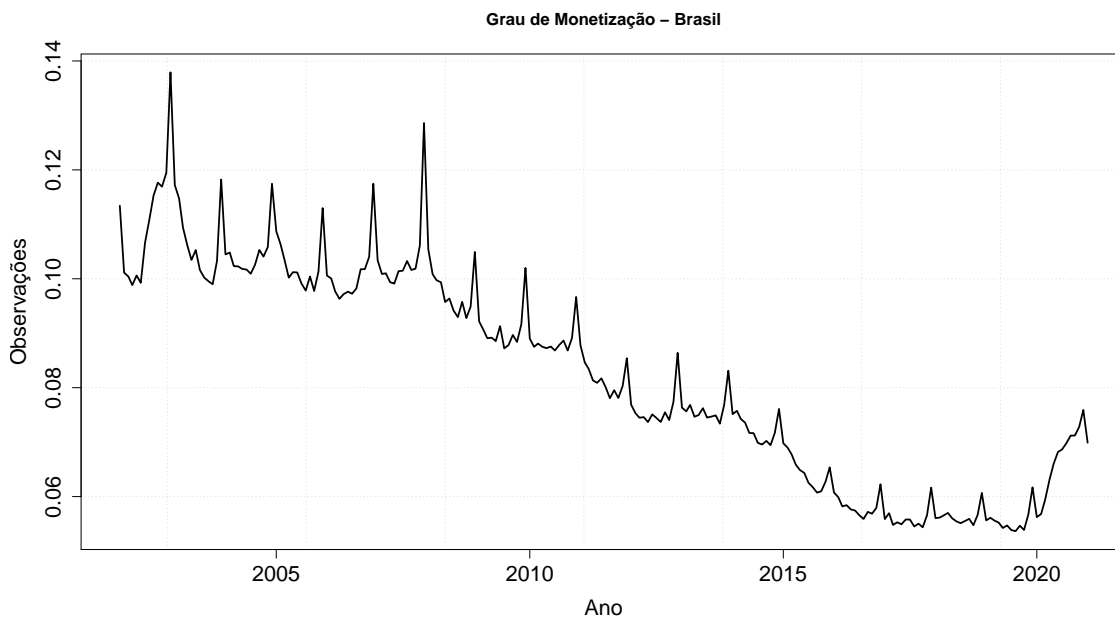


Figura 6 – Grau de monetização da economia brasileira entre dezembro de 2021 e janeiro de 2021. Elaborado pelo autor. Fonte: BCB

A busca por tecnologias no setor financeiro expandiu o interesse pelas *criptomoedas* (ou *moedas digitais privadas*), que foram desenhadas a partir da publicação do artigo *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System* (NAKAMOTO, 2008). O entusiasmo por um instrumento de pagamento completamente digital, sem o controle estatal e com alto nível de anonimidade fez as *criptomoedas* ganharem destaque, principalmente após a valorização explosiva do preço do *Bitcoin*. Com o crescente interesse pela temática das *criptomoedas*, os questionamentos em torno do papel de um banco central e da estrutura da intermediação financeira também aumentaram,

<sup>3</sup> O grau de monetização da economia é analisado com mais detalhes no Capítulo 4.

levando-se as possíveis vantagens da proposta privada em contraponto com a opção estatal. A Figura 7 (a) apresenta a trajetória dessa explosão no preço diário do Bitcoin entre os anos de 2017 e 2021, em dólares dos Estados Unidos, sendo possível observar o topo histórico em fevereiro de 2021. A Figura 7 (b) apresenta o comportamento do volume de negociações diárias.

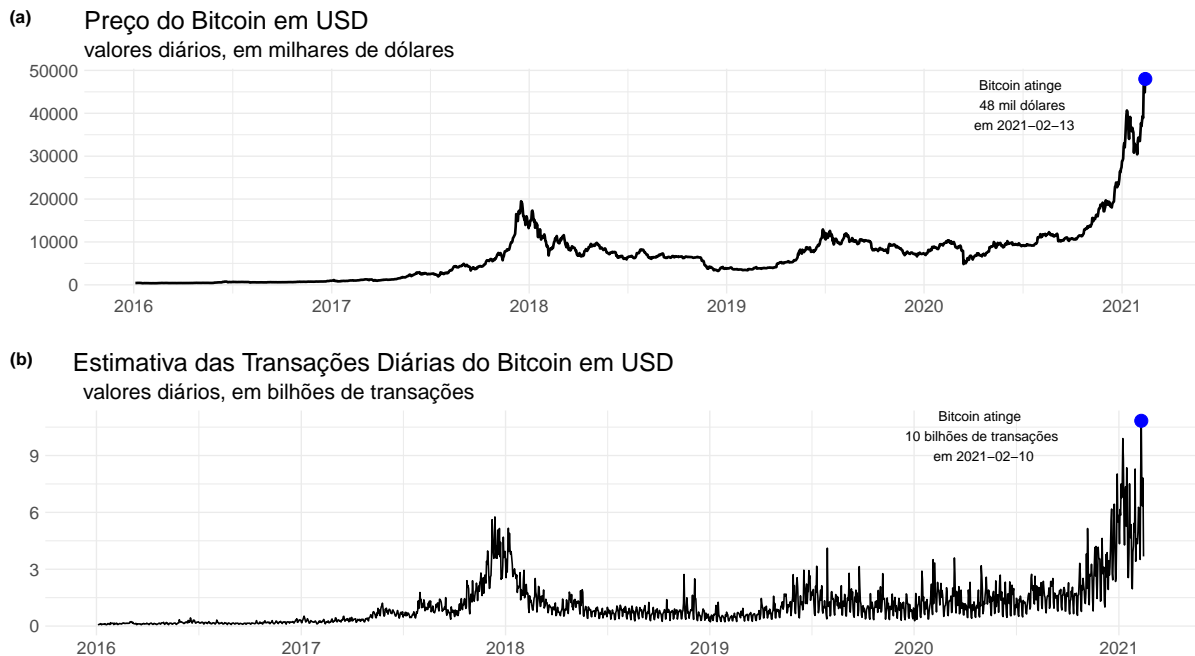


Figura 7 – (a) Preço do Bitcoin em valores diários entre 2015 e 2021, em milhares de dólares americanos. (b) Volume de transações diárias do Bitcoin entre 2015 e 2021. Elaborado pelo autor. Fonte: McTaggart, Daroczi e Leung (2020).

## 2.3 Viabilidade e Desafios

Mudanças como a emissão de uma CBDC possuem questionamentos em relação a sua viabilidade e capacidade de lidar com os desafios que se apresentam nos estágios iniciais, intermediários e finais de uma possível implementação. E os desafios não se caracterizam apenas no âmbito técnico, como a capacidade computacional e de conectividade, por exemplo. Outras questões importantes surgem do ponto de vista da legislação<sup>4</sup> de cada país, além das barreiras gerenciais e operacionais que eventualmente se colocarão no processo de adaptação do novo instrumento.

O grau de privacidade que uma CBDC terá deve ser desenhado de maneira bastante cuidadosa. A questão da privacidade dos dados de um usuário é uma questão chave na discussão em torno das redes sociais, e ainda é motivo de controvérsia. No caso de uma moeda digital emitida por um banco central a importância dessa discussão é amplificada, uma vez que informações de milhões de pessoas estão envolvidas nesse processo. Entretanto, para que haja

<sup>4</sup> Há países em que os bancos centrais possuem limitações legais para a emissão de moedas digitais ou a ampliação do acesso à contas. Inviabilizando o projeto de implementação de uma CBDC no curto prazo.

efetividade de políticas públicas baseadas na observação dos dados de utilização da moeda, como o monitoramento em tempo real da atividade econômica de um país ou de uma certa região, pode contribuir para avanços no planejamento e na efetividade das ações promovidas pela administração pública.

Outro fator que possui uma relação direta com a privacidade dos usuários é o da segurança cibernética. Um sistema em larga escala aberto para um número considerável de usuários possui um número elevado de pontos de ataque. Assim, as vulnerabilidades podem ser exploradas a partir de formas distintas, fazendo com que métodos robustos de prevenção ao risco cibernético sejam considerados pré-requisitos indispensáveis e indiscutíveis para a emissão de uma CBDC.

O banco central emissor deverá ter capacidade para promover escalabilidade e assegurar que as necessidades monetárias/financeiras dos agentes econômicos sejam atendidas sem prejuízo para os mesmos. Um sistema lento ou que necessite de ajustes recorrentes não teria espaço na prática econômica dos tempos atuais, deixando de servir a finalidade de inserir a moeda e o banco central dentro da dinâmica financeiro-tecnológica.

## 2.4 Discussão e Implementação

O BIS passou a elaborar questionários que tem como finalidade acompanhar o engajamento e as medidas tomadas pelos bancos centrais no sentido da emissão de uma moeda digital do banco central [(BARONTINI; HOLDEN, 2019), (BOAR; HOLDEN; WADSWORTH, 2020)]. A Tabela 2 sintetiza os principais resultados obtidos através destes questionários. Uma observação do estudo aponta que economias emergentes enxergam a implementação de uma CBDC como algo mais importante do que os países de economias avançadas. Por exemplo, no questionário de 2018 a média das respostas dos bancos centrais de economias emergentes atribuem mais peso para a inclusão financeira, implementação de políticas monetárias e eficiência dos pagamentos internos do que a média das respostas dos bancos centrais de países avançados.

Para os dois períodos em análise, o número de bancos centrais engajados (Figura ??) cresceu mais do que proporcionalmente ao aumento no número de bancos questionados. Dessa maneira, há razoabilidade em se concluir que o grau de interesse dos bancos centrais em relação a emissão de uma moeda digital que seja administrada por uma autoridade monetária possui uma tendência de crescimento no curto período de tempo capturado pelo questionário.

Tabela 2 – Síntese do engajamento dos bancos centrais para a emissão de uma moeda digital. Elaborado pelo autor com base em [Barontini e Holden \(2019\)](#) e [Boar, Holden e Wadsworth \(2020\)](#).

\*média das respostas para 1-não importante, 2-importante de alguma maneira, 3-importante, 4-muito importante

	2018	2019	Variação ( $\Delta$ %)
<b>Bancos Centrais Questionados</b>			
Total de Banco Centrais	63	66	4,76%
Bancos Centrais de Países Subdesenvolvidos	42	45	7,14%
Bancos Centrais de Países Desenvolvidos	21	21	-
Cobertura da População Mundial	80%	75%	-6,25%
Cobertura da Produção Mundial	90%	90%	-
<b>Engajamento</b>			
Bancos Centrais Engajados	44	53	20,45%
Engajados em Propósito de Atacado	6	8	33,33%
Engajados em Propósitos Gerais	14	18	28,57%
Engajados em Propósitos Gerais e Atacado	25	27	8,00%
<b>Fase de desenvolvimento</b>			
Em fase de Pesquisa	44	53	20,45%
Em fase de Experimentação	22	22	-
Em fase de Desenvolvimento	5	5	-
<b>Motivação das Economias Desenvolvidas (propósitos gerais)*</b>			
Segurança dos meios de pagamento	2,8	3,1	10,71%
Eficiência doméstica dos meios de pagamento	2,5	2,8	12,00%
Estabilidade Financeira	2,7	2,8	3,70%
Inclusão Financeira	1,6	1,6	-
Implementação da política monetária	2,3	2,3	-
Eficiência externa dos meios de pagamento	2,2	2,3	4,55%
<b>Motivação das Economias Subdesenvolvidas (propósitos gerais)*</b>			
Segurança dos meios de pagamento	3,1	3,2	3,23%
Eficiência doméstica dos meios de pagamento	3,3	3,3	-
Estabilidade Financeira	2,6	2,9	11,54%
Inclusão Financeira	3,2	3,1	-3,13%
Implementação da política monetária	2,5	2,7	8,00%
Eficiência externa dos meios de pagamento	2,2	2,3	4,55%

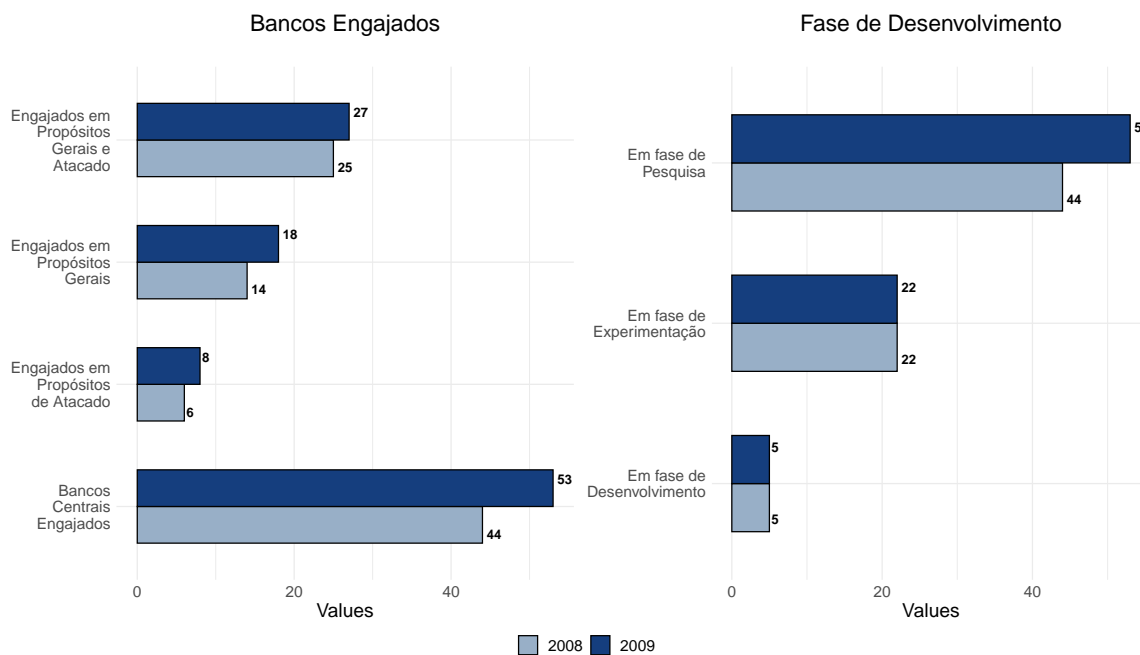


Figura 8 – Engajamento e Fase de desenvolvimento dos bancos centrais para a emissão de uma moeda digital. Elaborado pelo autor com base em Barontini e Holden (2019) e Boar, Holden e Wadsworth (2020).

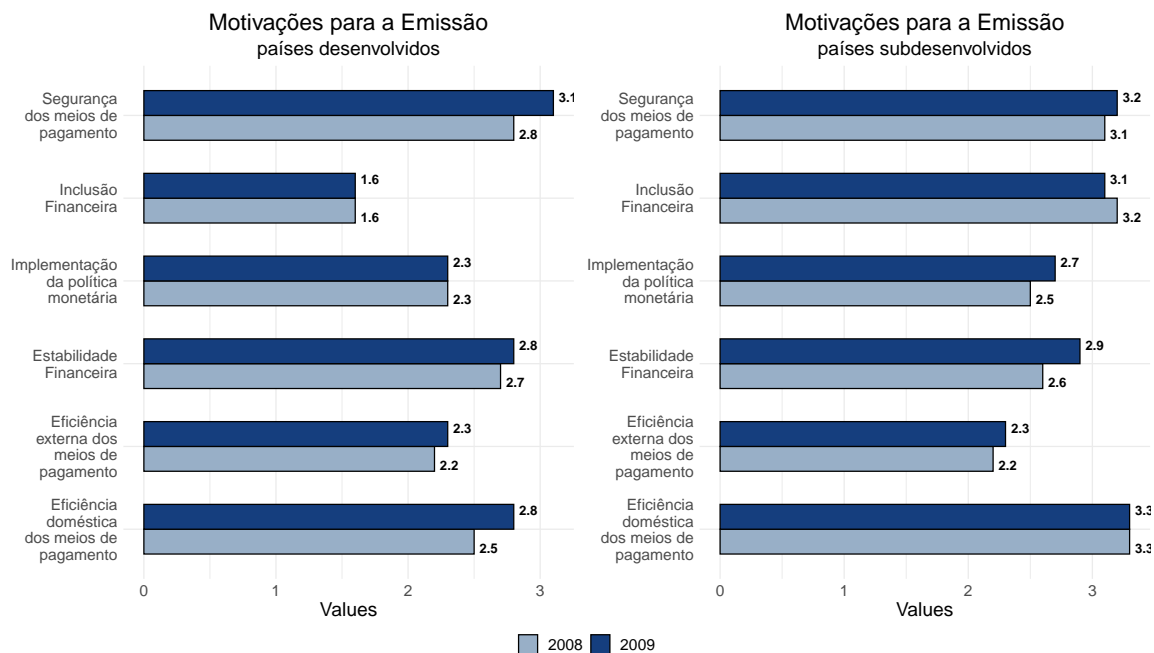


Figura 9 – Motivações dos bancos centrais para a emissão de uma moeda digital. Média das respostas para 1-não importante, 2-importante de alguma maneira, 3-importante, 4-muito importante. Elaborado pelo autor com base em Barontini e Holden (2019) e Boar, Holden e Wadsworth (2020).

A partir do questionário de 2018, a média das respostas dos bancos centrais de países desenvolvidos é menor do que a observada em bancos centrais de economias subdesenvolvidas para motivações como (i) inclusão financeira, (ii) implementação de políticas monetárias e (iii)



eficiência dos pagamentos internos. E, ao compararmos a variação entre os dois períodos analisados, as motivações tanto das economias subdesenvolvidas como das economias desenvolvidas (Figura 9) aumentaram ou permaneceram estáveis<sup>5</sup>.

### 2.4.1 China

Em abril de 2020 uma parte dos salários dos funcionários públicos das cidades chinesas de Shenzhen, Suzhou, Chengdu e Xiong'an foram pagos em uma CBDC (denominada e-RMB) formalmente introduzida no sistema monetário como parte de um programa piloto, de acordo com a mídia estatal (GUPPY, 2020). Sendo o dólar uma poderosa arma que o governo americano tem a disposição para executar a sua política externa, o posicionamento da China servirá como um instrumento potencialmente alternativo para liquidação de transações internacionais, o que poderá ocasionar mudanças na atual hegemonia da Sociedade de Telecomunicações Financeiras Interbancárias Mundiais (SWIFT).

### 2.4.2 Brasil

O BCB divulgou em agosto de 2020 a criação de um grupo de estudos sobre a emissão de uma CBDC (Banco Central do Brasil, 2020b). Os principais objetivos declarados estão voltados para a avaliação dos benefícios e impactos que uma possível emissão em formato digital do Real poderá ocasionar. O banco expôs dois argumentos para a criação do grupo: a redução de custos com o ciclo do papel-moeda, que estima-se ser de aproximadamente noventa bilhões de reais por ano; e a expansão do que o banco denomina como “cidadania financeira”, facilitando o manuseio da moeda e a eventual criação de políticas monetárias.

Em julho de 2021, o BCB lançou as diretrizes para o início das discussões acerca da emissão do *Real Digital* (RD). A finalidade do projeto foi definida da seguinte maneira:

O objetivo é desenhar uma moeda digital de emissão do BC, que seja parte do cotidiano das pessoas, sendo empregada por quem usa contas bancárias, contas de pagamentos, cartões ou dinheiro vivo. (Banco Central do Brasil, 2021a)

Este objetivo declarado mostra que o BCB tem a intenção de que o RD seja um instrumento digital substituto ao Real em seu formato físico e não apenas complementar, como é o caso do atual sistema de pagamentos instantâneos - o Pix. As diretrizes apresentadas inicialmente apontam para três áreas de interesse, sendo elas (i) funcionamento, (ii) garantias legais e (iii) premissas tecnológicas. Entende-se por **funcionamento** a forma com que o RD será operaciona-

<sup>5</sup> Com exceção da motivação por inclusão financeira que diminuiu 3,13% nos países subdesenvolvidos.

lizado e utilizado para negociações entre os agentes econômicos, em ambientes *online* e *offline*<sup>6</sup>, além do processo de intermediação<sup>7</sup> e remuneração<sup>8</sup>.

As **garantias legais** estão relacionadas com modificações que serão necessárias para que o BCB possa emitir a sua moeda digital sem que a segurança jurídica das operações realizadas possa ser comprometida. Além disso, outros dispositivos jurídicos precisam ser levados em consideração quando da emissão do RD, como a Lei Geral de Proteção de Dados (BRASIL, 2018) e a necessidade de sigilo bancário, que é extensiva ao BCB através da Lei Complementar 105/2001 (BRASIL, 2001).

As **premissas tecnológicas** visam construir um sistema que seja capaz de operar internacionalmente, buscando soluções de interoperabilidade com os bancos centrais de outras economias, além de garantir que o sistema implementado estará seguro contra ataques cibernéticos através da mitigação dos pontos de vulnerabilidade.

### 2.4.3 Suécia

Com os avanços tecnológicos observados e a tendência de desuso do pape-moedal, o banco central da Suécia desenvolveu um projeto - iniciado no ano de 2017 - para propor soluções de emissão referentes a SEK (*Swedish kronor*) digital, denominada como *e-krona*. Ao longo dos anos seguintes, o projeto foi amplamente acompanhado e discutido<sup>9</sup>.

## 2.5 Resumo

Uma moeda digital emitida pelo banco central é entendida como uma forma digital de moeda do banco central que se diferencia das atuais formas monetárias digitais disponibilizadas pelos bancos centrais - saldos em reserva e contas de liquidação. Quando comparada com outras formas monetárias (papel-moeda, depósitos bancários etc.) a CBDC atende quatro propriedades-chave para uma moeda<sup>10</sup>, podendo ela ser amplamente acessível, digital, emitida pelo banco central e baseada em símbolo.

As tendências que guiam a iniciativa dos bancos centrais em desenvolver uma moeda digital própria estão relacionadas, mas não se limitam, a quatro fatores: o interesse para a utilização de serviços que tenham inovações tecnológicas facilitadoras, como é o caso do sistema

<sup>6</sup> O BCB destaca a existência de limitações tecnológicas para a implementação *offline*.

<sup>7</sup> As diretrizes iniciais apontam que a distribuição ocorrerá através de intermediação, como ocorre atualmente. O RD será emitido pelo BCB e repassado à população através dos agentes que atuam no sistema de pagamentos. Dessa maneira, os bancos comerciais precisariam se adequar a este novo modo de intermediação digitalizado que pode gerar aumento na competitividade e inclusão financeira dos agentes *desbancarizados*.

<sup>8</sup> As diretrizes iniciais apontam que o RD não possuirá um mecanismo (ou regra) de remuneração. Dessa maneira, haverá uma equivalência entre o real em seu formato físico e digital através da manutenção do valor de emissão da moeda. Neste trabalho, uma discussão mais detalhada se encontra no Capítulo 3.

<sup>9</sup> Como apresentado em Riksbank (2017), Riksbank (2018a), Riksbank (2020) e Riksbank (2018b).

<sup>10</sup> Emissor (banco central ou não), forma (digital ou físico), acessibilidade (amplamente acessível ou de acesso restrito) e tecnologia (baseada em conta ou em símbolo).

de pagamentos instantâneos do BCB (Pix) que passou a ser utilizado amplamente pela sociedade brasileira; novos entrantes nos serviços de pagamentos e intermediação financeira, o que aumenta a concorrência e favorece a criação de necessidades por parte dos agentes econômicos; a tendência de diminuição no uso do papel-moeda em determinados países desenvolvidos e subdesenvolvidos propicia o surgimento de novas formas de intermediação financeira e meios de pagamento; é notório que as *moedas digitais privadas* ganharam destaque no debate público e acadêmico e, com isso, dada a sua característica instável, tornou-se alvo de investigação por parte das autoridades monetárias e motivou o início das discussões para a emissão de uma moeda digital por parte dos bancos centrais.

Os desafios para a emissão de uma CBDC passam por limitações técnicas, operacionais, barreiras legislativas e gerenciais. A emissão de uma CBDC necessita de esforços que abarcam diferentes áreas do conhecimento e, dessa maneira, o nível do risco aumenta de acordo com a complexidade das implementações realizadas. Dessa maneira, os bancos centrais precisam definir diretrizes que levem em consideração a mitigação dos riscos associados à emissão da CBDC e que garantam a escalabilidade e segurança do sistema proposto.

A discussão a respeito da emissão de uma CBDC ganhou espaço no debate interno e externo dos bancos centrais tanto em países desenvolvidos como em países subdesenvolvidos. No ano de 2019, cinquenta e três bancos centrais estavam engajados em pesquisas para implementação de uma moeda digital própria. Além disso, observa-se que os bancos centrais de economias subdesenvolvidas possuem interesse em questões relacionadas à inclusão financeira<sup>11</sup>, implementação de política monetária e eficiência dos pagamentos internos. Alguns países já lançaram diretrizes e vem expandindo suas pesquisas e testes com moedas digitais emitidas por seus bancos centrais, como China (*e-RMB*), Brasil (*Real Digital*) e Suécia (*e-krona*).

---

<sup>11</sup> De acordo com Demirguc-Kunt et al. (2018), a inclusão financeira atua como um instrumento de redução da pobreza na medida em que possibilita que o dinheiro seja guardado ou transferido através de ferramentas tecnológicas (como *Smartphones*), possibilitando o acúmulo de poupança e melhorando a gestão dos recursos financeiros das famílias.



# 3 A Moeda Digital Emitida pelo Banco Central na Condução da Política Monetária

## 3.1 Introdução

A teoria monetária tem como escopo de investigação as relações existentes entre variáveis reais e variáveis nominais de uma economia (WALSH, 2017). Entre as variáveis reais observadas em níveis agregados, podemos destacar o nível de produção, a taxa de juros real, a taxa de desemprego, a taxa de câmbio real. Por outro lado, as variáveis nominais de destaque são a taxa de inflação, a taxa de juros nominal, a taxa de câmbio nominal e a oferta de moeda.

No período anterior a crise do *Subprime* a condução da política monetária em diversos bancos centrais era determinada através do regime de metas de inflação, ou seja, os bancos centrais ao buscarem uma inflação que fosse ao mesmo tempo baixa e estável, definiam metas de inflação para o curto prazo que possuíam como instrumento de operacionalidade a taxa de juros (BLANCHARD, 2011). Entre os países que adotaram o regime de metas inflacionárias ainda na década de 1990, estão a Nova Zelândia, no ano de 1990; Canadá e Chile, em 1991; Reino Unido, em 1992; Suécia, em 1993; e Brasil e México, em 1999 (TRICHES; FIORENTIN, 2018). De acordo com o *Annual Report on Exchange Arrangements and Exchange Restrictions* divulgado pelo Fundo Monetário Internacional (Monetary and Capital Markets Department-IMF, 2020), no ano de 2019 existiam 41 países atuando sob um regime de metas de inflação.

A emissão de uma CBDC pode ser traduzida em uma oportunidade de expansão na transparência da política monetária desenhada pelos bancos centrais (BORDO; LEVIN, 2017). Esse processo de transparência está contido na âncora nominal, nas operações e na estratégia de política monetária que os bancos determinam. Como visto, nas últimas décadas o estabelecimento de metas inflacionárias como instrumento para a condução da política monetária se tornou uma prática comum em diversas economias. Em teoria, uma meta inflacionária pode ser estabelecida de forma permanente e fixa em um determinado valor. Mas na prática, a escolha da meta inflacionária passa por processos de decisão que podem ser considerados arbitrários e/ou subjetivos<sup>1</sup>. Por outro lado, ao se estabelecer uma CBDC que remunere em juros, permite-se que o banco central determine uma meta de preço que seja utilizada como fonte para as expectativas e sirva como um instrumento para fortalecer a âncora nominal.

---

<sup>1</sup> Essa subjetividade está presente na existência de debates político-ideológicos que são capazes de transmitir ao público o sentimento de que a meta inflacionária atual pode estar sendo definida por questões eleitorais, não comprometidas com a estabilidade monetária.

Os impactos de uma moeda digital emitida pelo banco central na implementação e transmissão da política monetária se relacionam diretamente com o grau de acessibilidade da moeda (amplo ou restrito) e a atratividade de uma possível remuneração em juros (CPMI-MC, 2018). Através de um sistema completamente integrado as decisões da autoridade monetária poderão ser adotadas de forma imediata. Assim, é razoável supor que o acesso digital amplo ao banco central tem o potencial de fortalecimento da transmissão da taxa de juros para os mercados monetário e de empréstimos.

A partir da evolução dos meios de pagamento eletrônicos, avançam as discussões em torno da possibilidade de uma difusão massiva dessas tecnologias e os seus impactos potenciais na condução da política monetária. Woodford (2000) aborda equívocos nas ideias que superestimam o impacto de meios de pagamento eletrônicos na condução da política monetária: (i) o primeiro equívoco apresentando pelo autor está na falha de reconhecimento de que um banco central, para alcançar os seus objetivos de estabilização, precisa ser capaz apenas de controlar o nível da taxa de juros de curto prazo. Assim, os bancos centrais comumente buscam atingir um alvo operacional para a taxa de juros *overnight* em um mercado interbancário para reservas mantidas no banco central. O controle dessa taxa possui efeitos diretos em outras taxas de juros de curto prazo, que irão determinar as taxas de juros de longo prazo e a taxa de câmbio. Para, por fim, determinarem as decisões de consumo e precificação. (ii) um segundo equívoco está na suposição de que a utilização de uma moeda para transações a varejo é importante para o mecanismo de transmissão monetária. (iii) o terceiro equívoco está na suposição de que uma política de "aperto" por parte dos bancos centrais, aumentando a taxa de juros *overnight*, levando a uma escassez de reservas que faria com que os bancos ficassem dispostos a manter a oferta restante. Em resumo, os avanços da tecnologia da informação podem exigir mudanças na maneira com que a política monetária é implementada, mas a capacidade de controle da inflação por parte dos bancos centrais não será prejudicada.

Fung e Halaburda (2016) propõe um *framework* para estimar o porquê de um banco central considerar a emissão de uma moeda digital e como implementá-la no sentido de tornar o sistema de pagamentos mais eficiente, considerando que um novo sistema de pagamentos pode ser mais eficiente do que as atuais alternativas se os benefícios sociais forem maiores do que os custos sociais. São analisadas três questões: uma moeda digital pode aumentar a eficiência?; a emissão de moedas digitais privadas pode promover ganhos de eficiência sem intervenção estatal?; e a emissão de uma moeda digital pode ser um campo de atuação do banco central para promover eficiência?. O artigo não chega a ser conclusivo ao apontar se um banco central deve ou não emitir uma moeda digital, mas serve como ponto de partida para as discussões que envolvem o tema uma vez que propõe um *framework* que permite a determinação de outros questionamentos.

Davoodalhosseini, Rivadeneyra e Zhu (2020) argumenta que a emissão de uma CBDC não necessariamente leva a uma política monetária mais eficiente. Isso ocorreria por conta de

duas suposições necessárias para que o banco central tivesse benefícios com a emissão de uma CBDC: a moeda digital deveria ser remunerada (a taxas positivas e negativas) e o papel-moeda deveria ser retirado inteiramente da economia ou ter a sua utilização restrita.

Borgonovo et al. (2017), através de uma abordagem de alocação de *portfolio* busca desenvolver uma cartilha teórica para analisar a demanda por uma moeda digital emitida pelo banco central. O artigo assume a existência de três propriedades para a moeda: meio de pagamento, reserva de valor e reserva de informação<sup>2</sup>. Além disso, são considerados três tipos de moeda: papel-moeda, depósitos bancários e *moeda digital privada*. De acordo com as conclusões do trabalho, os principais impactos da emissão de uma CBDC ocorrem na política monetária e na política bancária. Na política monetária, uma demanda completa por CBDC tem o potencial de substituição total em relação ao papel-moeda, fazendo com que o *zero lower bound* seja, potencialmente, corrigido. E com relação aos bancos, o risco de oportunidade entre os depósitos bancários e a CBDC será pequeno, mas considerando um processo de desintermediação, há um risco considerável para o modelo de negócios dos bancos. Além disso, o estudo também conclui que há uma probabilidade maior de introdução de uma CBDC caso haja algum tipo de remuneração e o mínimo de anonimidade em relação ao banco central<sup>3</sup>.

Nas próximas seções, aborda-se aspectos teóricos e práticos em relação a política monetária e outras implicações que a emissão de uma CBDC poderá, potencialmente, acarretar na condução da política macroeconômica. Nesse sentido, a discussão se inicia pelo trilema de política macroeconômica. Seguindo para as estratégias de condução da política monetária. E, finalmente, resumindo as potenciais implicações da emissão de uma CBDC no sistema monetário.

## 3.2 Trilema Macroeconômico Interno

As primeiras formulações do trilema macroeconômico foram estabelecidas a partir das contribuições de Fleming (1962) e Mundell (1963), com inspirações no trabalho desenvolvido em Keynes (1930). O trilema da política monetária em economias abertas está estabelecido a partir da ideia de que um mercado de capitais aberto priva o governo de um país da capacidade de atingir, de maneira simultânea, o seu objetivo para a taxa de câmbio e a utilização da política monetária para a execução de outros objetivos econômicos (OBSTFELD; TAYLOR, 2003). Dessa maneira, o trilema surge uma vez que a política monetária pode incluir no máximo dois elementos da *trindade inconsistente*: i. livre movimentação de capitais; ii. taxa de câmbio fixa; e iii. autonomia da política monetária.

Por meio da Figura 10, pode-se traçar as relações *A*, *B* e *C* entre os elementos macroeconômicos propostos. No cenário *A*, a política monetária é relevante para se atingir interesses

<sup>2</sup> Considera-se que um ativo atua como reserva de informação quando as transações feitas por ele são realizadas com anonimidade.

<sup>3</sup> Tanto a remuneração quanto a anonimidade em relação ao banco central são propriedades possíveis de implementação para uma moeda digital emitida pelo banco central com base em símbolo. Ver Seção 2.1.

domésticos quando coexistem taxa de câmbio fixa e livre mobilidade de capitais. Ao executar um regime de taxa de câmbio flutuante, como observado na relação *B*, há uma livre mobilidade de capitais atrelada a efetividade da política monetária, levando-se em consideração a rigidez de alguns preços domésticos. Observa-se que no cenário *C* não há livre mobilidade de capitais e, dessa maneira, um país no qual esteja implementada uma taxa de câmbio fixa pode se descolar das taxas de juros estrangeiras e ter autonomia na política monetária.

Três consequências podem ser derivadas a partir da escolha de uma das estratégias *A*, *B* ou *C*. Tomando as três funções clássicas da moeda - *unidade de conta*, *reserva de valor* e *meio de pagamento* - para interpretar as relações apresentadas pelo trilema, observa-se que caso a autoridade monetária faça a opção por *A*, não exercendo autonomia da política monetária, isso representa a não manutenção da moeda corrente como a única unidade de conta. Caso a opção seja pela relação *B*, a autoridade monetária, ao permitir a flutuação cambial, colabora para a deterioração da função de reserva de valor da moeda corrente, uma vez que a taxa de câmbio passa a ser observada pelos agentes de econômicos como um ativo, estando o nível de preço atrelado as movimentações especulativas. Pela opção *C*, a autoridade monetária escolhe restringir a utilização da moeda como um meio de pagamento, sendo que ela não terá uma atuação livre para a negociação de divisas.

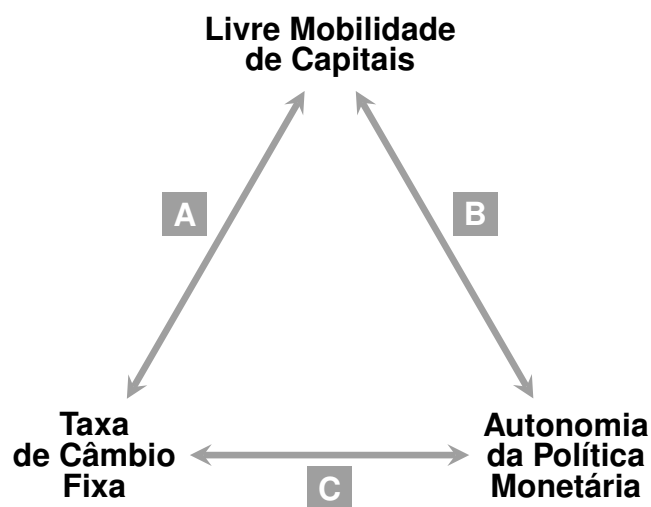


Figura 10 – Trilema da política monetária. Elaborado pelo autor com base em (OBSTFELD; TAYLOR, 2003).

As discussões em torno da determinação da taxa de câmbio avançam desde a controvérsia bulionista, ainda no século XIX. A partir do século XX, a retomada deste debate se deu, principalmente por Fisher e Keynes, estando o argumento central estabelecido pelo conflito entre estabilidade interna (estabilidade do emprego e do nível de preços) e estabilidade externa (equilíbrio da balança de pagamentos e paridade fixa de câmbio).

Restrições comerciais podem atuar como fontes de ineficiência e conflito. Dessa maneira, supondo a ausência de restrições comerciais, é preciso que seja abandonado ao menos um dos



objetivos subjacentes nos conceitos de estabilidade interna e externa. Entretanto, pela construção do argumento, temos que o pleno emprego é o objetivo essencial da política pública; o equilíbrio da balança de pagamentos é uma necessidade de longo prazo; e não existe flexibilidade de preços na economia moderna. Assim, entende-se que a taxa de câmbio deve ser flutuante. Este é um argumento baseado na ilusão monetária. O conceito de ilusão monetária está descrito em Fisher (1919), mas ganhou popularidade através da literatura keynesiana, sendo um conceito que leva em consideração a tendência dos agentes econômicos em não estarem dispostos a aceitar uma variação na renda real através de uma mudança nos preços observados; mas se mostrarem menos relutantes em aceitar a mesma variação na renda real através de ajustes na taxa de câmbio. Sendo assim, um regime de taxa de câmbio flutuante pode ser interpretado como uma maneira eficaz para se promover uma alteração na renda real de forma mais aceitável pela sociedade, dada a ilusão monetária. Rejeitando a hipótese de que a ilusão monetária é um conceito observado no comportamento dos agentes econômicos, o argumento passa a ser o de que não há motivos para a adoção, ou manutenção, de um regime de câmbio flutuante, uma vez que há uma diferença econômica marginal entre executar um ajuste através de modificações na taxa de câmbio ou através dos preços (FRIEDMAN, 1953).

Através da abordagem proposta por Bjerg (2017) temos a construção de um trilema macroeconômico interno, levando em consideração a implementação de uma CBDC. Como apresentado na Figura 11, pode-se observar três elementos principais para esse arranjo de política monetária: *paridade*, *livre convertibilidade* e *soberania monetária*.

O objetivo usual de controle da taxa de câmbio, observado no trilema de Mundell-Fleming, dá lugar a ideia de *paridade*. Esse conceito é construído através de um objetivo doméstico de política monetária para garantir a estabilidade financeira pela manutenção da equivalência entre duas esferas monetárias: a esfera dos depósitos bancários; e a esfera da moeda do banco central (CDBC e papel-moeda).

A autonomia da política monetária em decisões relacionadas a determinação da taxa de juros é traduzida como uma *soberania monetária*, em que o banco central atua no sentido de fazer uso da emissão de uma CBDC não apenas como instrumento monetário que dê suporte ao processo de criação de moeda por parte dos bancos comerciais, mas também como uma ferramenta de política fiscal que seja capaz de auxiliar nos objetivos de estabilidade interna da economia. Assim, o abandono da soberania monetária representa delegar aos bancos comerciais a função de condutores na criação de moeda, o que gera impactos significativos para a estabilidade do sistema financeiro e da economia real, uma vez que a moeda se torna um ativo sujeito à variações especulativas.

A livre mobilidade de capital, na abordagem interna passa a ser entendida como *livre convertibilidade* entre os depósitos bancários e a moeda do banco central. Supondo o acesso universal ao balanço patrimonial do banco central, os agentes econômicos poderão escolher entre manter o dinheiro em formato "digital" no banco central ou nos bancos comerciais.

Assim, ao se propor um sistema monetário competitivo entre dois criadores de moeda (o banco central e os bancos comerciais), há possibilidade de escolha entre apenas dois dos objetivos disposto no trilema macroeconômico interno. No sistema monetário atual, os agentes econômicos têm ocasiões limitadas para que ocorra uma conversão entre depósitos bancários e a moeda do banco central. Em contrapartida, os bancos centrais possuem limitações operacionais para que intervenções que exijam estímulos fiscais sejam feitas de forma direta, como no caso da necessidade de políticas monetárias do tipo *helicopter money*, tal qual as observadas durante a pandemia de Covid-19 iniciada no ano de 2020 e que exigiu um esforço fiscal robusto<sup>4</sup>.

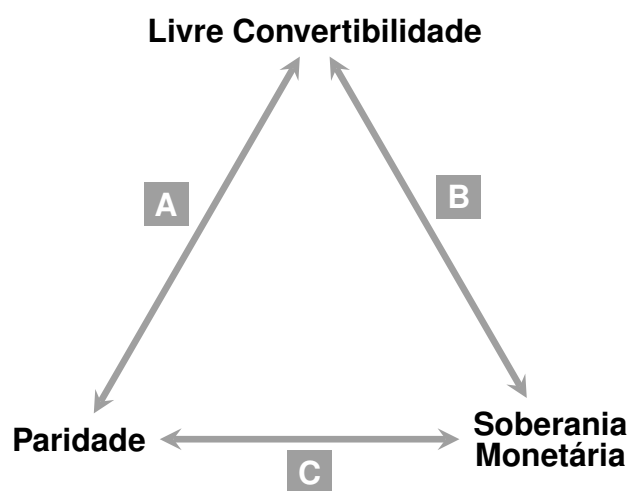


Figura 11 – Trilema macroeconômico interno. Elaborado pelo autor com base em (BJERG, 2017).

### 3.3 Estratégias de Política Monetária

Supondo a emissão de uma CBDC com remuneração atrativa para a posse, as implicações em relação a política monetária são significativas. Quando comparada à outras taxas de juros, torna-se viável que investidores de ativos líquidos e de baixo risco sejam diretamente afetados. Para o caso em que investidores institucionais tenham a possibilidade de posse de um instrumento ilimitado, a taxa de juros sobre tal instrumento poderia ajudar a estabilizar as taxas do mercado monetário em níveis rígidos, uma vez que os juros podem ser transmitidos de forma mais direta através da integração do sistema, como suposto. Por outro lado, a população considerando a CBDC como uma opção alternativa e satisfatória quando comparada aos depósitos em bancos comerciais, faz com que estes bancos tenham margens menores para definir a taxa de juros sobre

<sup>4</sup> Os estímulos fiscais foram instrumentos de política econômica adotados por diversos países durante a pandemia. O governo dos Estados Unidos da América, através do seu Departamento do Tesouro, promoveu o *The Coronavirus Aid, Relief, and Economic Security (CARES) Act* e o *Coronavirus Response and Relief Supplemental Appropriations Act* como ferramentas para garantir a assistência econômica para uma parcela significativa da população (United States Department of the Treasury, 2021), além de ações direcionadas pelo *Federal Reserve* [(Federal Reserve, 2020a), (Federal Reserve, 2020c), (Federal Reserve, 2020b)]. No Brasil, a política de estímulo fiscal adotada pelo governo foi o *Auxílio Emergencial* que teve como prioridade os trabalhadores informais, microempreendedores individuais (MEI), autônomos e desempregados (Governo Federal do Brasil, 2020).

os depósitos do varejo. Como apresentado na literatura recente<sup>5</sup>, a emissão de uma CBDC pode aliviar a taxa de juros nominal de curto prazo próxima de zero (*Zero Lower Bond - ZLB*), em um cenário de redução da preferência pela liquidez, uma vez que, através de uma armadilha da liquidez, o ZLB dificulta o estímulo ao crescimento econômico alavancado pelo banco central.

O estudo proposto por [Barrdear e Kumhof \(2016\)](#) foi um dos primeiros a discutir as implicações macroeconômicas da emissão de uma CBDC. A abordagem utilizada se dá através de um modelo dinâmico estocástico de equilíbrio geral (DSGE)<sup>6</sup>. A estrutura de um estudo que faz uso da modelagem DSGE normalmente adiciona uma distorção a um ponto central observado, começando com derivações algébricas, seguindo para a estimação dos parâmetros e terminando com simulações que apresentam o efeito das distorções em relação as propriedades de equilíbrio geral do modelo. O trabalho obtém resultados significativos, mostrando que a emissão de uma CBDC com uma razão de 30% do PIB, em relação aos títulos públicos, pode proporcionar um crescimento permanente do PIB de mais de 3% ao ano. Esse aumento se dá, entre outros fatores não mensurados, através de reduções na taxa de juros real, na distorção tributária e nos custos de transação<sup>7</sup>. O modelo aponta que regras contracíclicas quantitativas ou de preços para a CBDC, atuando como um segundo instrumento de política monetária, são capazes de aumentar de forma significativa a capacidade do banco central para a estabilização do ciclo de negócios. Para os autores, a política monetária executada a partir da emissão de uma CBDC tem uma estratégia conhecida, levando em consideração que pode ser aplicada a política usual para a determinação da taxa de juros nominal de curto prazo ( $i$ ). O segundo instrumento de política monetária apresentado no modelo está atrelado ao modo com que a CBDC será emitida. Considera-se uma regra para o volume da emissão monetária, em que o banco central estabelece uma razão CBDC/PIB a partir de um valor médio  $\overline{m}^{rat}$  ao longo do ciclo, permitindo uma variação anticíclica.

Assume-se que a regra de preço para o retorno financeiro sobre a CBDC segue uma variação estabelecida por

$$i_{m,t} = \frac{i_t}{\text{spread}} \left( \frac{\pi_{4,t+3}^p}{(\bar{\pi}^p)^4} \right)^{-i_{\pi^p}^m}, \quad (3.1)$$

em que a versão base para a regra de preço considera  $i_{\pi^p}^m = 0$ , implicando que o spread da taxa

<sup>5</sup> Ver em [Bordo e Levin \(2017\)](#) e [Rogoff \(2017\)](#)

<sup>6</sup> Os modelos DSGE fazem parte de exercícios teóricos poderosos, mas é necessário levar em consideração que eles possuem algumas características que o tornam uma opção menos atrativa para a modelagem econômica. Como aponta [Blanchard \(2016\)](#), pode-se destacar: (i) suposições não realistas. Boa parte dos modelos econômicos possuem suposições simplificadoras, entretanto, os modelos DSGE possuem suposições que vão em desentorno com o conhecimento atual sobre o comportamento dos consumidores e das firmas como, por exemplo, a ideia de consumidores com um período de vida infinito; (ii) o método de estimação utilizado, unindo *calibração* e estimação Bayesiana, não é convincente; (iii) Embora os modelos possam ser usados formalmente para fins normativos, as implicações normativas não são convincentes; e (iv) os modelos DSGE são instrumentos de comunicação ruins.

<sup>7</sup> Como descrito no Capítulo 2, o custo de emissão de papel-moeda no Brasil é bastante significativo, chegando a 90 bilhões de reais anuais, ou aproximadamente 1.3% do PIB.

básica de juros em relação a taxa de remuneração do CBDC é fixo em 1. Com isso, qualquer mudança na demanda por CBDC refletirá unicamente na quantidade de CBDC, a menos que tenha algum reflexo na taxa básica. Para  $i_{\pi^p}^m > 0$ , a expectativa de inflação está acima da meta e, assim, a taxa de retorno da CBDC se estabelece abaixo da taxa básica de juros. *Ceteris paribus*, nesse caso temos uma CBDC menos atrativa para posse, havendo uma troca entre CBDC e títulos públicos.

Proposta em [Taylor \(1993\)](#), a regra de Taylor é uma formulação algébrica definida por

$$i_t = i^* + \alpha(\pi_t - \pi^*) - \beta(u_t - u_n), \quad (3.2)$$

em que  $\pi$  é a taxa de inflação;  $\pi^*$  é a meta para a taxa de inflação;  $i_t$  é a taxa de juros nominal controlada pelo banco central;  $i^*$  é a taxa de juros nominal associada à taxa de juros neutra  $r_n$  e a  $\pi^*$ , considerando  $i^* = r_n + \pi^*$ ;  $u_t$  é a taxa de desemprego e  $u_n$  é a taxa de juros natural. Os coeficiente  $\alpha$  e  $\beta$  são positivos e definidos pelo banco central.

A utilização de uma estratégia similar a Regra de Taylor foi proposta por [Bordo e Levin \(2017\)](#) para o caso de uma CBDC, como uma alternativa simples para a preocupação do banco central com a estabilidade de preços e estabilização da atividade real. O modelo exemplificado é dado através da seguinte equação

$$i_t = \tilde{\pi}_t + r_t^* + \alpha(\tilde{p}_t - p^*) + \beta(p_t - p^*) + \delta(y_t - y_t^*) \quad (3.3)$$

em que  $i_t$  expressa a taxa de retorno da CBDC;  $p_t$  é o nível de preços,  $p^*$  é a meta de nível de preços,  $\tilde{p}_t$  é uma media central para o nível de preços e  $\tilde{\pi}_t$  é a taxa central de inflação;  $r_t^*$  representa a taxa de juros real de equilíbrio; e  $(y_t - y_t^*)$  é o hiato do produto. A resposta dos retornos deve ser maior para as medidas centrais do que para as flutuações em torno do nível de preços, ou seja,  $\alpha > \beta > 0$ , respondendo de maneira apropriada também as flutuações observadas no hiato do produto, com  $\delta > 0$ .

Uma abordagem mais robusta que pode ser utilizada como estratégia de política monetária para a CBDC é uma regra de segmentação para o nível de preço ([BORDO; LEVIN, 2017](#)). Tal regra pode ser estabelecida através dos desvios do nível de preços em relação à meta e também do desvio da atividade econômica da sua trajetória de longo prazo, ressaltando que a regra não envolve diretamente a CBDC. Contudo, esse tipo de abordagem leva em consideração que a autoridade monetária possui amplo conhecimento sobre a dinâmica existente entre a taxa básica de juros e o comportamento tanto do nível de preços como da atividade econômica, ou seja, pressupondo a compreensão do mecanismo de transmissão monetária<sup>8</sup>.

<sup>8</sup> Como exposto em [Bordo e Levin \(2017\)](#), a experiência mostra que não há tanto conhecimento em relação a esse processo de transmissão, sendo a implementação de uma CBDC um canal possível para expandi-lo. Com isso, o caminho possível foi o de estabelecer uma estratégia baseada em uma regra mais simples, como a Regra de Taylor.

## 3.4 Resumo

A condução da política monetária é um elemento-chave para a determinação efetiva das condições necessárias para o crescimento e desenvolvimento de um país. Dessa maneira, este capítulo buscou investigar quais são as discussões iniciais relacionadas com a condução da política monetária a partir da emissão de uma moeda digital pelo banco central.

Observou-se na literatura que alguns pontos podem tornar a CBDC mais ou menos atraente para posse, como a possibilidade de remuneração em juros e o nível de acessibilidade da moeda. Optando-se por um sistema integrado de decisões por parte da autoridade monetária as possibilidades de controle em relação, por exemplo, ao mecanismo de transmissão da taxa de juros aumenta - dado o acesso imediato do banco central a um grande volume de transações e a atuação direta nos parâmetros do sistema que opera a CDBC.

Em relação às políticas fiscais, o banco central emissor de uma CBDC poderá melhorar a sua capacidade de intervenção direta na economia através de estímulos fiscais. Essa necessidade se tornou mais clara durante a pandemia da Covid-19, quando governos precisaram realizar transferências unilaterais de renda para uma parcela considerável da população. No caso brasileiro este processo foi facilitado por meio da atuação dos bancos públicos. Mas em economias em que os bancos públicos não existam ou tenham uma participação pequena no mercado, esse processo possui níveis de complexidade maiores.

Em relação a estratégia de política monetária, os bancos centrais poderão continuar atuando a partir de instrumentos similares a regra de Taylor e avançar no sentido de instrumentos que levem em consideração o comportamento/remuneração da CBDC como, por exemplo, a partir de regras em que a taxa básica de juros da economia será a taxa de remuneração da CDBC.



# 4 Análise e Previsão do Grau de Monetização da Economia Brasileira

## 4.1 Introdução

O grau de monetização da economia é representado neste estudo pela razão entre o total de moeda em poder do público e depósitos à vista e o total de moeda aplicado em ativos que rendem juros. Os dois elementos presentes nesta razão fazem parte dos denominados agregados monetários, séries temporais que representam uma agregação de formas distintas de moedas para diferentes níveis de liquidez, usualmente em uma ordenação decrescente a partir dos ativos de maior liquidez para os de menor liquidez.

Séries temporais estão presentes de forma abundante nos fenômenos econômicos e se tornaram, ao longo dos anos, objeto de interesse tanto para a comunidade acadêmica como para a indústria [(MAKRIDAKIS; HIBON, 2000), (MAKRIDAKIS et al., 2020) e (MAKRIDAKIS et al., 2021)]. Por definição, trata-se série temporal como um conjunto de observações dispostos ao longo do tempo. A unidade de tempo pode variar, mas os dados econômicos usualmente se apresentam mensal, trimestral ou anualmente. Tratando-se dos dados financeiros é comum que estejam dispostos em "alta frequência", ou seja, em valores observados em um dia, uma hora, um minuto... - como a cotação de uma determinada ação na bolsa de valores ou a taxa de câmbio entre divisas.

A previsão de séries temporais possui abordagens metodológicas que se apresentam através de diferentes classes de modelos e métodos. Uma abordagem univariada pode ser construída através dos modelos clássicos, amplamente aplicados na previsão de séries econômicas. Os mais conhecidos dessa classe são os modelos de Box & Jenkins (BOX et al., 2015), que em uma forma ampliada leva em consideração a sazonalidade que pode ser identificada em uma série através da função de autocorrelação. Os modelos de suavização exponencial [(HOLT, 1957), (WINTERS, 1960)] também são abordagens metodológicas com aplicações diversas aos dados reais, tomando equações de suavização de nível, tendência e sazonalidade e que são capazes de se ajustar de forma significativa a dados trimestrais. A classe de modelos de estado de espaços (WEST; HARRISON, 2006) é outra que possui grande relevância e aplicabilidade para dados econômicos e financeiros. Um expoente dessa classe são os modelos lineares dinâmicos que, por meio de um arcabouço Bayesiano robusto e sofisticado, são capazes de gerar resultados expressivos, como proposto em Costa, Silva e Coelho (2020).

Com o avanço da capacidade computacional a partir da segunda década do século XXI, os modelos de redes neurais artificiais ganharam espaço e escala em relação às suas áreas de aplicação. Sendo estas ferramentas eficientes para exercícios de previsão de séries temporais.

Levando em consideração que o grau de monetização de uma economia é uma variável de interesse para se investigar o comportamento dos agentes econômicos em relação aos meios de pagamento restritos e a poupança financeira da economia, este capítulo estima o impacto de variáveis macroeconômicas no grau de monetização da economia brasileira para o período de dezembro de 2001 a janeiro de 2021 e realiza um exercício de previsão por meio de modelos de aprendizado profundo. Dessa maneira, o capítulo sintetiza o comportamento esperado do grau de monetização a partir de variáveis macroeconômicas, define a metodologia utilizada, apresenta e discute os resultados obtidos para o modelo estimado e, por fim, resume os principais resultados.

## 4.2 Agregados Monetários

Para se calcular o grau de monetização da economia são utilizados dois componentes que pertencem aos denominados Agregados Monetários (AM): meios de pagamentos restritos e poupança financeira. Os AM são séries históricas que representam uma agregação de formas diferentes de moeda para diferentes níveis de liquidez, usualmente em uma ordenação decrescente a partir dos ativos de maior liquidez para os de menor liquidez<sup>1</sup> (SIMONSEN; CYSNE, 2009). A ideia de uma hierarquia estabelecida a partir do grau de liquidez dos ativos de uma economia está presente em Hicks (1967) através dos conceitos de ativos plenamente líquidos, líquidos e ilíquidos<sup>2</sup>. Entretanto, o limiar entre o grau de liquidez dos ativos pode ser menos claro a partir da forma de organização do mercado e das conseqüentes características inerentes a este mercado.

As autoridades monetárias, na figura dos bancos centrais, são responsáveis pela emissão de moeda nos países que possuem uma moeda corrente própria. Entretanto, como descrito em Carvalho et al. (2012, p.19), considera-se como emissão monetária apenas a parcela dos recursos emitidos que consta como encaixes bancários e papel-moeda em poder do público. A parcela que permanece no caixa do banco central não é legalmente considerada moeda.

A composição dos meios de pagamento restritos (M1) ocorre através do somatório entre o volume de papel-moeda em poder do público e dos depósitos à vista. Estes são considerados ativos de plena liquidez, levando-se em consideração que realizam de forma completa a função de reserva de valor, podendo liquidar dívidas formadas através de contratos formais ou obrigações que a partir de transações no mercado à vista (CARVALHO et al., 2012).

A composição da poupança financeira (M4) de uma economia é formada pela soma dos

<sup>1</sup> Nota-se que o sistema monetário e financeiro contemporâneo possui instrumentos financeiros com alta liquidez e rendimentos em juros, como é o caso das contas de poupança.

<sup>2</sup> Além da própria moeda, os ativos plenamente líquidos são aqueles que podem ser convertidos em moeda sem custos de transação significativos e sem atrasos. Os ativos líquidos são aqueles transacionados em mercados organizados e com regras de negociação bem definidas, como horários e datas agendadas para que as trocas possam ocorrer. Os agentes usualmente adquirem ativos líquidos com a expectativa de valorização futura destes, mesmo que exista algum custo de carregamento, como é o caso de obras de arte e títulos públicos. Os ativos ilíquidos são aqueles em que a sua negociação ocorre em mercados não organizados, sendo o preço de revenda menor do que o preço de aquisição, como bens de consumo duráveis em posse dos indivíduos ou equipamentos de capital em posse das empresas.



títulos públicos de alta liquidez e dos meios de pagamento ampliados. Por sua vez, os meios de pagamentos ampliados são determinados através da soma entre os meios de pagamento restritos e os depósitos especiais remunerados, os depósitos de poupança, os títulos emitidos por instituições depositárias, as quotas dos fundos de renda fixa e as operações compromissadas registradas no Selic.

O grau de monetização da economia pode ser influenciado através de um movimento de busca por segurança por parte dos agentes econômicos, isto é, quando há aumento do risco relacionado ao comportamento futuro da economia os agentes econômicos buscam proteger o seu capital através de ativos mais ou menos líquidos, a depender da característica do fenômeno que impactará o comportamento econômico esperado. Dessa maneira, a Tabela 3 sintetiza o efeito esperado de certas variáveis em relação a M1 e M4 e, conseqüentemente, no grau de monetização da economia.

<b>Comportamento Esperado</b>	<b>M1</b>	<b>M4</b>	<b>M1/M4</b>
Quando há um <i>aumento da inflação</i> se supõe que os agentes tendem a migrar de ativos mais líquidos (que não rendem juros) para ativos menos líquidos (que rendem juros). Assim, ocorre uma redução nos meios de pagamento restritos e uma expansão da poupança financeira, provocando o efeito esperado de uma redução no grau de monetização da economia.	↓	↑	↓
Quando há um <i>aumento da taxa de câmbio</i> se supõe que os agentes tendem a migrar de ativos mais líquidos (que não rendem juros) para ativos menos líquidos (que rendem juros). Assim, ocorre uma redução nos meios de pagamento restritos e uma expansão da poupança financeira, provocando o efeito esperado de uma redução no grau de monetização da economia.	↓	↑	↓
Quando há um <i>aumento da taxa de crescimento do produto interno bruto</i> se supõe que os agentes tendem a migrar de ativos menos líquidos (que rendem juros) para ativos mais líquidos (que não rendem juros). Assim, ocorre uma expansão nos meios de pagamento restritos e uma redução da poupança financeira, provocando o efeito esperado de uma redução no grau de monetização da economia.	↑	↓	↑
Quando há um <i>aumento da taxa Selic</i> se supõe que os agentes tendem a migrar de ativos mais líquidos (que não rendem juros) para ativos menos líquidos (que rendem juros). Assim, ocorre uma redução nos meios de pagamento restritos e uma expansão da poupança financeira, provocando o efeito esperado de uma redução no grau de monetização da economia.	↓	↑	↓

Tabela 3 – Comportamento esperado no comportamento do grau de monetização a partir do comportamento de variáveis macroeconômicas.

## 4.3 Metodologia

Esta seção apresenta a metodologia utilizada neste trabalho. Inicia-se pela descrição das variáveis selecionadas, investigando os componentes de nível, tendência e sazonalidade presentes no grau de monetização da economia brasileira, bem como um resumo estatístico para as variáveis.

Para estimar o efeito de variáveis macroeconômicas no grau de monetização da economia foi definido um modelo de regressão linear múltipla (MLR) que considera como variáveis independentes a taxa de inflação, a taxa de crescimento do produto interno bruto, a taxa de câmbio do real em relação ao dólar e a taxa básica de juros para a economia brasileira (Selic), investigando qual é a variação esperada no grau de monetização a partir de um aumento marginal nas variáveis independentes.

Por fim, esta seção descreve os modelos de aprendizado profundo utilizados com a finalidade de prever o grau de monetização da economia brasileira a partir da construção do modelo explicativo para este fenômeno e defini a estratégia empírica que orienta os resultados. Foram consideradas para investigação os modelos *Multilayer Perceptron*(MLP), *Long Short-term Memory*(LSTM) e *Gated Recurrent Unit*(GRU), com variações no número de nós presentes na camada oculta.

### 4.3.1 Descrição dos Dados

Para a condução dos experimentos foram selecionadas as variáveis listadas abaixo, descritas na Tabela 4 e apresentadas na Figura 12. Todos os dados foram obtidos através do Sistema Gerenciador de Séries Temporais do BCB, em sua versão 2.1 ([Banco Central do Brasil, 2021c](#)). Observa-se que as variáveis possuem 229 observações, sendo utilizada uma amostra de tamanho 12 como conjunto de teste - fevereiro de 2020 a janeiro de 2021.

- M1 - Meios de pagamento restritos (saldo em final de período) - u.m.c. (mil). Fonte: BCB
- M4 - Poupança financeira. Meios de pagamento amplos - (saldo em final de período) - u.m.c. (mil) Fonte: BCB
- IPCA - Índice de preços ao consumidor amplo. Fonte: IBGE
- SELIC - Taxa de juros, Selic acumulada no mês. Fonte: BCB/Demab
- PIB - Taxa de crescimento do produto interno bruto mensal a valores correntes. Fonte: BCB-Depec
- E - Taxa de câmbio para o real em relação ao dólar americano. Fonte: Sisbacen PTAX800

	M1	M4	IPCA	PIB	E	SELIC
No. Observações	229	229	229	229	229	229
Média	254412701.2620	3560907502.4934	0.4925	0.0083	2.7555	0.9401
Desvio Padrão	118050957.9182	2221602631.0116	0.3897	0.0370	0.9576	0.3858
Mínimo	74996003.0000	753801974.0000	-0.3800	-0.1153	1.5600	0.1500
25%	147551340.0000	1449901658.0000	0.2600	-0.0147	2.0200	0.6900
50%	262523711.0000	3236156038.0000	0.4400	0.0070	2.4200	0.9100
75%	326435805.0000	5419606850.0000	0.6400	0.0339	3.2800	1.1600
Máximo	641107547.0000	8454294566.0000	3.0200	0.1015	5.7700	2.0800

Tabela 4 – Resumo estatístico para as variáveis em análise.

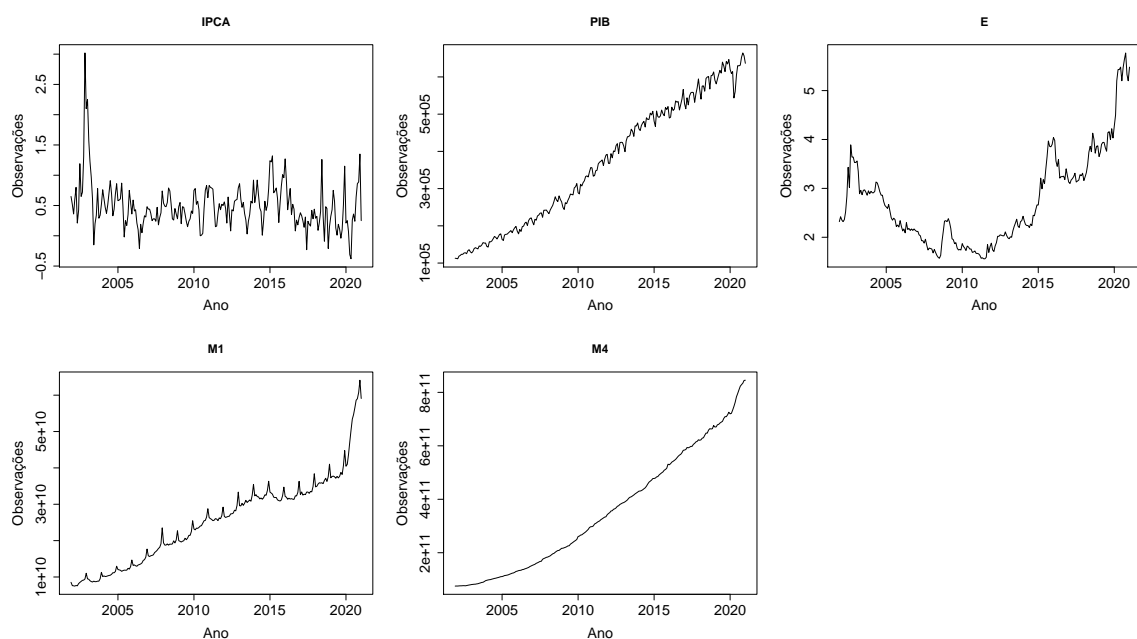


Figura 12 – Gráfico das variáveis selecionadas.

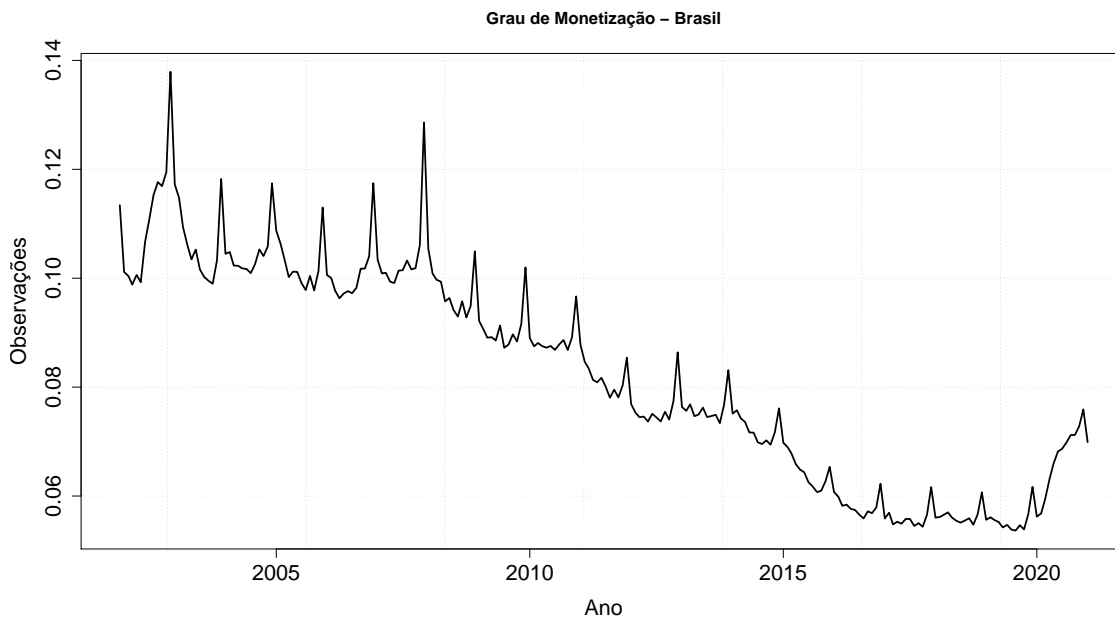


Figura 13 – Grau de monetização da economia brasileira entre dezembro de 2021 e janeiro de 2021. Elaborado pelo autor.

### 4.3.2 Modelo

Para investigar os elementos que afetam o grau de monetização da economia brasileira e o sinal desses efeitos, utilizou-se uma estratégia de regressão com a finalidade de mensurar o nível de explicabilidade que variáveis macroeconômicas exercem sobre o fenômeno analisado. Um modelo de regressão múltipla para  $n$  variáveis pode ser definido por meio da equação

$$y_n = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \dots + \beta_n x_n + \epsilon_n \quad (4.1)$$

em que  $\beta_0$  é o intercepto,  $\beta_1$  é o parâmetro associado à variável  $x_1$ ,  $\beta_2$  é o parâmetro associado à variável  $x_2$ , e assim por diante. Enquanto que  $\epsilon$  é o erro associado ao modelo. Dessa maneira,  $\beta_0$  é o valor esperado de  $y$  quando as demais variáveis independentes são consideradas nulas,  $\beta_1$  é a variação esperada em  $y$  quando se considera um aumento unitário na variável  $x_1$ , permanecendo todas as outras variáveis constantes e, assim,  $\beta_n$  representa a variação esperada em  $y$  dado um incremento unitário na variável  $x_n$ , permanecendo todas as outras variáveis independentes constantes. Esta estratégia se mostra útil uma vez que se pode controlar simultaneamente as variáveis que afetam a variável dependente (WOOLDRIDGE, 2015).

Os pressupostos da regressão linear múltipla a serem validados através da estimação do modelo são: (i) homoscedasticidade dos erros; (ii) ausência de multicolinearidade entre as variáveis independentes; e (iii) normalidade dos erros. O primeiro pressuposto a ser investigado diz que os erros  $\epsilon_n$  são variáveis aleatórias que possuem uma variância ( $\sigma^2$ ) constante. O segundo pressuposto diz que as variáveis independentes ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) não são correlacionadas entre

si. E o terceiro pressuposto diz que os erros  $\epsilon_n$  se aproximam de uma distribuição normal,  $\epsilon \sim N(0, \sigma^2)$ .

Assim, considerou-se a razão entre M1 e M4 a variável explicada e as variáveis explicativas a taxa de crescimento do produto interno bruto, a inflação, a taxa de câmbio do real em relação ao dólar americano e a taxa baásica de juros da economia brasileira (Selic). Dessa maneira, o modelo<sup>3</sup> proposto é dado por

$$\mathcal{GM} = \beta_0 + \beta_1\eta + \beta_2\pi + \beta_3\omega + \beta_4\gamma + \epsilon \quad (4.2)$$

em que a função que explica a variável dependente  $\mathcal{GM}$  possui  $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  como os parâmetros associados às variáveis explicativas taxa de crescimento do produto interno bruto ( $\eta$ ), taxa de inflação ( $\pi$ ), taxa de câmbio ( $\omega$ ) e taxa selic ( $\gamma$ ), além de outras variáveis não observáveis que estão contidas em  $\epsilon$ . Com isso, o modelo busca analisar qual é a variação esperada no grau de monetização da economia dado um incremento unitário nas variáveis independentes selecionadas para a análise.

### 4.3.3 Redes Neurais Artificiais

Para analisar a capacidade de previsão dos modelos de redes neurais artificiais para o grau de monetização da economia brasileira foram utilizadas os modelos *Multilayer Perceptron* (MLP), *Long Short-Term Memory* (LSTM) e *Gated Recurrent Unit* (GRU). Os modelos de redes neurais artificiais surgem como uma tentativa de aproximar o funcionamento de um cérebro biológico através de uma função matemática<sup>4</sup>. Nesse tipo de modelagem usualmente são consideradas três camadas de operação: a camada de entrada, a camada oculta e a camada de saída. A camada de entrada é representada como um vetor que concatena as variáveis que serão utilizadas no processo de treinamento do modelo. A camada oculta possui nós que são responsáveis por combinações lineares que se iniciam através de uma função de ativação. E por fim, a camada de saída é aquela na qual os resultados são visualizados. Graficamente, estas três camadas de um modelo de aprendizado profundo pode ser representados como na Figura 14.

<sup>3</sup> A estimação dos parâmetros proposta para esta análise foi o método de mínimos quadrados ordinários (Apêndice A).

<sup>4</sup> Ver a discussão seminal de Rumelhart e McClelland (1987) e McCulloch e Pitts (1943).

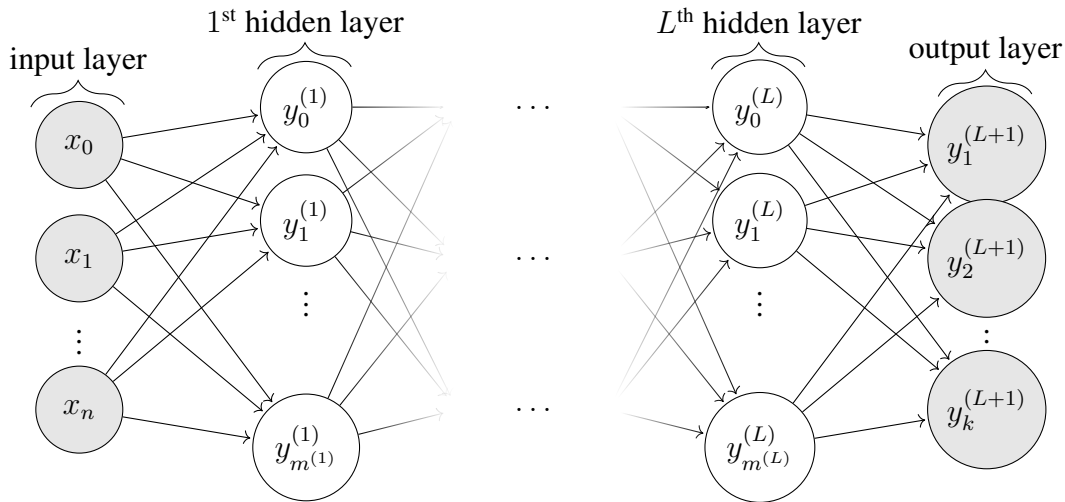


Figura 14 – Representação de um rede neural profunda com  $(L+1)$ -camadas,  $n$  nós na camada de entrada e  $k$  nós na camada de saída. A  $l^{\text{th}}$  camada oculta possui  $m^{(l)}$  nós. Elaborado pelo autor.

O modelo LSTM é um tipo especial de *Recurrent Neural Network* (RNN), desenvolvido por Hochreiter e Schmidhuber (1997). As RNN possuem uma arquitetura útil para dados organizados em séries temporais, uma vez que cada nó utiliza a sua "memória" interna para preservar a informação que pertence a entrada anterior. Um dos problemas de maior relevância para uma RNN simples está no *problema de desaparecimento do gradiente*, sendo esta uma incapacidade de captura de dependência de longo prazo observadas na série temporal, isto é, as conexões recorrentes permitem que uma "memória" de entradas anteriores persista no estado interno da rede, influenciando a saída da rede (GRAVES, 2012). Assim, a LSTM é uma estratégia de solução para este problema, uma vez que ela considera as dependências de longo prazo que estão presentes na série temporal. A Figura 15 representa o bloco de memória para um modelo LSTM que possui apenas uma célula.

Como descrito em Sak, Senior e Beaufays (2014), para cada elemento na sequência de entrada, cada camada irá computar as equações

$$\begin{aligned}
 i_t &= \sigma(W_{ii}x_t + b_{ii} + W_{hi}h_{t-1} + b_{hi}) \\
 f_t &= \sigma(W_{if}x_t + b_{if} + W_{hf}h_{t-1} + b_{hf}) \\
 g_t &= \tanh(W_{ig}x_t + b_{ig} + W_{hg}h_{t-1} + b_{hg}) \\
 o_t &= \sigma(W_{io}x_t + b_{io} + W_{ho}h_{t-1} + b_{ho}) \\
 c_t &= f_t \odot c_{t-1} + i_t \odot g_t \\
 h_t &= o_t \odot \tanh(c_t)
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

em que  $h_t$  o estado oculto para o tempo  $t$ ,  $c_t$  é a célula de estado para o tempo  $t$ ,  $x_t$  é a entrada para o tempo  $t$ ,  $h_{t-1}$  é o estado oculto da camada no tempo  $t-1$  ou o estado inicial para o tempo 0, e  $i_t$ ,  $f_t$ ,  $g_t$ ,  $o_t$  são os *gates* de entrada, esquecimento, célula e saída.  $\sigma$  é a função de ativação

(sigmoide), e  $\odot$  é o produto de Hadamard. Considerando um LSTM com múltiplas camadas, a entrada  $x_t^{(l)}$  para a  $l$ -ésima camada ( $l \geq 2$ ) é o estado oculto  $h_t^{(l-1)}$  da camada anterior multiplicada pelo *dropout*  $\delta_t^{(l-1)}$ , em que cada  $\delta_t^{(l-1)}$  é uma variável aleatória de Bernoulli em que 0 é a probabilidade do *dropout*.

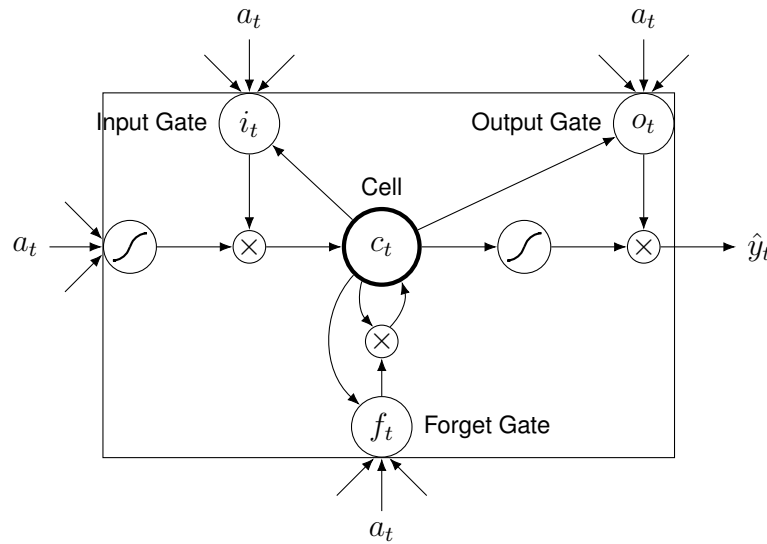


Figura 15 – Bloco de memória para um modelo LSTM com uma célula. Elaborado pelo autor.

Proposto por [Cho et al. \(2014\)](#), o modelo GRU possui apenas dois *gates*: um *gate* de redefinição e um *gate* de atualização. Assim como um modelo LSTM, um GRU busca resolver o *problema de desaparecimento do gradiente*. Isso ocorre através de dois vetores (*gates*) que decidem quais informações irão ser levadas até a saída e quais não serão. Dessa maneira, a estrutura do modelo permite capturar a dependência de um volume considerável de dados sem que as informações anteriores do modelo sejam descartadas, e isto de forma adaptativa. Para cada elemento da sequência de entrada, cada camada irá computar

$$\begin{aligned}
 r_t &= \sigma(W_{ir}x_t + b_{ir} + W_{hr}h_{(t-1)} + b_{hr}) \\
 z_t &= \sigma(W_{iz}x_t + b_{iz} + W_{hz}h_{(t-1)} + b_{hz}) \\
 n_t &= \tanh(W_{in}x_t + b_{in} + r_t * (W_{hn}h_{(t-1)} + b_{hn})) \\
 h_t &= (1 - z_t) \odot n_t + z_t \odot h_{(t-1)}
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

em que  $h_t$  é a camada de estado no tempo  $t$ ,  $x_t$  é a entrada no tempo  $t$ ,  $h_{(t-1)}$  é o estado oculto da camada no tempo  $t - 1$  ou o estado oculto inicial no tempo 0, e  $r_t$ ,  $z_t$ ,  $n_t$  são os *gates* de reinício, atualização e novos *gates*.  $\sigma$  é a função de ativação (sigmoide), e  $\odot$  é o produto de Hadamard. Em um GRU de multicamadas, a entrada  $x_t^{(l)}$  da  $l$ -ésima camada ( $l \geq 2$ ) é o estado oculto  $h_t^{(l-1)}$  da camada anterior multiplicado pelo *dropout*  $\delta_t^{(l-1)}$  em que  $\delta_t^{(l-1)}$  é uma variável aleatória Bernoulli em que 0 é a probabilidade do *dropout*.

#### 4.3.4 Estratégia Empírica

A estratégia empírica proposta neste trabalho está apresentada na Figura 16. Após a definição do comportamento esperado para a variável dependente, as variáveis independentes são selecionadas. Com a seleção das variáveis se estima um modelo explicativo para a variável dependente, investigando a adequação do resultados aos pressupostos do modelo e à significância estatística das variáveis.

Caso o modelo construído seja validado, as variáveis explicativas são utilizadas como entradas para a previsão da variável dependente através dos modelos de aprendizado profundo. E se o modelo não for validado como sendo útil para explicar a variável dependente, novos modelos devem ser estimados e as premissas reavaliadas.

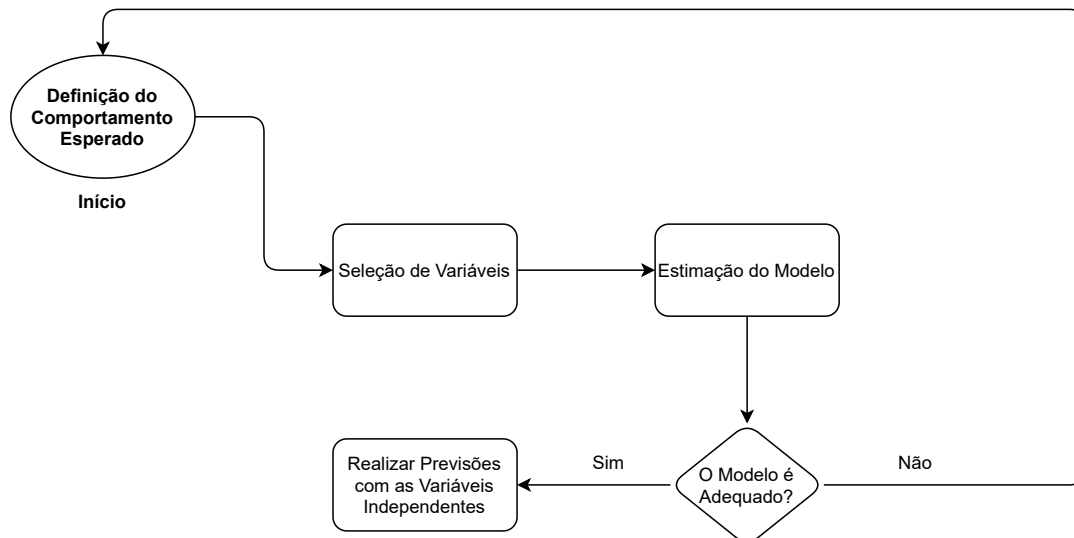


Figura 16 – Fluxograma da estratégia empírica. Elaborado pelo autor.

## 4.4 Resultados e Discussão

Esta seção apresenta a discussão e os principais resultados encontrados neste estudo. O primeiro tema a ser analisado diz respeito a regressão múltipla estimada considerando o grau de monetização da economia como variável dependente e tendo como variáveis explicativas a taxa de crescimento produto interno produto mensal para o Brasil, a taxa de inflação mensal capturada através do índice de preços ao consumidor amplo (IPCA), a taxa de câmbio para o real brasileiro em relação ao dólar americano e a taxa básica de juros (Selic). Após a análise da regressão, apresenta-se o desempenho preditivo para os modelos de aprendizado profundo considerados.



#### 4.4.1 Estimação do Grau de Monetização da Economia Brasileira

Para mensurar o grau de monetização da economia brasileira foram utilizadas quatro variáveis independentes estimadas através do método de mínimos quadrados ordinários. A Tabela 5 sintetiza alguns resultados para a RLM. Nota-se que o coeficiente de determinação múltipla ( $R^2$ ) mostra um ajuste razoável dos dados em relação a reta de regressão estimada, sendo o modelo capaz de explicar 51,8% da mudança na variável dependente.

<b>Variável Dependente:</b>	$\mathcal{GM}$	<b>R-quadrado:</b>	0.518
<b>Modelo:</b>	MQO	<b>Adj. R-quadrado:</b>	0.510
<b>Método:</b>	Mínimos Quadrados	<b>F-statistic:</b>	60.25
<b>Data:</b>	Terça, 07 Dezembro 2021	<b>Prob (F-statistic):</b>	1.76e-34
<b>Hora:</b>	14:44:27	<b>Log-Likelihood:</b>	660.05
<b>No. Observações:</b>	229	<b>AIC:</b>	-1310.
<b>Graus de Liberdade:</b>	224	<b>BIC:</b>	-1293.
<b>Df Modelo:</b>	4		
<b>Tipo de Covariância:</b>	nonrobust		

Tabela 5 – Resultados para a regressão linear múltipla estimada através de MQO.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 6, observa-se que o modelo proposto para explicar o grau de monetização da economia brasileira através de variáveis macroeconômicas pode ser escrito da seguinte maneira:

$$\mathcal{GM} = 0.0728 + (0.0079 * IPCA) + (0.0103 * PIB) + (-0.0067 * E) + (0.0258 * SELIC) \quad (4.5)$$

O valor esperado para o grau de monetização da economia brasileira quando as variáveis independentes são consideradas nulas é igual a 0.0728. A variação esperada em  $\mathcal{GM}$  quando ocorre um incremento unitário no IPCA é igual a 0.0079, ou seja, para cada uma unidade adicional no IPCA se espera que o grau de monetização da economia brasileira aumente em média 0.0079. Da mesma forma, dado o aumento de uma unidade adicional na taxa de crescimento do produto interno bruto, o grau de monetização da economia brasileira tem uma redução esperada de -0,0103. O aumento de uma unidade adicional para a taxa de câmbio provoca uma redução esperada no grau de monetização de -0.0067. E, por fim, o incremento marginal na taxa Selic provoca um aumento esperado no grau de monetização de 0.0258.

Verificando o p-valor para a estatística  $t$ , nota-se que se pode rejeitar a hipótese nula de que o coeficiente possui um efeito nulo para o caso das variáveis IPCA, taxa de câmbio, Selic, além da variável constante. Porém, o p-valor para a variável taxa de crescimento do produto interno bruto mostra que as mudanças no grau de monetização da economia não estão associadas à ela, sendo esta não estatisticamente significativa.

	coef	std err	t	P>  t	[0.025	0.975]	Significativo	GM
<b>const</b>	0.0728	0.004	17.704	0.000	0.065	0.081	Sim	
<b>IPCA</b>	0.0079	0.002	3.232	0.001	0.003	0.013	Sim	↑
<b>PIB</b>	-0.0103	0.025	-0.419	0.676	-0.059	0.038	Não	↓
<b>E</b>	-0.0067	0.001	-6.698	0.000	-0.009	-0.005	Sim	↓
<b>SELIC</b>	0.0258	0.003	10.015	0.000	0.021	0.031	Sim	↑

Tabela 6 – Coeficientes estimados para a regressão linear múltipla.

Um ponto de destaque a ser considerado é a presença de multicolinearidade forte, com *Cond. No.* > 30. Dessa maneira há presença de correlação entre as variáveis independentes e entre as variáveis independentes e a variável dependente. Uma das consequência da multicolinearidade está no aumento do erro padrão e, assim, variáveis significativas podem se tornar não estatisticamente significativas. Considerando este problema, o coeficiente para a variável taxa de crescimento do produto interno bruto (não estatisticamente significativa) poderia ser significativa para o grau de monetização da economia.

Em uma distribuição normal os coeficientes de assimetria e curtose são, respectivamente 0 e 3. Dessa maneira, os coeficientes observados para os resíduos da regressão se aproximam dos coeficientes de uma distribuição normal. Através do teste de normalidade de Jarque-Bera<sup>5</sup> (que utiliza os coeficientes de assimetria e curtose como parâmetros) a hipótese nula de normalidade dos resíduos é aceita ( $p - valor > 0,05$ ) para a regressão linear múltipla estimada para o grau de monetização da economia brasileira.

<b>Omnibus:</b>	2.378	<b>Durbin-Watson:</b>	0.195
<b>Prob(Omnibus):</b>	0.305	<b>Jarque-Bera (JB):</b>	2.030
<b>Assimetria:</b>	0.114	<b>Prob(JB):</b>	0.362
<b>Curtose:</b>	2.599	<b>Cond. No.</b>	87.9

Tabela 7 – Estatísticas e testes para a regressão linear múltipla.

#### 4.4.2 Desempenho Preditivo

Para mensurar o desempenho preditivo dos modelos foram realizadas simulações a partir da mudança dos parâmetros arbitrários utilizados para o treinamento do modelo. Assim, as simulações para os modelos MLP, LSTM e GRU consideraram 5, 10 e 20 camadas ocultas. Além disso, o número de épocas foi fixado em 120 para cada simulação e otimizador ADAM foi utilizado.

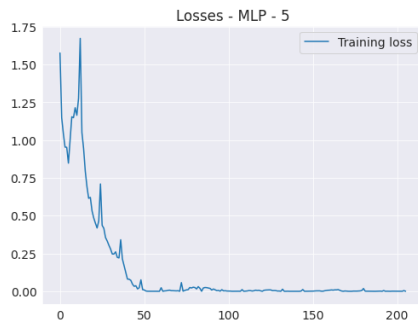
<sup>5</sup> Ver [Jarque e Bera \(1980\)](#).

A variação no número de nós na camada de entrada busca avaliar se um erro menor pode ser alcançado através de redes menos profundas. Como observa-se na Tabela 8, o modelo com o melhor desempenho preditivo foi o modelo MLP com 20 nós na camada oculta. Dessa maneira, este resultado indica que a utilização de um modelo com mais nós na camada oculta pode ser útil para a tarefa de previsão do grau de monetização da economia brasileira a partir de variáveis macroeconômicas. Além disso, modelos com um menor grau de complexidade também se mostram eficientes no exercício de previsão.

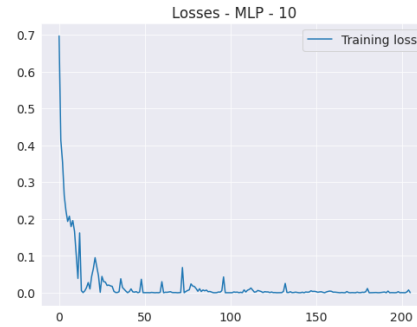
As Figuras 17, 18 e 19 apresentam o comportamento da função de erro utilizada para realizar o treinamento dos modelos MLP, LSTM e GRU. Observa-se que o modelo, ao longo do treinamento, foi capaz de assimilar o comportamento dos dados e, assim, reduzir o erro quadrático médio.

Épocas	Camada Oculta	Erro Quadrático Médio	Otimizador	Modelo
120	5	0.016043	ADAM	MLP
120	10	0.020006	ADAM	MLP
120	20	<b>0.009163</b>	ADAM	MLP
120	5	0.011002	ADAM	LSTM
120	10	0.056062	ADAM	LSTM
120	20	0.010384	ADAM	LSTM
120	5	0.016365	ADAM	GRU
120	10	0.032323	ADAM	GRU
120	20	0.009262	ADAM	GRU

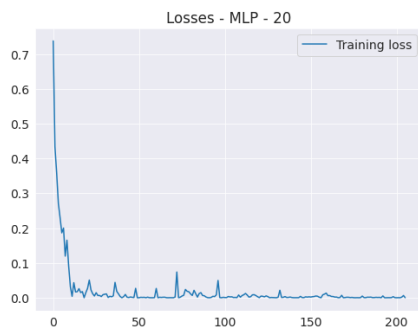
Tabela 8 – Resultado das simulações para previsão do grau de monetização da economia brasileira.



(a) Cinco (5) nós da camada oculta.

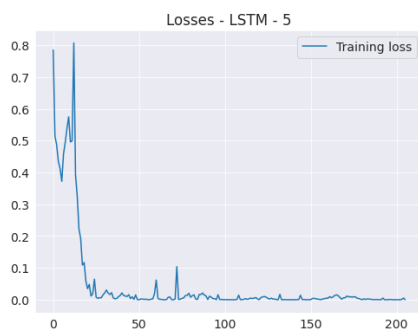


(b) Dez (10) nós da camada oculta.

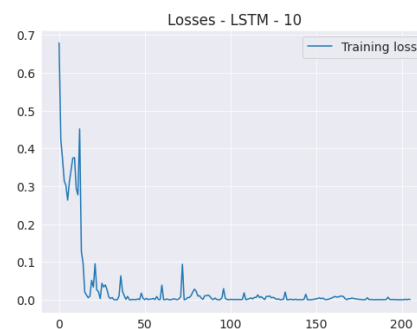


(c) Vinte (20) nós da camada oculta.

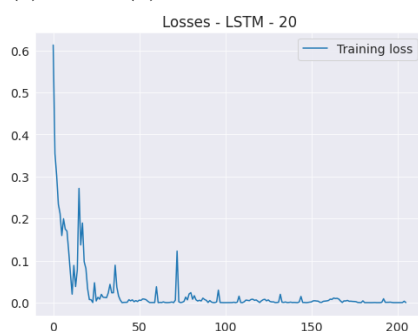
Figura 17 – Erro do treino para o modelo MLP com 5, 10 e 20 nós na camada oculta.



(a) Cinco (5) nós da camada oculta.

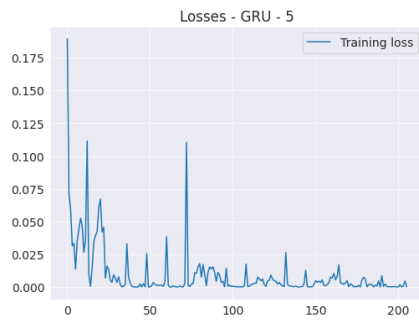


(b) Dez (10) nós da camada oculta.

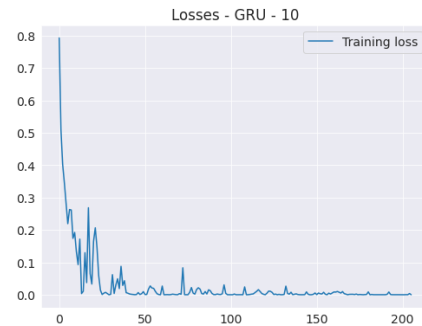


(c) Vinte (20) nós da camada oculta.

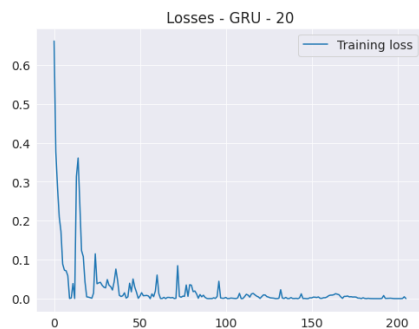
Figura 18 – Erro do treino para o modelo LSTM com 5, 10 e 20 nós na camada oculta.



(a) Cinco (5) nós da camada oculta.



(b) Dez (10) nós da camada oculta.



(c) Vinte (20) nós da camada oculta.

Figura 19 – Erro do treino para o modelo GRU com 5, 10 e 20 nós na camada oculta.

## 4.5 Resumo

O grau de monetização da economia pode ser impactado através do risco percebido pelos agentes econômicos em relação ao comportamento futuro da economia. Assim, este estudo buscou estimar o grau de explicabilidade de variáveis macroeconômicas para o grau de monetização da economia, levando-se em consideração que esta é uma variável de interesse para o estudo das tendências que justificam a necessidade de emissão de uma moeda digital por parte do central.

A análise mostrou que as variáveis selecionadas (IPCA, taxa de crescimento do PIB, SELIC e taxa de câmbio) possuem uma capacidade razoável para explicar o grau de monetização da economia, com um coeficiente de determinação múltipla de 0.518. A partir das hipóteses construídas para o comportamento do grau de monetização da economia (ver Subseção 4.2), o modelo proposto apresenta como resultado que as variáveis IPCA, SELIC e taxa de câmbio são estatisticamente significativas para explicar a variação esperada no grau de monetização da economia brasileira.

Com relação aos pressupostos do modelo proposto, nota-se que a estimação do modelo possui um problema de multicolinearidade, fazendo com que o erro padrão aumente e potencialmente afete a significância estatística de variáveis que poderiam ter coeficientes significativos (taxa de crescimento do PIB). Entretanto, o modelo estimado atende ao pressuposto de normalidade dos resíduos, sendo este validado através da aceitação da hipótese nula de normalidade do

teste de Jarque-Bera.

Através da comparação entre modelos de redes neurais com a finalidade de realizar a previsão do grau de monetização da economia por meio de variáveis macroeconômicas, a métrica de erro quadrático médio indica que o modelo *Multilayer Perceptron* com 20 nós na camada oculta possui o melhor desempenho preditivo em relação as outras arquiteturas em análise (*Gated Recurrent Unit* e *Long Short-Term Memory*).

## 5 Considerações Finais

Os avanços tecnológicos são responsáveis pela mudança na forma com que os agentes econômicos se relacionam, moldando o presente e o futuro de um determinado país ou região. Entendendo-se que a moeda é uma instituição-chave para o funcionamento de uma **economia monetária de produção**, este estudo investigou as propriedades e possíveis implicações para a emissão de uma moeda digital pelo banco central. Com ênfase no caso brasileiro e considerando a interconexão entre as economias e os mercados globais, buscou-se caracterizar (i) a natureza de uma CBDC, (ii) as implicações para a condução da política monetária e os (iii) possíveis impactos em variáveis macroeconômicas.

Dessa maneira, as principais conclusões acaçadas por este trabalho são:

### 1. Acerca da Natureza de uma CBDC

- Possui quatro características fundamentais: amplamente acessível, digital, emitida pelo banco central e baseada em símbolo;
- Pode ser utilizada para transferências de recursos monetários entre três camadas de agentes econômicos: pessoas físicas, pessoas jurídicas e governos;
- Tem como motivação ao menos quatro elementos fundamentais:

**Aspectos geracionais:** gerações anteriores tendem a rejeitar ou não utilizar ferramentas digitais que envolvam dados sensíveis e possuem um posicionamento negativo em relação ao uso decrescente do dinheiro;

**Novos entrantes:** a partir da entrada de novos agentes nos serviços de pagamentos e intermediação financeira, este ambiente se torna mais competitivo e propõe novos serviços que impulsionam a transição de soluções analógicas para digitais;

**Desuso do papel-moeda:** há uma tendência de desuso do papel-moeda em países desenvolvidos e subdesenvolvidos observada, no caso brasileiro, pela implementação de um sistema de pagamentos instantâneos - o PIX;

**Moedas digitais privadas:** as moedas digitais privadas ganharam espaço no ambiente financeiro e suas propriedades ainda não são totalmente compreendidas, fazendo com que os bancos centrais atuem no sentido de propor soluções similares, mas que tenham o controle da autoridade monetária e do Estado;

- Além dos desafios técnicos - capacidade computacional, conectividade, segurança cibernética etc. -, há necessidade de adequação regulatória, garantia de estabilidade do sistema e definição do grau de privacidade da CBDC;

- Os bancos centrais de países desenvolvidos e subdesenvolvidos estão engajados na emissão de moedas digitais com propósitos gerais e de atacado, estando estes em fase de pesquisa, experimentação e/ou implementação;

## 2. Implicações na Condução da Política Monetária

- O nível de acessibilidade e a possibilidade de remuneração da CBDC são pontos cruciais na definição dos possíveis impactos de uma CBDC na condução da política monetária;
- Com a emissão de uma CBDC os bancos centrais ganham um instrumento de intervenção econômica que pode ser utilizado de forma eficaz na execução de estímulos fiscais;
- Os bancos centrais poderão seguir utilizando estratégia de política monetária conhecidas como a regra de Taylor.

## 3. Grau de Monetização da Economia Brasileira

- IPCA, SELIC e taxa de câmbio são variáveis estatisticamente significativas para estimar o grau de monetização da economia brasileira;
- Um modelo de redes neurais artificiais MLP com vinte nós na camada oculta possui um desempenho preditivo mais acurado para o grau de monetização da economia brasileira quando comparado com outras arquiteturas (LSTM e GRU).

As discussões ao redor das moedas digitais emitidas por bancos centrais possui um vasto campo de pesquisas que precisam ser realizadas no sentido de uma melhor compreensão dos seus impactos na economia de um determinado país ou região. Dessa maneira, este trabalho buscou contribuir através da investigação das propriedades, tendências, desafios e análise de variáveis de interesse para a temática. Considerando temas para pesquisa futura, propõe-se uma melhor sistematização dos impactos teóricos que a emissão de uma CBDC acarretará, buscando-se entender se estes impactos são consideráveis ou marginais para a condução da política monetária pela autoridade monetária. Além disso, a partir da emissão de uma CBDC os seus efeitos poderão ser mensurados através de instrumentos econométricos tradicionais (Vetores Autorregressivos, Vetores Autorregressivos Bayesiano, *Dynamic Stochastic General Equilibrium*, entre outros).

A emissão de uma moeda digital por parte de um banco central pressupõe que este banco tenha capacidade operacional e de pesquisa consideráveis para evitar que o projeto tenha mais pontos prejudiciais do que benefícios para a sociedade. Dessa maneira, as autoridades monetárias na maioria dos países subdesenvolvidos não possuem os requisitos mínimos para ingressar nessa seara. A partir desse pressuposto surge a necessidade de se discutir sobre *moedas digitais privadas* estáveis. Ou seja, moedas digitais que possam ser validadas pela autoridades monetária do país e integradas no sistema monetário internacional, mas operadas por uma ou



mais instituições privadas que se tornem responsáveis pela operação e manutenção da moeda digital.

Por fim, propõe-se a investigação da possibilidade de negociações entre moedas digitais emitidas por bancos centrais diferentes, sendo este um fator importante na dinâmica da hierarquia que as moedas ocupam na economia internacional contemporânea. Dessa maneira, uma outra proposta de pesquisa futura está definida na mensuração dos efeitos da interação entre moedas digitais emitidas por bancos centrais distintos, moedas digitais estáveis, ativos e instrumentos financeiros.



# Referências

- AGUR, I.; ARI, A.; DELL'ARICCIA, G. *Designing Central Bank Digital Currencies*. [S.l.], 2019. (IMF Working Papers, 19/252). Disponível em: <<https://www.imf.org/en/Publications/WP/Issues/2019/11/18/Designing-Central-Bank-Digital-Currencies-48739>>. Citado na página 23.
- AUER, R.; BOEHME, R. Central bank digital currency: the quest for minimally invasive technology. *BIS Working Papers*, Bank for International Settlements, n. 948, p. 20, 2021. Disponível em: <<https://www.bis.org/publ/work948.htm>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 28.
- Banco Central do Brasil. *Banco Central lançará cédula de R\$ 200,00*. 2020. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/474/noticia>>. Citado na página 34.
- Banco Central do Brasil. *BC cria grupo de estudo sobre emissão de moeda digital*. 2020. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/479/noticia>>. Citado na página 39.
- Banco Central do Brasil. *BC apresenta diretrizes para o potencial desenvolvimento do real em formato digital*. 2021. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/detalhenoticia/548/noticia>>. Citado na página 39.
- Banco Central do Brasil. *Estatísticas do Pix*. 2021. Disponível em: <<https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/estatisticaspix>>. Citado 3 vezes nas páginas 15, 32 e 33.
- Banco Central do Brasil. *Sistema Gerenciador de Séries Temporais*. 2021. Online; acessado em 27 de fevereiro de 2021. Disponível em: <<https://www3.bcb.gov.br/sgspub/localizarseries/localizarSeries.do?method=prepararTelaLocalizarSeries>>. Citado na página 56.
- BARONTINI, C.; HOLDEN, H. Proceeding with caution - a survey on central bank digital currency. *BIS Papers*, Bank for International Settlements, n. 101, p. 24, 2019. ISSN 1682-7651. Disponível em: <<https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap107.htm>>. Citado 5 vezes nas páginas 15, 17, 36, 37 e 38.
- BARRDEAR, J.; KUMHOF, M. *The macroeconomics of central bank issued digital currencies*. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://www.bankofengland.co.uk/working-paper/2016/the-macroeconomics-of-central-bank-issued-digital-currencies>>. Citado na página 49.
- BECH, M.; GARRATT, R. Central bank cryptocurrencies. *BIS Quarterly Review*, Bank of International Settlements, v. 11, n. 1, p. 55–67, 2017. ISSN 1683-0121. Disponível em: <[https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r\\_qt1709.htm](https://www.bis.org/publ/qtrpdf/r_qt1709.htm)>. Citado 3 vezes nas páginas 15, 23 e 29.
- BJERG, O. *Designing New Money: The Policy Trilemma of Central Bank Digital Currency*. Denmark, 2017. (MPP Working Paper). Citado 3 vezes nas páginas 15, 47 e 48.
- BLANCHARD, O. *Macroeconomia*. [S.l.]: Pearson, 2011. Citado na página 43.
- BLANCHARD, O. *Do DSGE Models Have a Future?* [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://www.piie.com/publications/policy-briefs/do-dsge-models-have-future>>. Citado na página 49.

BOAR, C.; HOLDEN, H.; WADSWORTH, A. Impending arrival – a sequel to the survey on central bank digital currency. *BIS Papers*, Bank for International Settlements, n. 107, p. 19, 2020. ISSN 1682-7651. Disponível em: <<https://www.bis.org/publ/bppdf/bispap107.htm>>. Citado 5 vezes nas páginas 15, 17, 36, 37 e 38.

BORDO, M. D.; LEVIN, A. T. *Central Bank Digital Currency and the Future of Monetary Policy*. [S.l.], 2017. (Working Paper Series, 23711). Disponível em: <<http://www.nber.org/papers/w23711>>. Citado 3 vezes nas páginas 43, 49 e 50.

BORGONOVO, E. et al. *Beyond Bitcoin and Cash: Do We Like a Central Bank Digital Currency? A Financial and Political Economics Approach*. [S.l.], 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3090866>>. Citado na página 45.

BOURI, E.; SHAHZAD, S. J. H.; ROUBAUD, D. Co-explosivity in the cryptocurrency market. *Finance Research Letters*, v. 29, p. 178–183, 2019. ISSN 1544-6123. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612318302976>>. Citado na página 25.

BOX, G. E. P. et al. *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. [S.l.]: Wiley, 2015. Citado na página 53.

BRASIL. *LEI COMPLEMENTAR Nº 105*. Subchefia para Assuntos Jurídicos, 2001. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/LCP/Lcp105.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LCP/Lcp105.htm)>. Citado na página 40.

BRASIL. *Lei Geral de Proteção de Dados*. Subchefia para Assuntos Jurídicos, 2018. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/L13709compilado.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/L13709compilado.htm)>. Citado na página 40.

CARVALHO, F. et al. *Economia monetária e financeira: teoria e política*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2012. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 54.

CARVALHO, F. D. *Keynes e os Pós keynesianos: Princípios de macroeconomia para uma economia monetária de produção*. Alta Books, 2020. ISBN 9788550811789. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=cLj7zQEACAAJ>>. Citado na página 24.

CHEUNG, A. W.-K.; ROCA, E.; SU, J.-J. Crypto-currency bubbles: an application of the phillips–shi–yu (2013) methodology on mt. gox bitcoin prices. *Applied Economics*, Routledge, v. 47, n. 23, p. 2348–2358, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00036846.2015.1005827>>. Citado na página 25.

CHO, K. et al. *Learning Phrase Representations using RNN Encoder-Decoder for Statistical Machine Translation*. 2014. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1406.1078>>. Citado na página 61.

CORBET, S.; LUCEY, B.; YAROVAYA, L. Datestamping the bitcoin and ethereum bubbles. *Finance Research Letters*, v. 26, p. 81–88, 2018. ISSN 1544-6123. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1544612317307419>>. Citado na página 25.

COSTA, K. V. S. da; SILVA, F. L. C. da; COELHO, J. da S. C. *Forecasting Quarterly Brazilian GDP: Univariate Models Approach*. 2020. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2010.13259>>. Citado na página 53.

CPMI-MC. *Central Bank Digital Currencies*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.bis.org/cpmi/publ/d174.htm>>. Citado 7 vezes nas páginas 15, 17, 27, 28, 29, 31 e 44.

DAVOODALHOSSEINI, M.; RIVADENEYRA, F.; ZHU, Y. *CBDC and Monetary Policy*. 2020. Disponível em: <<https://www.bankofcanada.ca/2020/02/staff-analytical-note-2020-4>>. Citado na página 44.

DEMIRGUC-KUNT, A. et al. *Global Findex Database 2017 : Measuring Financial Inclusion and the Fintech Revolution*. World Bank, 2018. Disponível em: <<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/29510>>. Citado na página 41.

Federal Reserve. *Federal bank regulators issue interim final rule for Paycheck Protection Program Facility*. 2020. Disponível em: <<https://www.federalreserve.gov/newsevents/pressreleases/bcreg20200409a.htm>>. Citado na página 48.

Federal Reserve. *Federal Reserve Board announces extension through March 31, 2021, for several of its lending facilities that were generally scheduled to expire on or around December 31*. 2020. Disponível em: <<https://www.federalreserve.gov/newsevents/pressreleases/monetary20201130a.htm>>. Citado na página 48.

Federal Reserve. *Regulatory Capital Rule: Paycheck Protection Program Lending Facility and Paycheck Protection Program Loans*. 2020. 7 p. Disponível em: <<https://www.federalreserve.gov/newsevents/pressreleases/files/bcreg20200409a1.pdf>>. Citado na página 48.

FISHER, I. Stabilizing the dollar. *The American Economic Review*, American Economic Association, v. 9, n. 1, p. 156–160, 1919. ISSN 00028282. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/1813996>>. Citado na página 47.

FLEMING, J. M. Domestic financial policies under fixed and under floating exchange rates (politiques financières intérieures avec un système de taux de change fixe et avec un système de taux de change fluctuant) (política financiera interna bajo sistemas de tipos de cambio fijos o de tipos de cambio fluctuantes). *Staff Papers (International Monetary Fund)*, Palgrave Macmillan Journals, v. 9, n. 3, p. 369–380, 1962. ISSN 00208027. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/3866091>>. Citado na página 45.

FRIEDMAN, M. The case for flexible exchange rate. In: \_\_\_\_\_. *Essays in Positive Economics*. University of Chicago Press, 1953. (A Phoenix book. Business economics). ISBN 9780226264035. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=Fv8846OSbvwC>>. Citado na página 47.

FUNG, B. S. C.; HALABURDA, H. *Central Bank Digital Currencies: A Framework for Assessing Why and How*. [S.l.], 2016. Disponível em: <[https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2994052](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2994052)>. Citado na página 44.

Governo Federal do Brasil. *Auxílio Emergencial do Governo Federal*. 2020. Disponível em: <<https://auxilio.caixa.gov.br/#/inicio>>. Citado na página 48.

GRAVES, A. *Supervised Sequence Labelling with Recurrent Neural Networks*. [S.l.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012. ISBN 978-3-642-24797-2. Citado na página 60.

GREEN, E. J. Some challenges for research in payments. In: MILLARD ANDREW HALDANE, V. S. S. (Ed.). *The Future of Payment Systems*. London: Routledge, 2007. p. 57–72. Citado na página 23.

- GUPPY, D. *The future of China's economic engagement*. 2020. Disponível em: <<https://www.chinadaily.com.cn/a/202004/24/WS5ea28240a310a8b2411516bf.html>>. Citado na página 39.
- HAZLETT, P. K.; LUTHER, W. J. Is bitcoin money? and what that means. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, v. 77, p. 144–149, 2020. ISSN 1062-9769. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1062976919301528>>. Citado na página 25.
- HICKS, J. *Critical essays in monetary theory*. Oxford, 1967. Citado na página 54.
- HOCHREITER, S.; SCHMIDHUBER, J. Long Short-Term Memory. *Neural Computation*, v. 9, n. 8, p. 1735–1780, 11 1997. ISSN 0899-7667. Disponível em: <<https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735>>. Citado na página 60.
- HOLT, C. C. Forecasting seasonals and trends by exponentially weighted moving averages. *International Journal of Forecasting*, v. 20, n. 1, p. 5 – 10, 1957. ISSN 0169-2070. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169207003001134>>. Citado na página 53.
- HUGON, P. *A moeda: introdução à análise e as políticas monetárias e à moeda no Brasil*. 4. ed. São Paulo: Pioneira, 1976. Citado na página 27.
- HUME, D. *Ensaio políticos*. São Paulo: Martins Fontes, 2003. ISBN 85-336-1692-9. Citado na página 24.
- IWAMURA, M. et al. Can we stabilize the price of a cryptocurrency?: Understanding the design of bitcoin and its potential to compete with central bank money. *Hitotsubashi Journal of Economics*, Hitotsubashi University, v. 60, n. 1, p. 41–60, 2019. ISSN 0018280X. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/45124706>>. Citado na página 23.
- JARQUE, C. M.; BERA, A. K. Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics Letters*, v. 6, n. 3, p. 255–259, 1980. ISSN 0165-1765. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0165176580900245>>. Citado na página 64.
- JOSHI, M.; JOSHI, D. *Why it's time to take central banks' digital currencies seriously*. 2020. Disponível em: <<https://www.weforum.org/agenda/2020/08/why-its-time-to-take-central-banks-digital-currencies-seriously/>>. Citado na página 34.
- KEYNES, J. M. *Treatise on money: Pure theory of money Vol. I*. [S.l.]: Macmillan, London, 1930. Citado na página 45.
- KWOK, Y.-K. R. *Peer-to-peer computing: Applications, architecture, protocols, and challenges*. [S.l.]: Crc Press, 2011. Citado na página 23.
- MAKRIDAKIS, S. et al. The future of forecasting competitions: Design attributes and principles. 02 2021. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/2102.04879>>. Citado na página 53.
- MAKRIDAKIS, S.; HIBON, M. The m3-competition: results, conclusions and implications. *International Journal of Forecasting*, v. 16, n. 4, p. 451–476, 2000. ISSN 0169-2070. The M3- Competition. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169207000000571>>. Citado na página 53.

- MAKRIDAKIS, S. et al. The m5 uncertainty competition: Results, findings and conclusions. 11 2020. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/346493740\\_The\\_M5\\_Uncertainty\\_competition\\_Results\\_findings\\_and\\_conclusions](https://www.researchgate.net/publication/346493740_The_M5_Uncertainty_competition_Results_findings_and_conclusions)>. Citado na página 53.
- MCCULLOCH, W. S.; PITTS, W. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *The bulletin of mathematical biophysics*, v. 5, n. 4, p. 115–133, Dec 1943. ISSN 1522-9602. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/BF02478259>>. Citado na página 59.
- MCTAGGART, R.; DAROCZI, G.; LEUNG, C. *Quandl: API Wrapper for Quandl.com*. [S.l.], 2020. R package version 2.10.0. Disponível em: <<https://CRAN.R-project.org/package=Quandl>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 35.
- MOENJAK, T. *Central banking: theory and practice in sustaining monetary and financial stability*. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2014. Citado na página 24.
- Monetary and Capital Markets Department-IMF. *Annual Report on Exchange Arrangements and Exchange Restrictions 2019*. [S.l.], 2020. Disponível em: <<https://www.imf.org/en/Publications/Annual-Report-on-Exchange-Arrangements-and-Exchange-Restrictions/Issues/2020/08/10/Annual-Report-on-Exchange-Arrangements-and-Exchange-Restrictions-2019-47102>>. Citado na página 43.
- MUNDELL, R. A. Capital mobility and stabilization policy under fixed and flexible exchange rates. *The Canadian Journal of Economics and Political Science / Revue canadienne d'Economique et de Science politique*, [Canadian Economics Association, Wiley], v. 29, n. 4, p. 475–485, 1963. ISSN 03154890. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/139336>>. Citado na página 45.
- NAKAMOTO, S. *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. 2008. Disponível em: <<https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 23, 24 e 34.
- OBSTFELD, M.; TAYLOR, A. M. Globalization and capital markets. In: \_\_\_\_\_. *Globalization in Historical Perspective*. University of Chicago Press, 2003. p. 121–188. Disponível em: <<http://www.nber.org/chapters/c9587>>. Citado 3 vezes nas páginas 15, 45 e 46.
- RIKSBANK. *The Riksbank's e-krona project, report 1*. [S.l.], 2017. Disponível em: <[https://www.riksbank.se/globalassets/media/rapporter/e-krona/2017/rapport\\_ekrona\\_uppdaterad\\_170920\\_eng.pdf](https://www.riksbank.se/globalassets/media/rapporter/e-krona/2017/rapport_ekrona_uppdaterad_170920_eng.pdf)>. Citado na página 40.
- RIKSBANK. *The Riksbank's e-krona project, report 2*. [S.l.], 2018. Disponível em: <<https://www.riksbank.se/globalassets/media/rapporter/e-krona/2018/the-riksbanks-e-krona-project-report-2.pdf>>. Citado na página 40.
- RIKSBANK. *Sveriges Riksbank Economic Review*. 2018. (Special issue on the e-krona). Disponível em: <<https://www.chinadaily.com.cn/a/202004/24/WS5ea28240a310a8b2411516bf.html>>. Citado na página 40.
- RIKSBANK. *Sveriges Riksbank Economic Review*. 2020. (Second special issue on the e-krona). Disponível em: <<https://www.riksbank.se/globalassets/media/rapporter/pov/engelska/2020/economic-review-2-2020.pdf>>. Citado na página 40.
- RIKSBANK. *The payment behaviour of the Swedish population*. 2021. Disponível em: <<https://www.riksbank.se/en-gb/statistics/statistics-on-payments-banknotes-and-coins/payment-patterns/>>. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 33.

ROGOFF, K. S. *The curse of cash: How large-denomination bills aid crime and tax evasion and constrain monetary policy*. [S.l.]: Princeton University Press, 2017. Citado na página 49.

RUMELHART, D. E.; MCCLELLAND, J. L. Learning internal representations by error propagation. In: \_\_\_\_\_. *Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition: Foundations*. [S.l.]: MIT Press, 1987. p. 318–362. ISBN 9780262291408. Citado na página 59.

SAK, H.; SENIOR, A.; BEAUFAYS, F. *Long Short-Term Memory Based Recurrent Neural Network Architectures for Large Vocabulary Speech Recognition*. 2014. Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/1402.1128>>. Citado na página 60.

SCHUMPETER, J. A. *Capitalismo, Socialismo e Democracia*. São Paulo: Editora Unesp, 2017. ISBN 9788539306916. Citado na página 23.

SIMONSEN, M. H.; CYSNE, R. P. *Macroeconomia*. [S.l.]: Atlas, 2009. Citado na página 54.

TAYLOR, J. B. Discretion versus policy rules in practice. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy*, v. 39, p. 195 – 214, 1993. ISSN 0167-2231. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/016722319390009L>>. Citado na página 50.

TRICHES, D.; FIORENTIN, G. P. Avaliação do regime de metas de inflação nos países da América Latina entre 2001 e 2014. *Revista de Economia Contemporânea*, sciELO, v. 22, 00 2018. ISSN 1415-9848. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-98482018000200200&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-98482018000200200&nrm=iso)>. Citado na página 43.

United States Department of the Treasury. *The Treasury Department is Delivering COVID-19 Relief for All Americans*. 2021. Disponível em: <<https://home.treasury.gov/policy-issues/cares>>. Citado na página 48.

WALSH, C. E. *Monetary theory and policy*. [S.l.]: MIT press, 2017. Citado na página 43.

WEST, M.; HARRISON, J. *Bayesian forecasting and dynamic models*. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2006. Citado na página 53.

WINTERS, P. R. Forecasting sales by exponentially weighted moving averages. *Management Science*, v. 6, n. 3, p. 324–342, 1960. Disponível em: <<https://doi.org/10.1287/mnsc.6.3.324>>. Citado na página 53.

WOODFORD, M. Monetary policy in a world without money. *International Finance*, v. 3, n. 2, p. 229–260, 2000. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1468-2362.00050>>. Citado na página 44.

WOOLDRIDGE, J. M. *Introductory econometrics: A modern approach*. [S.l.]: Cengage learning, 2015. Citado na página 58.

YERMACK, D. Chapter 2 - is bitcoin a real currency? an economic appraisal. In: Lee Kuo Chuen, D. (Ed.). *Handbook of Digital Currency*. San Diego: Academic Press, 2015. p. 31–43. ISBN 978-0-12-802117-0. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978012802117000023>>. Citado na página 25.



# Apêndices



# APÊNDICE A – Estimação do Modelo

A estimação do modelo de regressão linear múltipla através do método de mínimo quadrados ordinários é escrita da seguinte maneira. Considerando um modelo de regressão múltipla dado por

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \beta_3 x_{3i} + \dots + \beta_n x_{ni} + \epsilon \quad (\text{A.1})$$

sendo a representação do sistema

$$\begin{aligned} y_1 &= \beta_0 + \beta_1 x_{11} + \beta_2 x_{21} + \dots + \beta_k x_{k1} + e_1 \\ y_2 &= \beta_0 + \beta_1 x_{12} + \beta_2 x_{22} + \dots + \beta_k x_{k2} + e_2 \\ &\dots \\ y_n &= \beta_0 + \beta_1 x_{1n} + \beta_2 x_{2n} + \dots + \beta_k x_{kn} + e_n \end{aligned} \quad (\text{A.2})$$

Pode-se escrever o equivalente matricial como,

$$y = x\beta + \epsilon \quad (\text{A.3})$$

sendo esta a representação do sistema matricial

$$\underbrace{\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}}_{\mathbf{y}_{n \times 1}} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{21} & \dots & x_{k1} \\ 1 & x_{12} & x_{22} & \dots & x_{k2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{1n} & x_{2n} & \dots & x_{kn} \end{pmatrix}}_{\mathbf{x}_{n \times p}} \underbrace{\begin{pmatrix} \alpha \\ \beta_1 \\ \dots \\ x_{n \times p} \end{pmatrix}}_{\beta_{p \times 1}} + \underbrace{\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ \dots \\ e_n \end{pmatrix}}_{\mathbf{e}_{n \times 1}} \quad (\text{A.4})$$

Com isso, a obtenção dos estimadores de mínimos quadrados ordinários se dá através de

$$\hat{\mathbf{y}} = \mathbf{X}\hat{\beta} \rightarrow \hat{\mathbf{e}} = \mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} \rightarrow EQT = \hat{\mathbf{e}}^T \hat{\mathbf{e}} \quad (\text{A.5})$$

$$\frac{\partial EQT}{\partial \hat{\beta}} = 0 \Rightarrow \hat{\beta} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} (\mathbf{X}^T \mathbf{y}) \quad (\text{A.6})$$



# APÊNDICE B – Códigos

Os códigos utilizados neste trabalho estão disponíveis no repositório online [<github.com/kleyt0n/>](https://github.com/kleyt0n/).