



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Beatriz Rodrigues Vieira

**CRIPTOMOEDAS E MOEDA REAL:
DIFERENÇAS E SEMELHANÇAS**

**Trabalho de Projeto no âmbito do Mestrado em Economia,
especialização em Economia Financeira, orientado pelo Professor
Doutor António Portugal Duarte e apresentado à Faculdade de
Economia da Universidade de Coimbra**

Janeiro de 2022



FACULDADE DE ECONOMIA
UNIVERSIDADE DE
COIMBRA

Criptomoedas e Moeda Real: Diferenças e Semelhanças

Beatriz Rodrigues Vieira

Trabalho de Projeto no âmbito do Mestrado em Economia, especialização em Economia Financeira, orientado pelo Professor Doutor António Portugal Duarte e apresentado à Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra

Janeiro de 2022

Agradecimentos

Queria deixar o meu agradecimento,

Ao meu Orientador do Trabalho de Projeto, Professor Doutor António Duarte Portugal, pela sua prontidão a ajudar-me e pela sua disponibilidade total para resolver qualquer dúvida.

Aos meus amigos, por terem sempre uma palavra de incentivo e ânimo para me dar.

Às minhas colegas e amigas de mestrado, Diana e Margarida, que embarcaram nesta aventura comigo e se tornaram os meus ombros amigos.

Por fim, agradecer à minha família, em especial aos meus pais e irmão, por me proporcionarem a oportunidade de frequentar este mestrado e me acompanharem sempre.

Resumo: Este Trabalho de Projeto tem como objetivo estudar a volatilidade de sete criptomoedas – Bitcoin, Dogecoin, Ethereum, BitcoinCash, Ripple, Stellar e Litecoin –, por comparação com sete moedas “reais” centralizadas – Yuan, Iene, Dólar Canadano, Real Brasileiro, Franco Suíço, Euro e Libra Esterlina. Para o estudo, primeiramente é efetuada uma análise ao comportamento das variáveis, seguido de uma análise das suas estatísticas descritivas. Posteriormente, são utilizados modelos generalizados de heteroscedasticidade condicional auto-regressiva (GARCH). Procura-se analisar se as criptomoedas poderão vir futuramente a assumir as funções tradicionalmente reconhecidas às moedas reais, sendo estas: meio de pagamento, reserva de valor e unidade de conta. Os resultados apontam para uma volatilidade das criptomoedas consideravelmente elevada quando comparada com a das moedas centralizadas. As criptomoedas que apresentam maior volatilidade são a Dogecoin (DOGE) e a Ethereum (ETH), sendo que a Bitcoin (BTC) é a que apresenta o menor valor. Contudo, mesmo o valor apresentado pela Bitcoin é consideravelmente superior ao apresentado pelas moedas reais. No caso das moedas reais, a libra estrelina (GBP) apresenta os maiores valores de volatilidade, seguido do dólar canadano, e, a moeda chinesa, yuan (CPY), apresenta o menor valor. Através da análise resultados obtidos, conclui-se que as criptomoedas estão ainda longe de cumprirem todos os requisitos para poderem ser consideradas como uma moeda, nomeadamente no que diz respeito à função de reserva de valor e de unidade de conta.

Palavras-chave: Criptomoedas; Moedas centralizadas; Volatilidade; GARCH.

Classificação JEL: G13; G17.

Abstract: This Project Work aims to study the volatility of seven cryptocurrencies – Bitcoin, Dogecoin, Ethereum, BitcoinCash, Ripple, Stellar, Litecoin – compared to seven centralized “real” currencies – Yuan, Yen, Canadian Dollar, Brazilian Real, Swiss Franc, Euro, Pound Sterling. In the first place, we start by analyzing the performance of the variables. Then, we take a look at their descriptive statistics. Last but not least, we use Generalized Autoregressive Conditional Heteroscedasticity (GARCH) models. The Project Work aims to find if cryptocurrencies can assume the functions connected to centralized currencies in the future. These functions are: money needs to be a medium of exchange, store the value, and be considered a unit of account. The results point out that the volatility of cryptocurrencies is way higher than the volatility of fiat currencies. The cryptocurrencies that present higher volatility are Dogecoin (DOGE) and Ethereum (ETH). Bitcoin (BTC) is the one that has the lower value. However, even the value that Bitcoin presents is high compared to centralized currencies. In the case of the fiat currencies, the pound sterling (GBP) has the higher values of volatility, followed by the Canadian dollar. The Chinese currency, yuan (CPY), presents the lowest. After looking at the results and analyzing them, we can conclude that cryptocurrencies are far from checking all the requirements to become a real currency. In particular, the store of value and the unit of account functions.

Keywords: Cryptocurrencies; Centralized currencies; Volatility; GARCH.

JEL Classification: G13; G17.

Índice

1. Introdução.....	4
2. Revisão da Literatura.....	5
2.1. A Moeda Real	6
2.2. O Mundo das Criptomoedas	7
3. Dados e Metodologia.....	11
4. Criptomoedas e Moeda Real: Uma Análise de Volatilidade.....	13
4.1. Estatísticas Descritivas	19
4.2. Análise das Características de Estacionariedade das Variáveis	21
4.3. Volatilidade dos Preços e do Volume Transacionado.....	23
5. Conclusão.....	25
Bibliografia	26

Índice de Tabelas e Imagens

Tabela 1: Criptomoedas (observação inicial e final).....	12
Figura 1: Preço das criptomoedas em USD.....	15
Figura 2: Volume diário de transações de criptomoedas.....	16
Figura 3: Taxa de câmbio das moedas reais em relação ao USD.....	17
Tabela 2: Estatísticas Descritivas em <i>log</i> do preço das Criptomoedas.....	19
Tabela 3 – Estatísticas descritivas em <i>log</i> do volume das criptomoedas	19
Tabela 4: Estatísticas descritivas em <i>log</i> das moedas reais	20
Tabela 5: Testes de raiz unitária e estacionariedade.....	22
Tabela 6: Seleção do modelo GARCH através do critério BIC	23

1. Introdução

As criptomoedas são um tema bastante atual e controverso na literatura económica (veja-se, por exemplo, Kristoufek, 2013; Yermack, 2013, Baur et al., 2018; Aalborg et al. 2019; Cagli, 2019 ou Makarov e Schoar, 2019), destacando-se a mais conhecida, a Bitcoin. A controvérsia deve-se ao facto de apesar das criptomoedas já terem adquirido uma enorme importância enquanto meio de pagamento, sendo cada vez mais utilizadas na aquisição de bens e serviços. Todavia, estão ainda longe de terem assumido todas as funções que tradicionalmente reconhecemos à designada moeda real, nomeadamente a função de reserva de valor e de unidade de conta. Tal pode ser explicado pela sua forte volatilidade preço e natureza especulativa (Cheah e Fry, 2015; Dyhrberg e Haubo 2016; Blau, 2017; Katsiampa, 2019a e Tiwari et al., 2019), mas também por serem frequentemente apontadas como um instrumento utilizado em atividades de natureza criminosa (Aldridge, 2017; Durrant, 2018; Cuervo et al., 2019; Swamy et al, 2019 e Choi et al., 2020).

Desde a criação da Bitcoin em 2008 por um programador, ou um grupo de programadores, de pseudónimo Satoshi Nakamoto (Nakamoto, 2008), as criptomoedas têm-se apresentado cada vez mais como um investimento alternativo, particularmente em períodos de crise, o que poderá indicar que, num futuro próximo, possam também vir a assumir a função de reserva de valor, ficando-lhe assim apenas por cumprir o papel de unidade de conta. Contudo, para que tal possa acontecer, a sua atual excessiva volatilidade preço e volume terá de ser eliminada.

Este Trabalho de Projeto tem precisamente como objetivo analisar a volatilidade preço e volume de algumas das principais criptomoedas (Bitcoin, Dogecoin, Ethereum, BitcoinCash, Ripple, Stellar e Litecoin) por comparação com a volatilidade de sete moedas reais pertencentes a diferentes áreas monetárias e regiões geográficas (Yuan, Iene, Dólar Canadano, Real Brasileiro, Franco Suíço, Euro e Libra Esterlina), algumas das quais com papel de moeda de reserva internacional. Procurar-se-á assim discutir em que medida as criptomoedas assumem, ou poderão vir a assumir num futuro próximo, as funções tradicionalmente reconhecidas às moedas reais.

Para dar resposta à questão em investigação, será realizada uma análise de estatística descritiva, complementada com a utilização de modelos generalizados de heteroscedasticidade condicional auto-regressiva (GARCH), através dos quais se analisará a volatilidade das referidas criptomoedas, por comparação com a volatilidade das sete moedas reais selecionadas.

Os resultados do estudo apontam para a existência de uma forte volatilidade preço e volume das criptomoedas, bastante mais elevada à volatilidade associada às moedas reais. Pelo que, por esta via, dificilmente as criptomoedas poderão assumir nos próximos anos as funções de reserva de valor e de unidade de conta, ficando-lhe para já reservada a função de meio de pagamento e instrumento de troca, se se tiver conta o elevado volume de transações atualmente existente por intermédio de criptomoedas. Estes resultados estão em linha com os obtidos por outros trabalhos já realizados sobre a mesma temática (Yermack, 2014; Balcilar et al., 2017; Yi et al, 2018; Bouri et al., 2019; Katsiampa et al., 2019; Katsiampa, 2019; Kumar e Anandarao, 2019), utilizando a mesma metodologia ou metodologias similares. Embora este trabalho apresente um contributo adicional para a literatura económica, não apenas porque é desenvolvido para um conjunto alargado de criptomoedas, mas também de moedas reais que ao integram áreas monetárias e regiões geográficas muito diversas, são suscetíveis de apresentar diferentes dinâmicas comportamentais, permitindo assim uma análise mais robusta da sua volatilidade.

O Trabalho de Projeto encontra-se estruturado em cinco secções. Para além da introdução, a secção 2 apresenta uma breve revisão da literatura. A secção 3 é dedicada à descrição dos dados e da metodologia. A secção 4 apresenta e discute os principais resultados do estudo de volatilidade das séries das criptomoedas e das moedas reais desenvolvido no âmbito dos modelos GARCH. Finalmente, a secção 5 apresenta as principais conclusões do trabalho.

2. Revisão da Literatura

Nos dias de hoje a maior parte das moedas nacionais são moedas fiduciárias. Contudo, nem sempre foi assim. O desenvolvimento das sociedades originou uma evolução no conceito de moeda, sendo o mais recente, o conceito de moeda digital e, dentro deste, o das criptomoedas.

No que se segue, analisa-se brevemente à luz de alguma literatura económica as diversas formas como o conceito de moeda foi evoluindo ao longo do tempo, desde a designada moeda-mercadoria, até às atuais criptomoedas, que, como já referido, embora muitas vezes sejam designadas de moedas, estão ainda longe de assumir a plenitude das funções que usualmente se atribui à moeda real.

2.1. A Moeda Real

O primeiro conceito de moeda foi o de moeda-mercadoria, nas economias primitivas, em que as trocas eram diretas, isto é, bem-por-bem, o que dificultava a atribuição de valor aos bens e, conseqüentemente, impossibilitava a sua divisão. Posteriormente surgiu a moeda representativa, que consistia em notas de banco que podiam ser trocadas por uma determinada quantidade de metais preciosos, normalmente ouro ou prata. Atualmente, utiliza-se a moeda fiduciária, que tem curso legal e é emitida e regulada pelos bancos centrais, como, por exemplo, o euro, emitido pelo Banco Central Europeu. A moeda fiduciária não tem necessariamente de ser física, podendo existir sob diversas formas, como por exemplo um depósito bancário ou um registo informático, existindo também a moeda digital ou eletrónica que corresponde a um valor monetário registado, por exemplo, num cartão pré-pago. Mais recentemente, surgiram novas formas de moedas digitais descentralizadas, as designadas criptomoedas, entre as quais a mais conhecida, a Bitcoin. Que contrariamente às anteriores formas de pagamento que não envolvem numerário, não se encontram também sob a dependência ou supervisão de nenhuma entidade reguladora ou banco central¹.

Segundo a BBC News², apesar de a moeda física na Europa ainda ser a forma de pagamento mais utilizada, em 2015, na Holanda, os pagamentos eletrónicos foram superiores aos pagamentos sob a forma de numerário, justificando-se esta realidade pelo facto dos pagamentos eletrónicos serem mais convenientes, seguros e baratos. Também na Suécia a moeda física tem vindo a perder importância, prevendo-se que até 2025 esta forma de pagamento deixe de ser utilizada.

¹ Para mais detalhes, excelentes *surveys* da literatura sobre o tema podem ser encontrados em Spahn (2001), Helleiner (2002), McLeay et al. (2014) e Eichengreen (2019).

²<https://www.bbc.com/worklife/article/20160922-the-countries-where-cash-is-on-the-verge-of-extinction>.

Jevons (1896) definiu três funções que um bem necessita de satisfazer para ser considerado moeda. Primeiramente, ser um meio de pagamento/instrumento de troca. Contrariamente ao que acontecia quando se utilizava a moeda-mercadoria, hoje em dia não existe a condicionante de ter que haver alguém que esteja interessado no nosso bem ou serviço para podermos adquirir outro, uma vez que a moeda é aceite por todos e em todo o lado. Esta função permite diminuir o tempo e os custos de transação. Outra função é a necessidade de uma moeda ser considerada uma unidade de conta. Cada moeda tem um valor intrínseco, o que permite comparar preços de bens e serviços, bem como atribuir-lhes um valor. Por fim, a moeda deve ter a aptidão para reservar valor ao longo do tempo, isto é, os agentes económicos devem poder utilizar a moeda em investimentos, como, por exemplo, ativos reais ou na compra de ativos financeiros, bem como para preservar o seu poder de compra. A reserva de valor através da moeda é muito usada por investidores para proteger seu património, nomeadamente na sequência de crises políticas e económicas, quando as perturbações do mercado influenciam negativamente o valor dos ativos ou reduzem significativamente a rendibilidade dos investimentos.

Não obstante estas três funções que um bem necessita cumprir para ser considerado moeda, Hazlett e Luther (2020) salientam ainda que o que realmente importa para definir se um bem pode ou não ser considerado moeda é precisamente até que ponto esse bem é aceite pelos diversos agentes económicos. Neste contexto, o atual mundo das criptomoedas, de utilização e aceitação crescente, parece começar a ganhar força e importância para num futuro próximo poder substituir as designadas moedas reais ou tradicionais. Ainda assim, com alguma boa vontade, as criptomoedas não deixam de ser atualmente apenas um substituto imperfeito das moedas reais.

2.2. O Mundo das Criptomoedas

A primeira criptomoeda a ser considerada bem-sucedida, com maior índice de capitalização e maior número de utilizadores nas redes digitais e casas de câmbio *online*, foi a Bitcoin, que como mencionado, tudo indica ter sido criada em 2008 por Satoshi Nakamoto (Nakamoto, 2008). Tendo em conta as funções da moeda descritas anteriormente, as moedas reais apresentam um problema que as criptomoedas pela sua conceção e natureza procuram ultrapassar. Este é conhecido na literatura económica por

“*double spending*”. Trata-se da inexistência nas moedas reais de um mecanismo capaz de impedir que o detentor de uma moeda a possa utilizar em mais do que um pagamento (Bação et al., 2018). Pelas suas características de moeda digital de código aberto descentralizado (*peer-to-peer*), mas sobretudo pelo seu algoritmo e criptografia utilizada na designada cadeia de blocos (*Blockchain*), este problema deixa de existir no mundo das criptomoedas, sendo o exemplo mais conhecido, o da Bitcoin.

A Bitcoin consiste num mecanismo financeiro eletrónico com características semelhantes ao atual sistema de moeda real, mas apresenta, em contrapartida, um regime de transações e pagamentos próprio baseado num sistema de organização descentralizado, transparente e supranacional, mais “livre, justo e equilibrado”. Esta criptomoeda é transacionada sem recurso a qualquer intermediário financeiro e sem o controlo de qualquer autoridade monetária central. As transações são validadas por todos os que participam na rede de utilizadores e, ao mesmo tempo, são registadas na *Blockchain*, a qual se encontra publicamente disponível (Duarte, et al., 2018). Cada transação dá origem a um novo bloco que está interligado com a transação anterior. Em cada bloco, é criado um código identificador, *hash*, estando também registado o código da última transação guardada, *previous hash*.

Comparativamente a outras criptomoedas, a Bitcoin apresenta uma particularidade, a sua oferta está limitada a 21 milhões de unidades, encontrando-se atualmente em circulação cerca de 18 milhões. Enquanto na moeda real os bancos centrais detêm o monopólio da emissão de moeda e, deste modo, podem controlar a sua oferta no contexto da política monetária, esta possibilidade deixa de existir no mundo das criptomoedas, excluindo-se assim eventuais processos inflacionistas por via monetária. Pelo contrário, a possibilidade de deflação é bastante mais provável.

Independentemente desta aparente vantagem relativa, a perda do instrumento de política monetária afasta as criptomoedas da moeda real. Seguindo a mesma linha de pensamento, Yermack (2013) destaca também a elevada volatilidade da Bitcoin e das criptomoedas em geral, a qual poderá colocar definitivamente em causa a possibilidade destas se afirmarem como uma moeda real. Vários outros autores (Fink e Johann, 2014, Cheah e Fry, 2015; Dyhrberg e Haubo 2016; Blau, 2017; Katsiampa, 2019 e Tiwari et al., 2019) confirmaram empiricamente esta realidade, bem como a sua natureza especulativa, o que também não contribui para que as criptomoedas possam funcionar como unidade de conta e reserva de valor.

A respeito da função de unidade de conta, Wallance (2011) recorda o episódio da primeira compra de bens através da Bitcoin ocorrido em 21 de maio de 2010 quando duas *pizzas* foram adquiridas pelo valor de 10,000 Bitcoins, à data cerca de 25 dólares americanos. Tendo em conta o preço atual da Bitcoin, esta mesma compra superaria hoje os 500 milhões de dólares. Neste contexto, dificilmente as criptomoedas poderão funcionar como unidade de conta. O mesmo exemplo explica também a dificuldade das criptomoedas funcionarem como reserva de valor, uma vez que com o passar dos anos jamais um detentor de uma criptomoeda receberá o mesmo valor económico do que quando a adquiriu.

Ainda assim, mais recentemente, Hazlett e Luther (2020), apesar de não tomarem uma posição sobre se a procura da Bitcoin é por motivo de transação ou unicamente por razões especulativas, salientam que esta criptomoeda, ao ser utilizada como um instrumento de troca cada vez mais frequente, pode ser suficiente para ser considerada uma moeda. Para esta realidade terá também contribuído o facto de alguns países, como é o caso de El Salvador, ter adotado a Bitcoin como meio de pagamento.

A crescente utilização das criptomoedas enquanto instrumento de troca, a par da ausência de um enquadramento regulatório, leva, todavia, a que frequentemente sejam apontadas como estando relacionadas com atividades de natureza criminosa, nomeadamente branqueamento de capitais, tráfico de droga ou de armas. De facto, à semelhança dos pagamentos em numerário que utilizam um sistema descentralizado, sem intermediários financeiros visíveis e que permitem transações praticamente anónimas, também as criptomoedas possibilitam o anonimato das transações, sendo por isso muitas vezes relacionadas com práticas ilegais (Durrant, 2018; Cuervo et al., 2019; Swamy et al, 2019; Choi et al., 2020; Hendrickson e Luther, 2021).

Contudo, como é salientado por Steinmetz et al. (2021), esta associação advém normalmente de quem conhece pouco acerca do funcionamento das criptomoedas. O facto de todas as transações se encontrarem registadas na cadeia de blocos acaba por desincentivar, ou no limite impedir, que as criptomoedas possam ser utilizadas para atividades ilícitas, uma vez que se tal acontecer saber-se-á de imediato quem nelas esteve envolvido. De acordo com Pacheco (2018), apenas 1% de todas as transações com Bitcoins dizem respeito a práticas ilegais. Por sua vez, cerca de 3 a 5% da economia em moeda fiduciária é resultado de atividade ilícita. Neste contexto, poder-se-

á dizer que a moeda real (dinheiro físico) continua a ser a mais escolhida para a realização de atividades criminosas e não as criptomoedas.

Ainda assim, apesar do uso de criptomoedas em situações criminosas não apresentar uma percentagem significativa, esta associação é fundamentada por acontecimentos ocorridos no início do fenómeno das criptomoedas. Um dos casos mais relevantes é o de Silk Road, um mercado *online* da *dark-web*, que permitia a transação de drogas, sendo a mesma efetuada através de Bitcoins, precisamente por salvaguardarem a identidade dos agentes (DeVries, 2016). Outro exemplo é o de Mt. Gox, uma corretora de criptomoedas situada em Tokyo, que ao ser *hackeada*, o historial de cerca de 18 milhões de transações de Bitcoins entre abril de 2011 e novembro de 2013 foi exposto, contendo informações como o número de identificação dos agentes que estava associado ao número interno de quem usava a corretora (Gandal et al., 2018). Este acontecimento gerou uma perda de vários milhões de dólares para os utilizadores da corretora, culminando como o seu encerramento.

O impacto que as criptomoedas têm tido na economia mundial é elevado, existindo atualmente mais de 6.500 criptomoedas em circulação, segundo dados do CoinMarketCap³. A generalidade dos Bancos Centrais tem alertado para o uso crescente das criptomoedas e a sua legalidade, em particular, para a possibilidade de serem utilizadas para corrupção, dado o carácter de anonimato que as caracteriza. Gonzálvez-Gallego e Pérez-Cárceles (2021) defendem, no entanto, que a utilização das criptomoedas deve ser incentivada e não dissuadida, desde que sejam desenvolvidas medidas para controlar o seu uso, o que não deixa de ser paradoxal, uma vez que a existir esse enquadramento regulatório, a própria natureza descentralizada que esteve subjacente à sua criação deixaria de existir. Os autores referem ainda a necessidade de os governos promoverem instituições financeiras estáveis, pois só assim os cidadãos estarão menos inclinados na utilização de criptomoedas em alternativa às moedas ditas tradicionais. De notar que o fenómeno das criptomoedas teve origem precisamente na instabilidade provocada pela crise financeira internacional de 2008 e nas medidas regulatórias que se seguiram.

Uma outra opção é a criação de criptomoedas centralizadas. Esta hipótese está a ser considerada por diversos bancos centrais, como o Banco Central Europeu, o Banco de Inglaterra e o Banco Central da Suécia, propondo a criação das suas próprias moedas

³ <https://coinmarketcap.com/>.

digitais, as designadas CBDC (*Central Bank Digital Currency*). O Banco Central da Suécia, o *Riksbank*, apesar de ser o mais antigo da Europa, é o primeiro na corrida à criação de uma CBDC, a *e-krona*. Este projeto encontra-se ainda numa fase piloto, procurando perceber os efeitos que esta moeda poderá vir a ter na economia e na legislação sueca, bem como o melhor modelo para a sua criação (Sveriges Riksbank, 2021).

Tal como o caso da Suécia, também a China está na corrida para o desenvolvimento de uma moeda digital. Segundo a BBC⁴, desde 2019 que as transações de criptomoedas são proibidas neste país da Ásia Oriental. Ainda assim, de acordo com a Forbes⁵, a China pretende criar a sua própria moeda digital totalmente regulada e centralizada, contrariando deste modo o conceito inicial que esteve subjacente à criação das criptomoedas.

3. Dados e Metodologia

Tendo presente que o objetivo deste Trabalho de Projeto consiste na análise da volatilidade preço e volume de algumas das principais criptomoedas (Bitcoin, Dogecoin, Ethereum, BitcoinCash, Ripple, Stellar e Litecoin) comparativamente à volatilidade preço associada às designadas moedas reais, nomeadamente do Yuan, Iene, Dólar Canadiano, Real Brasileiro, Franco Suíço, Euro e Libra Esterlina, foram recolhidos dados relativos às suas cotações diárias, bem como relativamente ao seu volume de transação.

Os dados relativos às criptomoedas, particularmente no que diz respeito ao seu preço e ao seu volume de transação, foram retirados do sítio *Coindesk* (<https://www.coindesk.com/>). Para o preço, foi utilizada a cotação de fecho em dólares americanos (USD) e para o volume de transação o *1 Day Active Supply*. No que diz respeito aos dados das moedas reais, para cada uma das moedas selecionadas, foi considerada a taxa de câmbio bilateral nominal relativamente ao dólar americano, tendo estes dados sido recolhidos a partir da base de dados das séries monetárias da *Federal Reserve Bank of Saint Louis* (<https://www.stlouisfed.org/>).

⁴ [bbc.com/news/technology-58678907](https://www.bbc.com/news/technology-58678907).

⁵ <https://www.forbes.com/sites/annestevenson-yang/2022/01/12/crypto-vs-chinas-digital-currency-never-the-twain-shall-meet/?sh=b2f709c7555c>.

Para cada uma das variáveis consideradas no nosso estudo procurou-se sempre recolher o maior número de observações. Documenta-se na Tabela 1 a série de dados disponível (observação inicial e final) para as sete criptomoedas selecionadas.

Tabela 1: Criptomoedas (observação inicial e final)

Criptomoeda	Observação Inicial	Observação Final
Bitcoin	03/11/2014	05/11/2021
Dogecoin	27/02/2019	05/11/2021
Ethereum	16/12/2016	05/11/2021
BitcoinCash	01/02/2018	05/11/2021
Ripple	01/06/2018	05/11/2021
Stellar	01/12/2018	05/11/2021
Litecoin	01/02/2018	05/11/2021

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em dados retirados da CoinDesk (<https://www.coindesk.com/>).

Conforme se pode constatar, a criptomoeda que apresenta o menor número de observações é a Dogecoin, com observação inicial disponível apenas em 27/02/2019. Por esta razão, de modo a uniformizar o período de estudo em termos de análise comparativa, a sua escolha acabou por ser condicionada à disponibilidade de dados para esta criptomoeda, tendo-se então admitido como período de análise para todas as variáveis o período compreendido entre 27 de fevereiro de 2019 e 5 de novembro de 2021, o que ainda assim permite utilizar um número bastante significativo de observações, tendo em conta que se está a trabalhar com dados de elevada frequência. Este período foi também aplicado aos dados das taxas de câmbio das moedas reais. De notar que o mercado das criptomoedas funciona diariamente e o mercado das moedas reais funciona apenas nos 5 dias úteis da semana.

O modelo econométrico utilizado para estudar a volatilidade do conjunto de variáveis consideradas no nosso trabalho é o GARCH (*Generalized Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*).

O modelo original, o ARCH (*Autoregressive Conditional Heteroskedasticity*), foi criado em 1982 pelo Prémio Nobel da Economia Robert Engle (Engle, 1982). Os modelos ARCH são frequentemente utilizados para modelar séries temporais financeiras que exibem agrupamento de volatilidade variante com o tempo, isto é, períodos de instabilidade, alternados com períodos de relativa estabilidade. Trata-se,

portanto, de um modelo perfeitamente adequado ao estudo da volatilidade das séries de variáveis consideradas no Trabalho de Projeto.

Decorridos quatro anos desde a proposta do modelo ARCH por Engle, em 1986, Tim Bollerslev (Bollerslev, 1986), desenvolve uma extensão ao modelo original, o modelo GARCH. Este modelo caracteriza-se por apresentar não apenas os quadrados dos erros do passado, mas também os valores da variância passada. A forma mais simples do modelo GARCH (p,q) , em que o p traduz a componente autoregressiva e o q o coeficiente dos termos de erro (resíduos de retorno, em relação a um processo médio), é o GARCH $(1,1)$ e traduz-se na seguinte equação:

$$X_t = \varepsilon_t \delta_t, \quad (1)$$

em que X_t corresponde ao retorno logarítmico da série, ε_t é um ruído branco de média zero e δ_t representa a volatilidade:

$$X_t = \varepsilon_t \sqrt{\omega + \alpha X_{t-1}^2 + \beta \delta_{t-1}^2} \quad (2)$$

Uma característica deste modelo é que todos os termos não podem ser negativos, isto é, ω , α e $\beta \geq 0$. O termo α traduz o valor da série no período antecedente e β a volatilidade do período antecedente.

A seleção do modelo GARCH a utilizar passa não apenas pela determinação da componente autorregressiva (p) e do coeficiente dos termos de erro (q), mas também pela análise da ordem de integração (d) das variáveis. É exatamente essa análise que irá ser desenvolvida na seção seguinte, tendo em vista o estudo da volatilidade das séries de criptomoedas e moedas reais.

4. Criptomoedas e Moeda Real: Uma Análise de Volatilidade

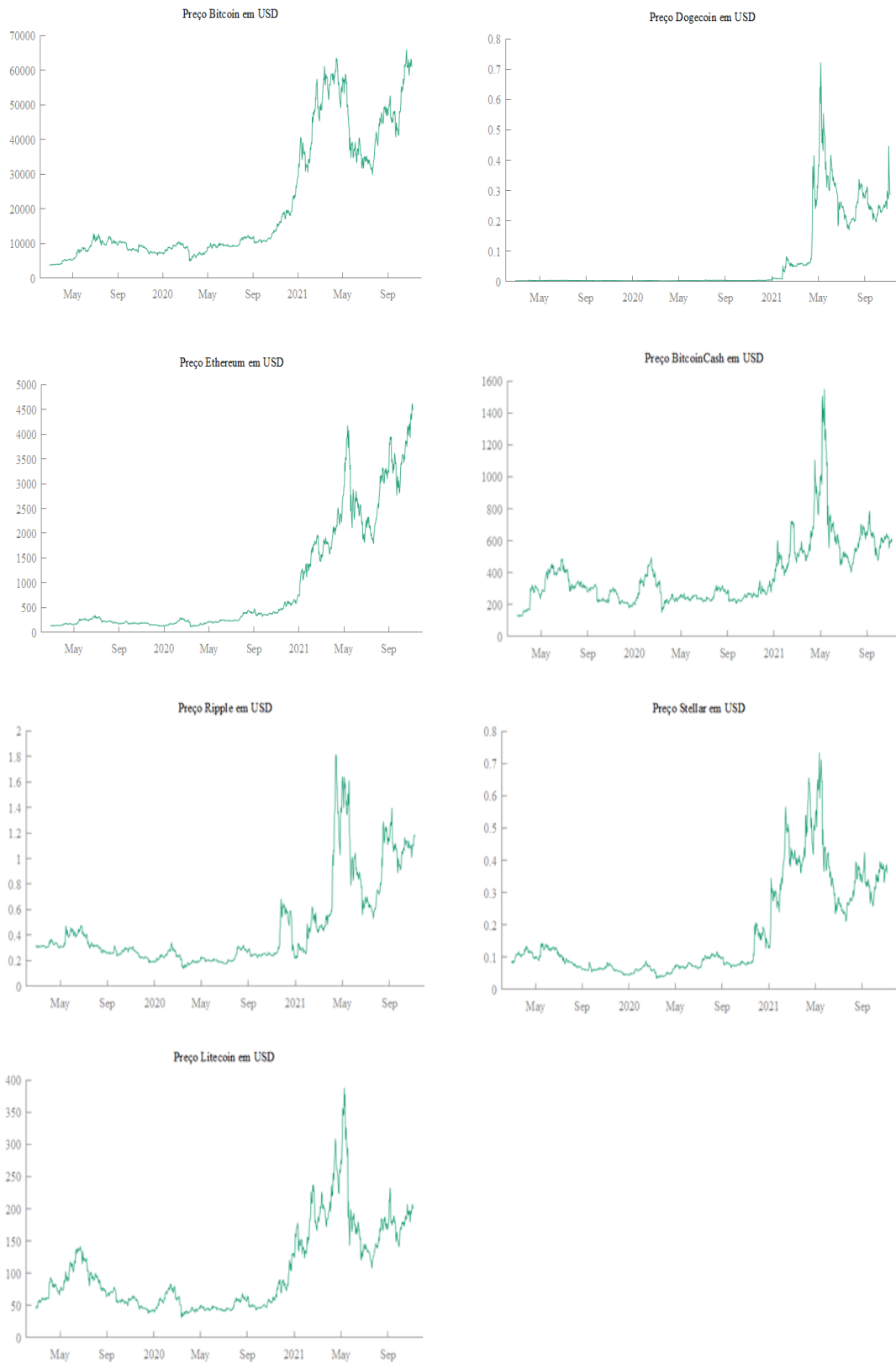
Uma vez que o principal objetivo deste Trabalho de Projeto é analisar a volatilidade do preço e do volume de algumas criptomoedas comparativamente à volatilidade preço de um conjunto selecionado de moedas reais tendo em vista averiguar se por esta via as criptomoedas poderão no futuro assumir as funções tradicionalmente reconhecidas às moedas reais e, desta forma, apresentarem mais semelhanças entre si do

que diferenças, a nossa análise empírica foi dividida em quatro grandes etapas: i) análise das dinâmicas comportamentais das séries de variáveis; ii) análise de estatística descritiva; iii) análise das características de estacionariedade das variáveis e iv) análise da volatilidade preço e volume das criptomoedas e moedas reais⁶.

As Figuras 1, 2 e 3 ilustram o comportamento do preço das criptomoedas, a evolução do seu volume diário de transações (*1 Day Active Supply*) e o comportamento das taxas de câmbio das moedas reais em termos de dólares americanos, respectivamente.

⁶ Uma vez que as moedas reais não utilizam sistemas como a *Blockchain* onde todas as transações ficam registradas, até porque, muitas vezes, as transações são feitas em mão, no caso das moedas reais não foi possível obter dados diretamente comparáveis com o volume de transações diárias das criptomoedas. Por esta razão, a análise de volatilidade das moedas reais será apenas realizada no que diz respeito ao seu preço (taxa de câmbio).

Figura 1: Preço das criptomoedas em USD



Fonte: Elaborado pela autora, baseado em dados retirados da CoinDesk (<https://www.coindesk.com/>).

Figura 2: Volume diário de transações de criptomoedas



Fonte: Elaborado pela autora, baseado em dados retirados da CoinDesk (<https://www.coindesk.com/>).

Figura 3: Taxa de câmbio das moedas reais em relação ao USD



Fonte: Elaborado pela autora, baseado em dados retirados do FRED (<https://fred.stlouisfed.org/>).

Observando a Figura 1, constata-se um crescimento geral nos preços das criptomoedas a partir do início do ano de 2021. Concretamente, no mês de maio de 2021, verifica-se um crescimento muito significativo dos preços em praticamente todas as criptomoedas. A Bitcoin (BTC) apresenta, claramente, os preços mais elevados comparativamente às restantes criptomoedas, tendo o preço mais alto sido alcançado em 26 de outubro de 2021 quando uma BTC passou a valer 63.081,80 dólares. Em contraste, a Dogecoin (DOGE) apresenta os preços comparativamente mais baixos. A sua cotação mais elevada ocorreu em 8 de maio de 2021, com um valor de 0,72 dólares por unidade de DOGE, portanto, muito longe do valor máximo registado pela BTC.

Por sua vez, olhando para a Figura 2, verifica-se que o número de transações diárias das criptomoedas atingiu valores bastante altos, confirmando-se assim a grande popularidade que hoje em dia as criptomoedas têm junto dos investidores e público em geral. Principalmente a Dogecoin (DOGE), a Ethereum (ETH), a Ripple (XRP) e a Stellar (XLM) registaram ao longo do período objeto de análise uma tendência crescente no seu volume de transações. Neste contexto, tudo parece indicar para que se possa considerar que as criptomoedas cumprem perfeitamente a função de meio de pagamento/instrumento de troca, elemento característico das moedas reais, pelo que por esta variável as suas semelhanças são muito maiores do que aquilo que as separa.

Relativamente às moedas reais (Figura 3), uma vez que estas são reguladas pelas autoridades monetárias de cada país ou zona monetária, não apresentam alterações tão significativas no seu preço (taxa de câmbio) como as observadas nas criptomoedas, o que desde já indicia a presença de uma menor volatilidade quando comparada com a das criptomoedas. Ainda assim, algumas destas moedas, como o Real Brasileiro (BRL), evidenciam uma depreciação relativamente acentuada em relação ao Dólar Americano (USD), nomeadamente a partir de janeiro de 2020. Em sentido inverso, temos o comportamento do Yuan (CNY) que a partir de maio de 2020 tem vindo a registar uma tendência muito significativa de apreciação relativamente à moeda americana. Em qualquer dos casos, o grau de variabilidade relativa destas moedas reais permanece muito baixo, o que naturalmente lhe confere uma vantagem comparativa face às criptomoedas no respeito da função de unidade de conta e de reserva de valor.

Não obstante o facto de a observação destas dinâmicas ajude a perceber as similitudes e diferenças entre o mundo das criptomoedas e a moeda real, uma análise

mais quantitativa dos dados será também fundamental, que é apresentado nas seções seguintes.

4.1. Estatísticas Descritivas

Após uma breve análise do comportamento do preço e volume de transações das criptomoedas e da taxa de câmbio das moedas reais, documenta-se nas Tabela 2, 3 e 4 as respectivas estatísticas descritivas do logaritmo natural dessas variáveis, informação que ajudará a complementar o que foi afirmado anteriormente.

Tabela 2: Estatísticas Descritivas em *log* do preço das Criptomoedas

	BTC	DOGE	ETH	BCH	XRP	XLM	LTC
Média	9,6166	-4,6987	6,1691	5,8410	-0,9892	-2,0640	4,4531
Mediana	9,2661	-5,8248	5,6194	5,7293	-1,1970	-2,3194	4,3084
Mínimo	8,2162	-6,4489	4,6894	4,8107	-1,9761	-3,4117	3,4073
Máximo	11,0980	-0,3253	8,4350	7,3460	0,5932	-0,3075	5,9616
Desvio padrão	0,8131	1,9444	1,1541	0,4552	0,6056	0,7760	0,5867
C.V.	0,0846	0,4138	0,1871	0,0779	0,6122	0,3760	0,1317
Assimetria	0,4538	1,0207	0,6325	0,5011	0,8513	0,5215	0,4091
Curtose	-1,1804	-0,7516	-1,1899	-0,0887	-0,4009	-1,0817	-1,0749

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em dados retirados da CoinDesk (<https://www.coindesk.com/>).

Tabela 3 – Estatísticas descritivas em *log* do volume das criptomoedas

	BTC	DOGE	ETH	BCH	XRP	XLM	LTC
Média	30,9040	36,5450	36,4920	31,5190	35,9910	36,5120	32,4130
Mediana	31,0910	36,4510	36,9820	31,6840	36,1890	36,8580	32,5540
Mínimo	26,0200	29,1780	30,2100	23,0670	30,8090	30,2750	25,5280
Máximo	32,1620	38,9260	37,8730	33,0610	37,5550	38,9260	33,9500
Desvio padrão	0,7951	1,3440	1,2464	0,8944	0,8846	1,1999	0,9416
C.V.	0,0257	0,0368	0,0342	0,0284	0,0246	0,0329	0,0290
Assimetria	-2,7719	-1,1396	-1,4411	-2,3387	-2,4964	-1,3860	-2,1356
Curtose	9,3376	2,9366	2,3073	11,1530	7,9587	2,6952	6,9297

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em dados retirados da CoinDesk (<https://www.coindesk.com/>).

Tabela 4: Estatísticas descritivas em log das moedas reais

	CNY	JPY	CAD	BRL	CHF	EUR	GBP
Média	1,9122	4,6834	0,2679	1,5692	-0,0546	0,1386	0,2706
Mediana	1,9207	4,6869	0,2749	1,6427	-0,0599	0,1287	0,2664
Mínimo	1,8512	4,6301	0,1849	1,3177	-0,1297	0,0660	0,1391
Máximo	1,9711	4,7389	0,3743	1,7784	0,0216	0,2066	0,3498
Desvio padrão	0,0375	0,0221	0,0372	0,1439	0,0411	0,0373	0,0445
C.V.	0,0196	0,0047	0,1389	0,0917	0,7523	0,2692	0,1645
Assimetria	-0,1307	-0,1110	-0,0093	-0,4466	0,0465	0,1090	-0,0825
Curtose	-1,5540	-0,3839	-0,1537	-1,4802	-1,4115	-1,3411	-0,8978

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em dados retirados do FRED (<https://fred.stlouisfed.org/>)

Analisando as estatísticas descritivas do preço das criptomoedas (Tabela 2), verifica-se que os seus valores são bastante diferentes entre si. Como seria de esperar pela sua popularidade, a BTC, seguida da Ethereum (ETH), apresenta o preço médio mais elevado, enquanto os preços médios da DOGE, da XRP e da XLM são negativos, elemento a ter particularmente em atenção quando se olha para as criptomoedas apenas enquanto investimento especulativo. Já a DOGE, confirmando o observado anteriormente, apresenta o preço médio mais baixo.

A análise do desvio padrão coloca também mais uma vez em evidência o elevado grau de volatilidade do preço (Tabela 2) e do volume transacionado (Tabela 3) associado às criptomoedas, com particular destaque para a volatilidade preço da DOGE e ETH e da volatilidade do volume transacionado da DOGE, ETH e XLM. Resultado aparentemente surpreendente é o facto de a BTC apresentar o valor mais baixo (0,7951) em termos de desvio padrão do volume transacionado. Contudo, tal poderá ser explicado por uma frequência muito constante na procura desta criptomoeda, o que faz com o grau de variabilidade do seu volume transacionado seja relativamente baixo. Já a BCH é a criptomoeda com menor grau de volatilidade em termos de preço (0,4552), quando medida pelo valor do desvio padrão.

Por sua vez, analisando as estatísticas descritivas das moedas reais (Tabela 4), apesar de terem sido seleccionadas moedas pertencentes a diferentes áreas monetárias e espaços geográficos, constata-se que os valores não são tão díspares entre si. O Iene

(JPY) apresenta o maior valor em termos de média, mediana e máximo, enquanto o Franco Suíço (CHF) apresenta os menores valores de média e mediana.

Em relação ao desvio-padrão, confirma-se mais uma vez a maior volatilidade no Real brasileiro (BRL), ainda assim muito distante da volatilidade observada em qualquer das criptomoedas anteriormente analisadas. Já o comportamento mais estável é observado no JPY, seguido do dólar Canadano (CAD), Euro (EUR) e Yuan (CNY), como seria expectável tendo em conta o papel exercido por estas moedas enquanto moedas de reserva internacional. Curiosamente, das sete moedas reais analisadas, a Libra Esterlina (GBP), depois do BRL, é aquela que evidencia maior variabilidade, facto que poderá ser explicado pela perda de importância da moeda britânica enquanto unidade de conta e reserva de valor internacional, mas também pela recente decisão de abandono da União Europeia, decisão que ficou conhecida por BREXIT.

Comparando as Tabelas 2 e 4, é possível constatar de forma muito evidente a enorme discrepância de valores no que diz respeito, em particular, ao desvio padrão das variáveis, com as criptomoedas a apresentarem uma volatilidade consideravelmente mais alta quando comparada com a volatilidade das moedas reais. Mesmo o valor mais elevado do desvio-padrão das moedas reais (0,1439 na BRL) é significativamente mais baixo do que o menor valor do desvio-padrão do preço das criptomoedas (0,4552 na BCH). Este resultado parece assim confirmar empiricamente a dificuldade por parte das criptomoedas poderem num futuro próximo vir a exercer as funções de unidade de conta e de reserva de valor. Reforçando a ideia de que apenas com “boa vontade” as criptomoedas poderão ser consideradas moedas.

4.2. Análise das Características de Estacionariedade das Variáveis

Para a análise das características de estacionariedade das séries do preço, do volume transacionado e taxas de câmbio foram efetuados os tradicionais testes de raiz unitária, o teste de Dickey-Fuller Aumentado (Dickey e Fuller, 1979) – teste ADF – e de estacionariedade de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (Kwiatkowski et al., 1992) – teste KPSS. O teste ADF apresenta como hipótese nula a presença de raiz unitária. Já a hipótese nula do teste KPSS é a existência de estacionariedade.

Mais uma vez, a análise foi desenvolvida a partir do logaritmo natural das variáveis. Os resultados destes testes encontram-se documentados na Tabela 5.

Tabela 5: Testes de raiz unitária e estacionariedade

	ADF				KPSS			
	Nível		1ª Diferença		Nível		1ª Diferença	
	C	T	C	NC	C	T	C	T
Preço								
BTC	-0,78	-1,72	-14,73***	-14,54***	10,23***	1,53***	0,09	0,09
DOGE	0,01	-1,46	-16,38***	-16,28***	9,03***	2,51***	0,28	0,09
ETH	0,18	-1,63	-9,44***	-9,19***	10,68***	2,48***	0,20	0,06
BCH	-2,55	-3,01	-14,40***	-14,37***	6,02***	1,26***	0,05	0,05
XRP	-0,98	-2,03	-22,43***	-22,42***	6,56***	2,29***	0,11	0,03
XLM	-0,87	-1,87	-32,87***	-32,87***	8,01***	2,01***	0,11	0,06
LTC	-1,35	-1,84	-14,43***	-14,41***	5,88***	2,03***	0,09	0,07
Volume								
BTC	-6,93***	-6,93***	---	---	0,15	0,14*	---	---
DOGE	-31,05***	-31,03***	---	---	0,05	0,03	---	---
ETH	-32,03***	-32,17***	---	---	0,59**	0,05	---	---
BCH	-3,80***	-4,05***	-14,39***	-14,40***	2,47***	0,68***	0,01	0,01
XRP	-19,90***	-28,98***	---	---	1,78***	0,19*	---	---
XLM	-29,98***	-29,96***	---	---	0,06	0,06	---	---
LTC	-2,95*	-19,00***	-12,62***	-12,63***	4,59***	0,28***	0,00	0,00
X/USD								
CNY	-0,10	-2,33	-28,52***	-28,52***	6,88***	1,69***	0,52**	0,15**
JPY	-1,78	-0,66	-8,22***	-8,21***	1,43***	1,42***	0,15	0,03
CAD	-1,21	-2,10	-14,93***	-14,92***	5,62***	1,37***	0,11	0,05
BRL	-1,50	-1,69	-17,39***	-17,34***	7,98***	1,61***	0,11	0,05
CHF	-1,53	-2,20	-12,35***	-12,31***	8,47***	1,06***	0,05	0,04
EUR	-1,50	-2,16	-23,03***	-23,06***	6,79***	1,03***	0,11	0,11
GBP	-1,34	-2,54	-11,35***	-11,36***	6,36***	1,03***	0,09	0,06

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em dados retirados da CoinDesk e do FRED (<https://www.coindesk.com/> e <https://fred.stlouisfed.org/>).

Nota: Todos os valores foram reduzidos a duas casas decimais. O número de lags foi definido através do critério de informação de Akaike (AIC). O “C” significa que os testes foram realizados com constante e o “T” que foram realizados com tendência. O “NC” traduz que os testes foram realizados sem constante. Os asteriscos “*”, “**” e “***” correspondem à rejeição da hipótese nula para um nível de significância de 10%, 5% e 1%, respectivamente. X/USD representa a taxa de câmbio das moedas reais relativamente ao dólar americano.

Conforme se pode constatar, com exceção dos volumes da Bitcoin (BTC), Dogecoin (DOGE), Ethereum (ETH), Ripple (XRP) e da Stellar (XLM), que se apresentam I(0), as restantes séries de variáveis são todas I(1), ou seja, necessitam de uma diferenciação para se tornarem estacionárias. Deste modo, estão encontradas condições para prosseguir para a análise da volatilidade dos preços e do volume transacionado.

4.3. Volatilidade dos Preços e do Volume Transacionado

Conforme referido anteriormente, a metodologia utilizada para estudar a volatilidade dos preços das criptomoedas e das moedas reais, bem como da volatilidade do volume transacionado das criptomoedas foi o modelo GARCH. É contudo necessário escolher o melhor modelo GARCH a utilizar tendo em conta o grau de integração das variáveis anteriormente determinado. Para o efeito foi utilizado o critério de informação de Schwarz (BIC). Documenta-se na Tabela 6 os resultados obtidos.

Tabela 6: Seleção do modelo GARCH através do critério BIC

Seleção do modelo GARCH (p,d,q) Critério de informação de Schwarz (BIC)						
Preço	(0,1,0)	(0,1,1)	(1,1,1)	(1,1,2)	(2,1,1)	(2,1,2)
BTC	-3446,326	-3450,232	-3489,033	-3491,084	a	-3509,871
DOGE	-1996,742	b	b	b	b	b
ETH	-2973,936	-2982,069	-3075,275	-3074,848	a	-3082,319
BCH	-2639,268	-2659,053	-2745,068	-2738,418	a	a
XRP	-2788,030	-2998,355	-3086,216	b	-3094,440	a
XLM	-2658,027	-2784,267	-2849,884	-2840,674	-2844,176	-2836,228
LTC	-2856,555	-2879,011	-2935,018	-2929,011	a	-2926,342
Volume	(0,0,0)	(0,0,1)	(1,0,1)	(1,0,2)	(2,0,1)	(2,0,2)
BTC	2358,613	2358,805	a	b	b	b
DOGE	3390,504	b	b	b	b	b
ETH	3242,343	3249,234	3255,893	3262,379	a	a
XRP	2568,194	b	a	b	b	b
XLM	3167,616	3172,922	3178,488	3185,65	3184,305	b
BCH	(0,1,0) 2990,292	(0,1,1) 2697,215	(1,1,1) a	(1,1,2) b	(2,1,1) a	(2,1,2) b
LTC	3148,85	2910,417	2917,54	b	2924,763	b
X/USD	(0,1,0)	(0,1,1)	(1,1,1)	(1,1,2)	(2,1,1)	(2,1,2)
CNY/USD	-6453,350	b	-6459,048	a	-6455,156	a
JPY/USD	-5745,623	-5828,954	-5865,031	-5858,285	-5859,034	-5852,438
CAD/USD	-5682,110	-5705,541	-5773,718	-5767,464	-5767,163	-5766,025
BRL/USD	-4412,343	B	-4496,329	-4490,367	-4489,770	-4485,982
CHF/USD	-5763,060	-5794,890	-5789,775	-5782,537	-5787,542	-5777,204
EUR/USD	-5860,977	b	-5923,988	-5917,693	a	a
GBP/USD	-5296,737	-5328,610	-5398,501	-5394,213	-5391,836	-5387,770

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em dados retirados da CoinDesk e do FRED (<https://www.coindesk.com/> e <https://fred.stlouisfed.org/>).

Nota: As letras *a* e *b* identificam erros. No caso da letra *a*, a matriz não é definida positivamente e, no caso da letra *b*, a norma de gradiente excedia o máximo de 5. X/USD representa a taxa de câmbio das moedas reais relativamente ao dólar americano.

O critério de informação de informação de Schwarz, também designado de critério de informação Baysiano (BIC), foi desenvolvido em 1978 por Gideon E. Schwarz e defende que para um conjunto finito de modelos, aquele que apresentar o menor valor de BIC, será o mais adequado (Schwarz, 1978). Os valores a negrito da Tabela 6 identificam o modelo selecionado.

Efetuada a escolha do modelo GARCH mais adequado para cada uma das variáveis, o último passo consiste em analisar a variação do erro incondicional de cada um desses modelos. A Tabela 7 apresenta os resultados da variação do erro incondicional para o preço e volume transacionado das criptomoedas, bem como para as taxas de câmbio das sete moedas reais selecionadas.

Tabela 7: Variação do erro incondicional

Criptomoedas – Preço		Criptomoedas – Volume		Moedas Reais – X/USD	
XRP	0,0189115	DOGE	1,80441	GBP/USD	2,86E+00
XLM	0,00751922	ETH	1,55195	CAD/USD	1,66E+00
DOGE	0,00750439	LTC	1,50694	CHF/USD	1,60E+00
BCH	0,00463106	XLM	1,43834	JPY/USD	1,42E+00
LTC	0,00340334	BCH	1,31448	EUR/USD	1,30E+00
ETH	0,00307853	XRP	0,78169	BRL/USD	1,13E-04
BTC	0,00213499	BTC	0,63160	CNY/USD	5,87E-01

Fonte: Elaborado pela autora, baseado em dados retirados da CoinDesk e do FRED (<https://www.coindesk.com/> e <https://fred.stlouisfed.org/>).

Nota: Os valores encontram-se ordenados por ordem decrescente de grandeza. X/USD representa a taxa de câmbio das moedas reais relativamente ao dólar americano.

A variação do erro incondicional indica a volatilidade de cada série. Analisando a Tabela 7, verifica-se que no caso do preço das criptomoedas, a Ripple (XRP) é a criptomoeda que apresenta o maior valor, com uma variação do erro incondicional de 0,0189115. Surpreendentemente, a Bitcoin (BTC) é a criptomoeda que apresenta a menor volatilidade preço, registando uma variação do erro incondicional de 0,00213499. Ainda assim, quando comparada a sua volatilidade com a volatilidade de qualquer uma das taxas de câmbio das moedas reais, constata-se que a volatilidade da mais famosa e bem-sucedida criptomoeda é consideravelmente mais elevada,

confirmado-se assim mais uma vez que dificilmente o mundo das criptomoedas poderá substituir-se ao das moedas ditas de tradicionais.

Analisando os resultados para o caso dos volumes transacionados de criptomoedas, a realidade é algo semelhante, embora ainda mais reveladora da dificuldade das criptomoedas poderem num futuro próximo assumir as funções de unidade de conta e de reserva de valor. Conforme se pode constatar, as criptomoedas apresentam uma volatilidade nos seus volumes ainda mais elevada do que nos preços, pondo claramente em evidência que muitas das suas transações têm por base investimentos meramente especulativos, criando necessariamente efeitos muito perturbadores de curto prazo, patentes na sua elevada volatilidade diária. Entre as sete criptomoedas analisadas, a que apresenta maior volatilidade é a Dogecoin (DOGE), com um valor de 1,80441, seguida da Ethereum (ETH) com uma variação do erro incondicional de 1,55195. Já a Bitcoin (BTC), como seria de esperar no caso dos volumes transacionados, pelas razões anteriormente apontadas, é a criptomoeda que apresenta a menor volatilidade, com uma variação do erro incondicional de 0,63160.

Neste contexto, pode-se então afirmar que embora atualmente se esteja em presença de um admirável mundo das criptomoedas, este mesmo mundo apresenta ainda muitas incertezas e um elevado grau de volatilidade nos seus preços e volumes transacionados, pelo que dificilmente as criptomoedas poderão substituir de forma perfeita as atuais moedas físicas de banco central.

5. Conclusão

Este Trabalho de Projeto teve como objetivo estudar a volatilidade de sete das principais criptomoedas (Bitcoin, Dogecoin, Ethereum, BitcoinCash, Ripple, Stellar e Litecoin) atualmente transacionadas nas várias casas de câmbio existentes, por comparação com sete moedas “reais” de banco central (Yuan, Iene, Dólar Canadiano, Real Brasileiro, Franco Suíço, Euro e Libra Esterlina) pertencentes a diferentes áreas monetárias e regiões geográficas.

Procurou-se analisar as semelhanças e diferenças entre o mundo das criptomoedas e o mundo das designadas moedas físicas tradicionais, nomeadamente no que diz respeito à satisfação pelas primeiras das três grandes funções usualmente

reconhecidas a uma moeda: a função de meio de pagamento/instrumento de troca, de unidade de conta e de reserva de valor.

Depois de uma análise prévia às dinâmicas comportamentais das séries de variáveis (preço, volume transacionado e taxas de câmbio) e da investigação das suas características de estacionariedade, foram utilizados modelos generalizados de heteroscedasticidade condicional auto-regressiva (modelos GARCH) no sentido de examinar o grau de volatilidade das criptomoedas relativamente à volatilidade das moedas reais.

Os resultados apontam para uma volatilidade do preço das criptomoedas consideravelmente mais elevada quando comparada com a das moedas centralizadas, sendo a volatilidade dos volumes transacionados das criptomoedas ainda significativamente mais elevada. De entre as sete criptomoedas analisadas, a que apresentou maior volatilidade volume foi a Dogecoin, seguida da Ethereum. Com alguma surpresa, constatou-se que a Bitcoin foi a criptomoeda que registou a menor volatilidade preço. Ainda assim, quando comparada com a volatilidade de qualquer uma das taxas de câmbio das moedas reais, constatou-se que a volatilidade da mais famosa e bem-sucedida criptomoeda é consideravelmente mais elevada.

Neste contexto, conclui-se que as criptomoedas estão ainda longe de cumprirem todos os requisitos para poderem ser consideradas como uma moeda, nomeadamente no que diz respeito à função de reserva de valor e de unidade de conta. Com muito boa vontade, as criptomoedas poderão apenas ser entendidas como um substituto imperfeito das moedas reais, não sendo todavia de excluir a hipótese de futuramente poderem vir a ser aceites como moedas ditas reais. Contudo, neste momento, as moedas centralizadas são sem dúvida as mais seguras e estáveis, sendo as criptomoedas ainda vistas e procuradas essencialmente como um ativo financeiro especulativo.

Bibliografia

Aalborg, H. A., Molnár, P., & de Vries, J. E. (2019). What can explain the price, volatility and trading volume of Bitcoin?. *Finance Research Letters*, 29, 255-265. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.08.010>.

- Aldridge, J., & Askew, R. (2017). Delivery dilemmas: How drug cryptomarket users identify and seek to reduce their risk of detection by law enforcement. *International Journal of Drug Policy*, *41*, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.drugpo.2016.10.010>.
- Bação, P., Duarte, A. P., Sebastião, H., & Redzepagic, S. (2018). Information transmission between cryptocurrencies: does bitcoin rule the cryptocurrency world?. *Scientific Annals of Economics and Business*, *65*(2), 97-117.
- Balcilar, M., Bouri, E., Gupta, R., & Roubaud, D. (2017). Can volume predict Bitcoin returns and volatility? A quantiles-based approach. *Economic Modelling*, *64*, 74-81. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2017.03.019>.
- Baur, D. G., Hong, K., & Lee, A. D. (2018). Bitcoin: Medium of exchange or speculative assets?. *Journal of International Financial Markets, Institutions and Money*, *54*, 177-189. <https://doi.org/10.1016/j.intfin.2017.12.004>.
- Blau, B. M. (2017). Price dynamics and speculative trading in bitcoin. *Research in International Business and Finance*, *41*, 493-499. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2017.05.010>.
- Bollerslev, Tim. Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity. *Journal of Econometrics*, *31*(3), 307–327. doi:10.1016/0304-4076(86)90063-1
- Bouri, E., Lau, C. K. M., Lucey, B., & Roubaud, D. (2019). Trading volume and the predictability of return and volatility in the cryptocurrency market. *Finance Research Letters*, *29*, 340-346. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.08.015>.
- Cagli, E. C. (2019). Explosive behavior in the prices of Bitcoin and altcoins. *Finance Research Letters*, *29*, 398-403. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.09.007>.
- Cheah, E. T., & Fry, J. (2015). Speculative bubbles in Bitcoin markets? An empirical investigation into the fundamental value of Bitcoin. *Economics letters*, *130*, 32-36. <https://doi.org/10.1016/j.econlet.2015.02.029>.
- Choi, S., Choi, K. S., Sungu-Eryilmaz, Y., & Park, H. K. (2020). Illegal Gambling and Its Operation via the Darknet and Bitcoin: An Application of Routine Activity Theory. *International Journal of Cybersecurity Intelligence & Cybercrime*, *3*(1), 3-23. <http://vc.bridgew.edu/theses/64>.
- Cuervo, Cristina; Morozova, Anastasiia; Sugimoto, Nobuyasu (2019). Regulation of Crypto Assets, *International Monetary Fund*.

<https://www.imf.org/en/Search#q=cryptocurrency&sort=%40imfdate%20descending>.

- DeVries, P. D. (2016). An analysis of cryptocurrency, bitcoin, and the future. *International Journal of Business Management and Commerce*, 1(2), 1-9.
- Dickey, D. & Fuller, W. (1979). "Distribution of the Estimators for Time Series Regressions with a Unit Root", *Journal of the American Statistical Association*, 74, 427-31.
- Duarte, A.P., Sebastião, H. & Bação, P. (2018). Bitcoin e o tão Admirável, como Desconhecido, Mundo das Criptomoedas. *DESAFIOS*, Revista de Desenvolvimento Regional editada pela NERLEI – Associação Empresarial da Região de Leiria, 67, 30-1.
- Durrant, Sarah (2018). Understanding the Nexus between Cryptocurrencies and Transnational Crime Operations, CUNY Academic Works, New York. https://academicworks.cuny.edu/jj_etds/70.
- Dyhrberg, A. H. (2016). Bitcoin, gold and the dollar—A GARCH volatility analysis. *Finance Research Letters*, 16, 85-92. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2015.10.008>.
- Eichengreen, B. (2019). *From commodity to fiat and now to crypto: what does history tell us?* National Bureau of Economic Research Working Paper, No. 25426, Janeiro.
- Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of the Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4), 987–1007. doi:10.2307/1912773
- Fink, C., & Johann, T. (2014). Bitcoin markets. *SSRN 2408396*.
- Gandal, N., Hamrick, J. T., Moore, T., & Oberman, T. (2018). Price manipulation in the Bitcoin ecosystem. *Journal of Monetary Economics*, 95, 86-96.
- Gonzálvez-Gallego, N., & Pérez-Cárceles, M. C. (2021). Cryptocurrencies and illicit practices: The role of governance. *Economic Analysis and Policy*, 72, 203-212.
- Hazlett, P. K., & Luther, W. J. (2020). Is bitcoin money? And what that means. *The Quarterly Review of Economics and Finance*, 77, 144-149.
- Helleiner, E. (2018). *The making of national money: Territorial Currencies in Historical Perspectives*, Cornell University Press.
- Hendrickson, J. R., & Luther, W. J. (2021). Cash, crime, and cryptocurrencies. *The Quarterly Review of Economics and Finance*.

- Jevons, W. S., 1896. *Money and the Mechanism of Exchange*. New York: D. Appleton and Company.
- Katsiampa, P. (2019). An empirical investigation of volatility dynamics in the cryptocurrency market. *Research in International Business and Finance*, 50, 322-335. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2019.06.004>.
- Katsiampa, P. (2019). Volatility co-movement between Bitcoin and Ether. *Finance Research Letters*, 30, 221-227. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2018.10.005>.
- Katsiampa, P., Corbet, S., & Lucey, B. (2019). Volatility spillover effects in leading cryptocurrencies: A BEKK-MGARCH analysis. *Finance Research Letters*, 29, 68-74. <https://doi.org/10.1016/j.frl.2019.03.009>.
- Kristoufek, L. (2013). BitCoin meets Google Trends and Wikipedia: Quantifying the relationship between phenomena of the Internet era. *Scientific reports*, 3(1), 1-7. <https://doi.org/10.1038/srep03415>.
- Kwiatkowski, D; Phillips. P. C. B.; Schmidt, P. & SHIN, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root". *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159-78.
- Kumar, A. S., & Anandarao, S. (2019). Volatility spillover in crypto-currency markets: Some evidences from GARCH and wavelet analysis. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 524, 448-458. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2019.04.154>.
- Makarov, I., & Schoar, A. (2020). Trading and arbitrage in cryptocurrency markets. *Journal of Financial Economics*, 135(2), 293-319. <https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.07.001>.
- McLeay, M., Radia, A., & Thomas, R. (2014). Money in the modern economy: an introduction. *Bank of England Quarterly Bulletin*, Q1. <https://ssrn.com/abstract=2416229>.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. *Decentralized Business Review*, 21260.
- Pacheco, A. (2018). Bitcoin. Editora Self.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6(2), 461-464. doi: 10.1214 / aos / 1176344136 , MR 0468014.
- Spahn, H. P. (2001). From gold to euro: On monetary theory and the history of currency systems. Springer Science & Business Media.

- Steinmetz, F., von Meduna, M., Ante, L., & Fiedler, I. (2021). Ownership, uses and perceptions of cryptocurrency: Results from a population survey. *Technological Forecasting and Social Change*, 173, 121073.
- Sveriges Riskbank (2021): E-krona, Abril 2021.
- Swamy, S., Thompson, R., & Loh, M. (2019). *Crypto Uncovered: The Evolution of Bitcoin and the Crypto Currency Marketplace*. Springer.
- Tiwari, A. K., Adewuyi, A. O., Albulescu, C. T., & Wohar, M. E. (2019). Empirical evidence of extreme dependence and contagion risk between main cryptocurrencies. *The North American Journal of Economics and Finance*, 51, 101083. <https://doi.org/10.1016/j.najef.2019.101083>
- Wallace, B., (2011). “The Rise and Fall of Bitcoin”, *Wired*, November 23. http://www.wired.com/magazine/2011/11/mf_bitcoin.
- Yermack, D. (2013). Is Bitcoin a real currency? An economic appraisal (No. w19747). *National Bureau of Economic Research*, 36(2), 843-850.
- Yi, S., Xu, Z., & Wang, G. J. (2018). Volatility connectedness in the cryptocurrency market: Is Bitcoin a dominant cryptocurrency?. *International Review of Financial Analysis*, 60, 98-114. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2018.08.012>.