

Preços dos Non-Fungible Tokens (NFTs), Criptomoedas, Taxa de Juros e Ouro: uma análise econométrica (jan. de 2019 – ago. de 2022)¹

Pedro Raffy Vartanian

Professor de Economia na Universidade Presbiteriana Mackenzie
pedro.vartanian@mackenzie.br

Alvaro Alves de Moura Jr

Professor de Economia na Universidade Presbiteriana Mackenzie
alvarojr2003@mackenzie.br

Joaquim Carlos Racy

Professor de Economia na Universidade Presbiteriana Mackenzie
racjo@uol.com.br

Roberto Simioni

Mestrando em Economia na Universidade Presbiteriana Mackenzie
bob.simioni@yahoo.com

Resumo

Em maio de 2014, a animação “Quantum” foi a primeira obra a ser associada a um certificado do tipo NFT (Non-fungible Tokens). A partir de 2020 o mercado evoluiu consideravelmente, com cifras milionárias e crescimento exponencial típico de novas tecnologias disruptivas. Considerando a ascensão do mercado de NFTs no período recente, destaca-se a importância de se compreender o funcionamento e, sobretudo, os determinantes de preços dos NFTs. Para tanto, a partir de uma análise detalhada deste novo mercado, será aplicado um modelo econométrico multivariado GARCH com o objetivo de se avaliar se é possível identificar os determinantes de preços dos NFTs, a partir do comportamento dos preços das criptomoedas (Bitcoin e Ethereum), da taxa de juros dos EUA e do preço do ouro. A pesquisa tem como base o estudo de Dowling (2021), que buscou analisar relações entre os preços dos NFTs e as criptomoedas. Os resultados encontrados sugerem que os preços dos NFTs seguem uma dinâmica própria e independente das cotações das criptomoedas, da taxa de juros e do preço do ouro, a despeito de se identificar algumas relações pontuais no período analisado.

Palavras-chave: NFT. Criptomoedas, Garch Multivariado.

Classificação JEL: E40, O30, C58

Abstract

In May 2014, the animation “Quantum” was the first work to be associated with an NFT (Non-fungible Tokens) type certificate. As of 2020, the market has evolved considerably, with millionaire figures and exponential growth typical of new disruptive technologies. Considering the rise of the NFTs market in the recent period, it is important to understand how it works and, above all, the determinants of NFTs prices are highlighted. Therefore, based on a detailed analysis of this new market, a GARCH multivariate econometric model will be applied in order to assess whether it is possible to identify the price determinants of NFTs, based on the behavior of cryptocurrencies prices (Bitcoin and Ethereum), the US interest rate and the price of gold. The research is based on the study by Dowling (2021), which sought to analyze relationships between the prices of NFTs and cryptocurrencies. The results found coincide with the prices of NFTs that are similar and independent of cryptocurrencies, the interest rate and the price of gold, some specific differences to identify a determined period.

Keywords: NFT. Cryptocurrencies. Multivariate Garch.

JEL Classification: E40, O30, C58.

¹ Os autores agradecem o apoio financeiro do MackPesquisa.

1. Introdução

Em maio de 2014, a animação “Quantum”, de autoria do artista Kevin McCoy, foi a primeira obra a ser associada a um certificado do tipo NFT (Non Fungible Tokens), antes mesmo do termo ser cunhado. Um Token Não Fungível é um certificado de propriedade relacionado a qualquer tipo de produto digital, como uma imagem, foto ou texto, entre outros. Menos de 10 anos depois do “certificado de autenticidade” da Quantum, a Sotheby’s (uma das mais importantes galerias internacionais especializadas em leilões de arte) vendeu o NFT por US\$ 1,4 milhão.

Especialmente a partir de 2020, o mercado de NFTs evoluiu consideravelmente, com cifras milionárias e crescimento exponencial típico de novas tecnologias disruptivas. Apenas como exemplo, o primeiro tuíte foi vendido como NFT por mais de US\$ 2,9 milhões pelo próprio presidente do Twitter em março de 2021. Em junho de 2021, ocorreu o primeiro leilão de arte em NFT totalmente brasileiro, com o leilão da obra do artista plástico Bel Borba, que gerou uma arrecadação de R\$ 13.000,00.

Os NFTs são, portanto, obras de arte digitais que contemplam uma série de subtipos de obras registrados em cadeias blockchain, da mesma forma que as moedas digitais, como Bitcoin, Ethereum, etc. O registro da propriedade em blockchain assegura, pelas características intrínsecas ao sistema, a confiabilidade e a garantia de inviolabilidade da propriedade do ativo. O mercado de NFTs é mais amplo do que o de arte, já que praticamente tudo o que está em meio digital pode ser registrado sob a forma de um NFT como vídeos, GIFs, música, obras literais e jogos, entre outros.

Considerando a ascensão do mercado de NFTs no período recente, destaca-se a importância de se compreender o funcionamento deste mercado e, sobretudo os determinantes de preços de NFTs, tendo em vista os impactos desse novo mercado no mundo da tecnologia que, como várias outras tecnologias disruptivas, vem apresentando crescimento exponencial, podendo, inclusive, ampliar as oportunidades de atuação no contexto da economia brasileira. A interpretação do comportamento dinâmico dos preços dos NFTs contribui para uma série de questões, como o próprio desenvolvimento do mercado para empreendedores e a possibilidade de diversificação de carteiras para investidores.

Nesse contexto, este artigo está organizado em cinco seções, além desta introdução. A próxima seção contempla o referencial teórico, com ênfase no funcionamento e evolução do mercado de NFTs, blockchain e criptomoedas, além da análise de possíveis determinantes de preços de NFTs. Na seção 3, apresenta-se a metodologia da pesquisa, com destaque para os dados e o modelo econométrico multivariado de volatilidade (GARCH multivariado). Na seção 4 são apresentados os resultados obtidos a partir do modelo econométrico estimado à luz da teoria desenvolvida, seguida pelas considerações finais na seção 5.

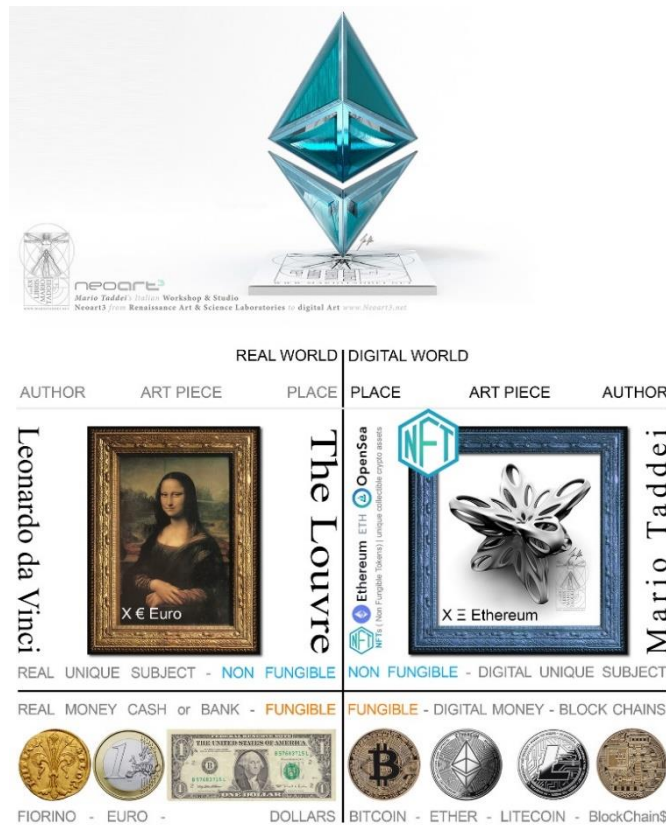
2. Referencial Teórico

2.1 O Mercado de NFT’s e a evolução recente

Um NFT começa, segundo Dowling (2021), com o registro da propriedade de um ativo digital em um blockchain, geralmente em uma rede Ethereum, podendo a partir daí ser comercializado, mediante mudança de titularidade e pagamento da criptomoeda recebida e registrada no blockchain. Um NFT pode ter como objeto qualquer ativo digital, sendo o mais comum o de obras de arte.

Em abordagem recente, Chohan (2021) teve como objetivo analisar os NFT's com o objetivo de detectar se as suas características de fato podem ou não agregar valor real, inclusive em razão de sua escassez, como é o caso das NFT's de arte. Segundo o autor, em dezembro de 2020, o comércio de NFT's gerou US\$ 12 milhões, e, apenas dois meses depois, passou a US\$ 340 milhões. Em um leilão recente, um peça de arte tokenizada alcançou o valor de US\$ 69,3 milhões, tornando-se a peça mais cara da história da arte digital leiloadas. A obra "Everydays: The First 5.000 Days", do artista americano Beeple, consiste numa coleção de desenhos e animações feitos durante 5.000 dias consecutivos pelo artista. Inúmeros artistas estão conseguindo monetizar de forma digital a sua arte com as novas tecnologias disponíveis. Chohan (2021) fez análise do mercado de NFT's a partir de 2015 e identificou que muitos permaneceram sem venda até 2021. O autor destacou, entretanto, que a partir de 2021 ocorreu um crescimento expressivo neste mercado.

Figura 1. Características de peça de arte do Mundo Real x Mundo Digital



Fonte: Taddei (2021).

Chohan (2021) identificou que NFT's tem seu valor e escassez relacionados à forma como são tratados para gerar interesse, explorando diversos campos, como o da música, esportes e arte visual. O grande desafio, segundo o estudo, é gerar e manter este interesse e valor para ser atrativo neste nicho de mercado, que é o de ativos digitais tokenizáveis. Segundo Dowling (2021), os mercados de NFT cresceram para cerca de US\$ 550 milhões até o final de março de 2021 em termos de NFTs transacionados.

A Figura 1 explicita, didaticamente, as características de um NFT e de uma obra de arte tradicional. A Figura, que também é um NFT, foi desenvolvida por um pesquisador na área de desenho de uma universidade italiana, Mario Taddei. A Figura mostra o famoso

quadro de Leonardo da Vinci, que é “do mundo real”, único e não fungível, “situado” no Museu do Louvre. A famosa Mona Lisa tem valor estimado em Euros e tem também o vínculo com o mundo do dinheiro tradicional que é fungível, como dólares ou moedas de ouro. Já o NFT, que aparece do lado direito da Figura, é do “mundo digital”, também único e não fungível, “situado” em uma galeria virtual como a OpenSea, que é uma das plataformas em que é possível comprar e vender NFTs. Os NFTs são transacionados em moedas digitais, sendo a mais comum o Ethereum. As moedas digitais, por sua vez, utilizam blockchains, assim como os NFTs, e constituem “dinheiro digital”, fungível como o Dólar e o Euro.

O mercado de NFTs surgiu como um desdobramento de novas aplicações do mercado de moedas digitais, especialmente pelo fato de ambos se apoiarem no blockchain. Blockchain é uma comunidade ou rede descentralizada de usuários cuja governança de dados criptografados está baseada em tecnologia. O blockchain ganhou popularidade pela primeira vez como o protocolo por trás da criptomoeda Bitcoin de acordo com Regner et al. (2019).

No decurso dos últimos anos, foi possível perceber que o blockchain permitiu o surgimento de uma gama mais ampla de aplicações – um desenvolvimento que é atribuído principalmente à possibilidade de executar pedaços de código de software em um blockchain, de acordo com Beck et al. (2016). Sendo chamados de “contratos inteligentes”, um termo cunhado por Nick Szabo (um famoso jurista e criptógrafo) em 1994, o blockchain permite que partes que não se conhecem possam realizar transações com segurança. A execução correta é assegurada por um protocolo de consenso, que é executado em todos os nós participantes do blockchain e fornece consistência de acordo com Regner et al. (2019).

Os blockchains diferenciam-se pela forma como são gerenciados e mantidos, podendo ser operados com e sem permissão. Os blockchains sem permissão não pertencem a ninguém além da comunidade que os administra, e são administrados pelos seus usuários. Em sistemas permitidos, a administração é centralizada, e possuem um número limitado de partes, ou seja, a entidade que opera a rede também pode determinar quem pode acessá-la. Em outras palavras, um “gerente” mantém a rede, embora sejam os usuários que usam a cadeia para realizar as transações, conectar e aceitar novas entradas de dados de acordo com Suominen et al. (2019).

Ainda existem muitos desafios a serem superados em se tratando de blockchain, mas é possível viabilizar muito mais segurança e otimizar muitos e variados negócios de acordo com Suominen et al. (2018). Assim, NFTs são um novo tipo de blockchain, único e indivisível, e que podem servir para tokenizar bens digitais, prevenir fraudes e melhorar o controle sobre o mercado secundário de transações conforme Regner et al. (2019).

Apenas como contextualização, o primeiro aplicativo baseado em NFTs a alcançar ampla adoção foi um jogo virtual online chamado CryptoKitties. O jogo ocupou mais de 70% da capacidade de transação da rede Ethereum em um ponto. Além disso, foi nesse jogo que o NFT mais caro, que representa a propriedade de “gatinho”, em que diferentes versões são negociadas, foi vendido por mais de US\$ 100.000 no final de 2017 de acordo com Regner et al (2019). A partir de então, obras de arte foram tokenizadas. Foram conduzidos, ainda, outros experimentos, como tokenização de licenças de software, bens de luxo e até carros, por meio do uso de NFTs.

Os NFT’s foram criados baseados na tecnologia blockchain para um propósito específico – representar propriedade sobre ativos digitais ou físicos. O primeiro aplicativo baseado em NFTs a alcançar ampla adoção foi o Cryptokitties, que é, como citado anteriormente, um jogo online em que os participantes podem comprar e vender cards com imagens de gatinhos colecionáveis. O jogo merece destaque por mostrar, com clareza, o conceito de

“escassez digital”. Quanto mais raras as características dos gatinhos nos cards, maior o seu valor. O que garante a “raridade” e a “escassez” é justamente a tecnologia de blockchain e a propriedade digital garantida pelo registro como NFT. Desse modo, assim como ouro e pedras preciosas, o NFT passa a ter seu valor determinado pela “escassez”, o que faz com que as obras digitais (neste caso um card) possa alcançar cifras bastante elevadas.

Scholten (2019) trouxe uma nova abordagem para a questão, já que buscou avaliar os cripto-jogos Ethereum, que são uma área em expansão e relativamente inexplorada da indústria de jogos. Não há ainda uma definição padrão sobre cripto-jogos, mas geralmente significam jogos que armazenam tokens, como, por exemplo, itens no jogo, em um livro-razão distribuído de forma parcial ou total sobre uma rede de criptomoedas. Isso permite a troca de itens do jogo por criptomoeda, que pode então ser trocada por moeda normal. Os jogos constituem a maior categoria de DApps, perfazendo 47% de todos os DApps registrados. DApps são aplicativos descentralizados, uma modalidade que vem crescendo muito e que não tem um responsável, mas que mesmo assim assegura um elevado padrão de segurança, já que são softwares baseados em blockchain.

Ainda segundo Scholten (2019) o crypto-game CryptoKitties é atualmente o terceiro maior DApp em número de transações. O termo 'cripto-jogos' refere-se aos jogos cuja alocação de tokens é armazenada em um livro-razão distribuído no topo de uma rede de criptografia. Os cripto-jogos compartilham muitas semelhanças com os jogos gratuitos. Especificamente, ambos envolvem moeda virtual que pode ser comprada com moeda real. E, psicologicamente, tanto os jogos free-to-play quanto as moedas virtuais cripto-games frequentemente compõem o que tem sido chamado de efeito de numerosidade onde múltiplas moedas e quantidades involuntariamente divisíveis impedem os jogadores de fazer estimativas de valor intuitivas. Isso pode fazer com que os jogadores gastem mais do que o planejado, dada a ofuscação do valor do mundo real. Por exemplo, em um jogo gratuito, uma maçã dentro do jogo pode custar 7 joias (uma moeda do jogo). Já 40 joias podem custar 0,155 moedas (outra moeda do jogo) e uma moeda custa £ 250. Neste caso, calcular o custo de uma maçã no jogo em moeda real torna-se não trivial. Em jogos criptográficos, itens e atividades no jogo têm custos de criptomoeda fracionários semelhantes, com uma unidade de uma determinada criptomoeda tipicamente tendo uma taxa de câmbio real não intuitiva e flutuante. Os jogos nessa modalidade normalmente envolvem uma carteira digital - resumidamente, um pedaço de software que permite aos indivíduos fazer transações eletrônicas em uma rede, como uma criptomoeda. Depois que um jogador cria uma carteira digital, as trocas de criptomoedas permitem que ele gaste moeda real para comprar criptografia de outros usuários da rede, que é então associada à chave pública do jogador. Ao contrário da maioria dos jogos grátis, em jogos criptografados, a moeda do jogo é frequentemente trocável e pode ser usada para pagar por outros bens e serviços fora do jogo e pode ser trocada por moeda real.

2.2 Determinantes de preços de NFT's

Em uma pesquisa, Downing (2021) analisou se o preço do token não-fungível (NFT) está correlacionado ao preço de criptomoedas. O autor analisou, especificamente, o mercado de Cryptopunks. As transações de Cryptopunks começaram em 2017, quando 10.000 personagens foram criados e registrados como ativos individuais no Blockchain Ethereum. Os personagens foram criados por US\$ 50 a US\$ 100 cada, até o ano de 2020. Os valores foram aumentando de forma gradativa, com um crescimento considerável no início de 2021. Em fevereiro e março de 2021, personagens que tinham sido lançados por US\$ 100 passaram a ser negociados entre US\$ 20.0000 e US\$ 100.000.

O estudo de Dowling (2021) fez análise de dados extraídos do coinmarketcap.com (Bitcoin e Ether) e nonfungible.com (Decentraland, CryptoPunks, AxieInfinity) relativos às transações com Bitcoin e Ether. Ether foi analisado por sua conexão com NFT, e Bitcoin em razão de seu tamanho de mercado e por trazer dados de volatilidade. Os dados de NFT foram colhidos de negociações de mercado secundário em tokens Decentraland, CryptoPunk e AxieInfinity. Foram realizados testes de spillovers entre os mercados de criptomoedas e NFTs utilizando a metodologia de spillovers de volatilidade de Diebold e Yilmaz. O autor também utilizou técnicas de ondaletas para investigar o co-movimento entre os dois mercados analisados. Segundo Dowling (2021), a precificação de NFT parece ser distinta da precificação de criptomoeda em termos de transmissão de volatilidade. Além disso, o autor encontrou fracas evidências de spillover entre os mercados de NFT, possivelmente em razão das suas diferentes classes de ativos. Existe um co-movimento entre preços de Bitcoin e NFT, mas provavelmente em razão dos fatores comuns, que impulsionam os mercados, tais como sentimento e incerteza.

Pesquisas anteriores tentaram analisar as relações entre moedas digitais e preços de NFTs. Baur, Dimpfl e Kuck (2018) investigaram a relação entre o preço do ouro, o dólar e o Bitcoin. Os resultados encontrados pelos autores sugerem que o ouro e o Bitcoin eram ativos completamente distintos em termos de risco e retorno e que o Bitcoin segue um processo de volatilidade distinto dos demais ativos não apresentando, portanto, correlação com os demais ativos.

O estudo de Baur, Dimpfl e Kuck (2018), por sua vez, contestou os resultados que tinham sido encontrados por Dyhrberg (2016). Dyhrberg (2016), que fez análise da volatilidade do Bitcoin de forma comparativa com o preço do ouro e o comportamento do dólar e encontrou evidências de semelhanças no comportamento dos preços dos ativos, sugerindo, inclusive, que o Bitcoin poderia ser utilizado em eventuais estratégias de hedge. A pesquisa de Dowling (2021) é a principal base do que se pretende fazer de acordo com o atual projeto de pesquisa. Utilizando uma metodologia recorrente de análise de co-movimentos, que se traduz na utilização de um modelo econométrico do tipo Garch Multivariado, espera-se identificar quais variáveis possuem relações com a evolução dos preços dos NFTs. A metodologia será detalhada em seção específica.

3. Metodologia

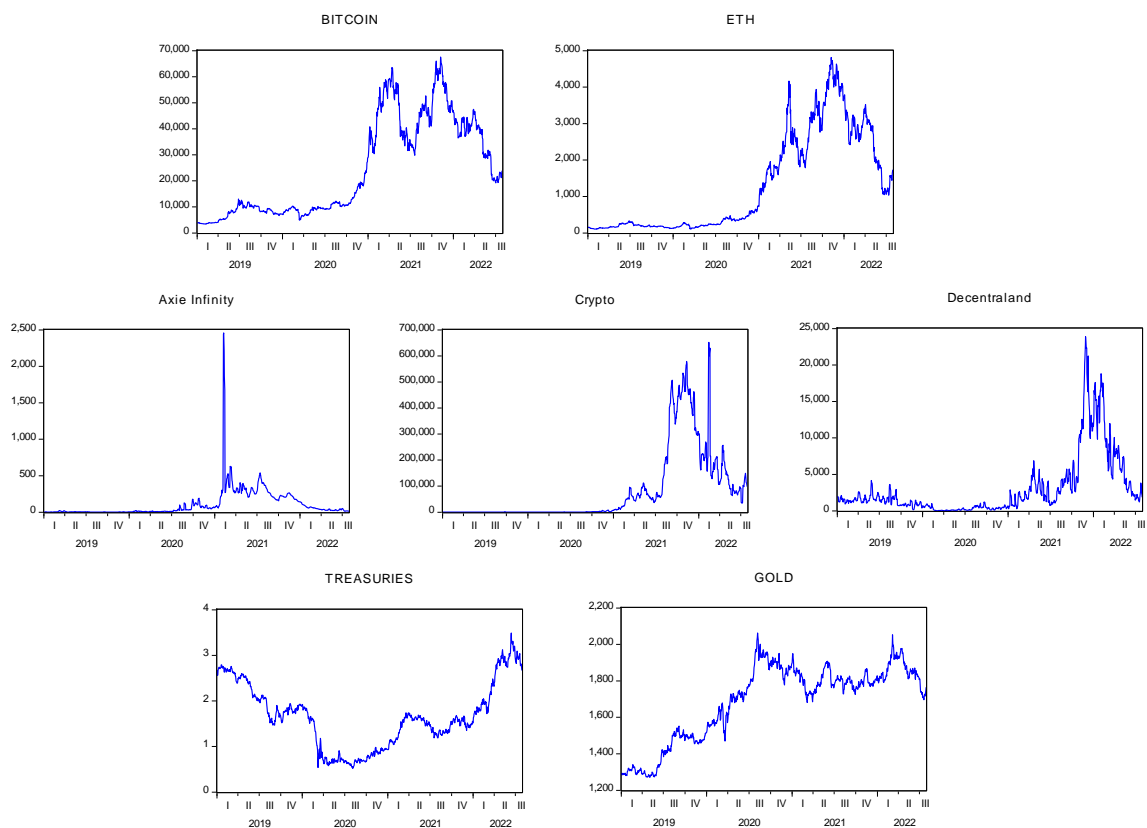
3.1 Dados

Para aplicação do modelo econométrico multivariado, que será apresentado na próxima subseção, a pesquisa utilizará dados diários do mercado de NFT's, criptomoedas e variáveis macroeconômicas e financeiras. Todas as variáveis possuem periodicidade diária, com período compreendido entre o primeiro dia útil de janeiro de 2020 e o último dia do mês de julho de 2022. As variáveis relacionadas aos NFTs e às moedas digitais têm, inclusive, cotações que são alteradas aos sábados e domingos, tendo em vista que transações com moedas digitais e NFTs podem ocorrer a qualquer dia e a qualquer hora. Entretanto, como as demais variáveis têm cotação apenas nos dias úteis, optou-se por uniformizar as bases restringindo as cotações apenas aos dias úteis. Portanto, as cotações de sábado e domingo foram eliminadas sem prejuízo ao comportamento das variáveis. As variáveis utilizadas, com a respectiva descrição e fonte dos dados, serão apresentadas a seguir.

i) Preço do Bitcoin: a série, representada por *Bitcoin* e expressa em dólares com cotação de último preço do dia, foi obtida no Coinmarketcap.

- ii) Preço do Ethereum: a série, representada por *Eth* e expressa em dólares com cotação de último preço do dia, foi obtida no Coinmarketcap.
- iii) Axie infinity: consiste em uma coleção de NFTs baseada em um videogame virtual. Em 2021, a coleção, aferida pelo valor das vendas de NFTs, pode ser considerada a maior do mundo, tendo alcançado vendas superiores a US\$ 40 milhões em um único mês. Os dados obtidos referem-se ao valor médio diário de vendas expressas em dólares e a fonte é nonfungible.com. A série é representada por *Axie*.
- iv) Decentraland: é um jogo virtual baseado na tecnologia blockchain que permite a compra e venda de terrenos virtuais baseados em NFTs. Alguns lotes de terreno atingem cifras elevadíssimas, próximas de US\$ 1,000,000. Os dados obtidos referem-se ao valor médio diário de vendas expressas em dólares e a fonte é o site nonfungible.com. A série é representada por *Decentraland*.
- v) Cryptopunks: foram lançados em 2017 como um dos primeiros NFTs em uma combinação de arte e tecnologia em tempos de redes sociais. Consiste em uma coleção de 10.000 NFTs de avatares feitos de forma pixelada que atingiu a marca de US\$ 1 bilhão em vendas em 2021. É o segundo maior projeto de NFTs, ficando atrás apenas da Axie Infinity em termos de valores de vendas. Os dados obtidos referem-se ao valor médio diário de vendas expressas em dólares e a fonte é nonfungible.com. A série, expressa em dólares, é representada por *Crypto*.
- vi) Preço do ouro: o preço do ouro foi utilizado pelo fato de ser considerado um ativo de valor intrínseco, que apresenta elevação nos preços especialmente quando há uma perda de confiança no sistema financeiro internacional e/ou em cenários de falências bancárias. A série é representada por *Gold*, expressa em dólares por onça e foi obtida por meio do site nasdaq.com.

Figura 2. Gráfico das variáveis.



Fonte: Coinmarketcap.com, Nonfungible.com, Investing.com, Nasdaq e Fed.

vii) Taxa de juros: a taxa de juros representa o custo do capital e uma das referências para a taxa de juros internacional é a taxa dos títulos de 10 anos do governo estadunidense, representada por *Treasuries*. A série da taxa de juros foi obtida no site do Banco Central dos Eua, o Federal Reserve.

Uma vez que as variáveis e respectivas fontes foram apresentadas, a Figura 2 apresenta o comportamento das variáveis. É possível notar que tanto o Bitcoin quanto o Ethereum apresentam movimento ascendente a partir do quarto trimestre de 2020, com pico no fim de 2021, quando começa a trajetória cadente. Há um comportamento relativamente comum entre os movimentos das duas moedas digitais, a despeito das diferenças existentes entre picos e vales das cotações. Com relação aos NFTs (Axie, Cryptopunk e Decentraland), nota-se que até 2020 o comportamento dos preços era estável, com início da alta dos preços de Axie no segundo semestre de 2020 e de Cryptopunk e Decentraland em 2021. O pico no preço de Cryptopunk ocorreu em fevereiro de 2022, o de Decentraland em novembro de 2021 e o de Axie Infinity em fevereiro de 2021.

No que diz respeito às taxas dos *Treasuries*, pode ser observado que, desde o início do período, janeiro de 2019 até o início de 2020, há uma queda na taxa de juros, que se mantém em baixos patamares em 2020 com a pandemia do coronavírus e as políticas econômicas de estímulos. Ainda no fim de 2020 tem início uma trajetória altista da taxa de juros que vai praticamente até o fim do período analisado, ocasião em que a taxa de juros atingiu o pico de 3,49% ao ano em junho de 2022. Com relação ao preço do ouro, também apresentado na Figura 2, observa-se uma trajetória ascendente até 2020, com o pico em Agosto de 2020, quando o ouro alcançou a cifra de US\$2063/onça, seguido por um período de tempo de relativa estabilidade em que as cotações ficaram dentro de uma banda aproximada entre US\$1700 – US\$2000. Ainda que seja possível observar movimentos comuns entre as variáveis em vários períodos, deve-se ressaltar que há o risco de ocorrência de correlações espúrias entre as variáveis, conforme destacaram Granger e Newbold (1974). Por esse motivo, conforme será apresentado na metodologia, as séries serão transformadas em termos de retorno de cada um dos indicadores para se evitar a estimativa e análise de relações espúrias.

3.2 Modelo Econométrico

Diante das características presentes nos retornos das séries temporais utilizadas no presente estudo, como presença de clusters de volatilidade e heteroscedasticidade, faz-se necessária a análise por meio do modelo GARCH Multivariado. Há uma série de especificações distintas no contexto do modelo GARCH Multivariado, como VECH, BEKK, CCC e DCC. Uma abordagem detalhada das várias especificações pode ser vista em Bauwens, Laurent e Rombouts (2006). Entre as distintas especificações possíveis o presente estudo aplicou a especificação BEKK, desenvolvida por Baba, Engle, Kraft e Kroner, que pode ser verificada em Engle e Kroner (1995) e detalhada em Vartanian (2020). A escolha da especificação se deu por critério da parcimônia, já que é a forma que se caracteriza pela redução do número de parâmetros na estimativa do modelo além de ser uma das mais utilizadas em trabalhos recentes.

Nesse contexto, o modelo BEKK (1, 1, K) tem o seguinte formato:

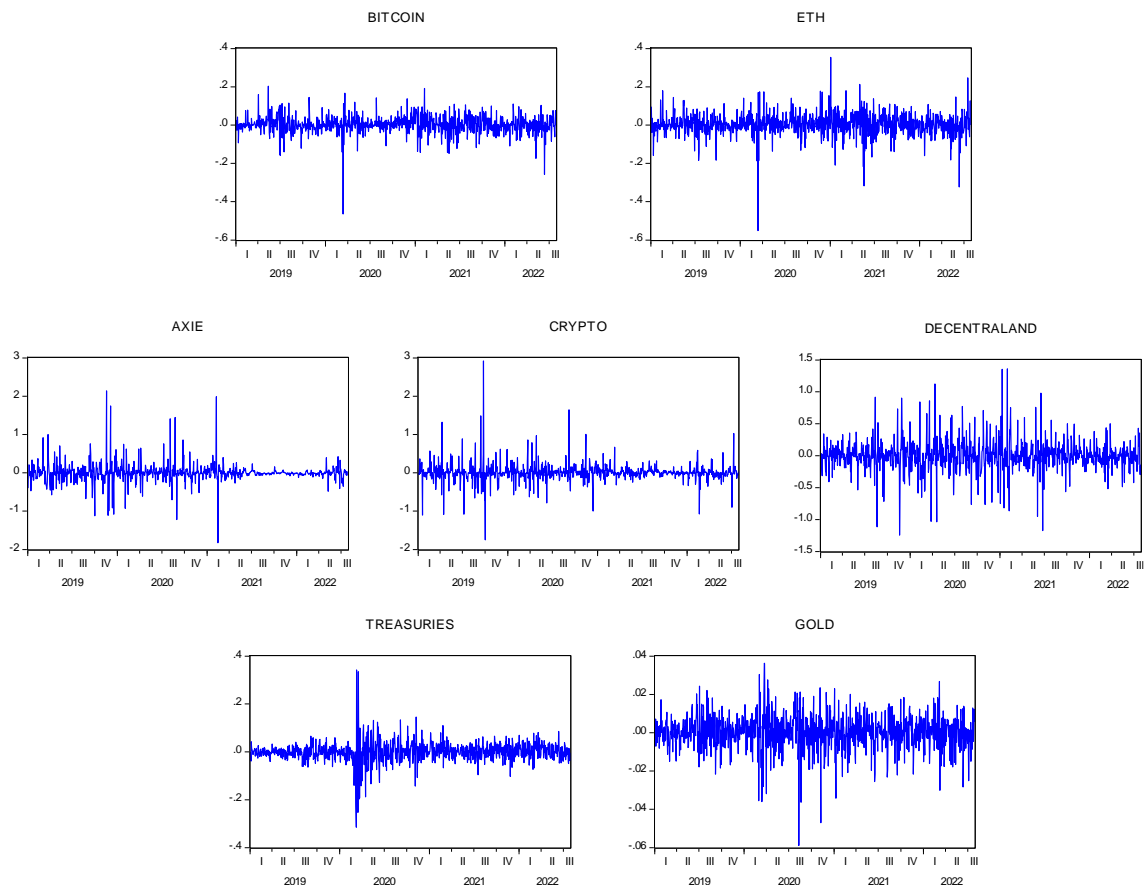
$$H_t = C^* C^* + \sum_{k=1}^K A_k^* e_{t-1} e_{t-1}' A_k^* + \sum_{k=1}^K G_k^* H_{t-1} G_k^*$$

Em que C^* , A_k^* e G_k^* , são matrizes $N \times N$ com C^* sendo uma matriz triangular superior. As restrições para a identificação de um modelo BEKK com $K=1$ são impostas sobre as matrizes $A_{k,11}^*$ e $G_{k,11}^*$ além dos elementos diagonais de C^* , Tanto as matrizes $A_{k,11}^*$ e $G_{k,11}^*$, quanto os elementos diagonais de C^* devem ser positivos. Rigorosamente, a presente pesquisa utilizou um modelo BEKK Diagonal, em que as matrizes A_k^* e G_k^* são matrizes diagonais. É um modelo que assegura que a matriz de variância condicional seja positiva definida e que permite a redução no número de parâmetros estimados.

4. Resultados e Discussão

A partir das séries obtidas conforme a descrição na seção de metodologia, foram calculados os retornos de cada um dos ativos a partir da diferença logarítmica diária. Os resultados são apresentados na Figura 3. O eixo vertical representa, portanto, o retorno de cada um dos ativos. Assim, é possível observar que o Bitcoin chegou a ter retorno positivo diário de 20% em 2019 e chegou a apresentar uma queda de mais de 40% em um único dia no primeiro trimestre de 2020. No primeiro trimestre de 2020 o Ethereum também teve uma queda acentuada, que chegou a quase 60% em um único dia.

Figura 3. Retorno calculados dos ativos



Fonte: Elaboração própria com base no software EViews.

Com relação aos NFTs, nota-se que as escalas são ainda maiores, o que denota ainda mais volatilidade. No caso de Axie e Cryptopunks, as escalas vão de -200% a mais 300%, o que sinaliza uma ampla variabilidade diária nos preços dos NFTs. Apenas como exemplo,

no quarto trimestre de 2019, os NFTs da Axie tiveram um aumento de 200% em um único dia. No primeiro trimestre de 2021, houve uma queda de 200% em um único dia, o que demonstra elevada volatilidade nos preços desses ativos.

No que se refere aos Treasuries, notas um aumento da volatilidade especialmente nos dois primeiros trimestres de 2020, como efeito das incertezas decorrentes da pandemia da COVID-19 e da reversão da política monetária expansionista nos EUA após a crise do subprime. O preço do ouro, que se mostra bastante volátil, também teve um aumento da volatilidade no ano de 2020, especialmente pelo fato de ser um ativo com valor intrínseco para o qual os investidores são atraídos em cenários de inflação, de crise e de incerteza.

Tabela 1. Matriz de correlação

	Bitcoin	Eth	Axie	Cryptopunk	Decentraland	Treasuries	Gold
Bitcoin	1	0,82	0,02	0,01	-0,06	0,04	0,15
Eth		1	0,04	-0,01	-0,05	0,05	0,13
Axie			1	0,10	-0,09	-0,02	0,07
Cryptopunk				1	-0,01	0,02	0,05
Decentraland					1	0,02	-0,04
Treasuries						1	-0,28
Gold							1

Fonte: Coinmarketcap.com, Nonfungible.com, Investing.com, Nasdaq e Fed.

Paralelamente, foi elaborada uma matriz de correlação dos retornos das séries, apresentada na Tabela 1. Ainda que não seja possível extrair relações de causalidade a partir da matriz de correlação, apresentada na Tabela 1, é possível identificar correlação elevada entre as criptomoedas Bitcoin e Ethereum, de 0,82. Com relação aos demais ativos, nota-se praticamente ausência de correlação, especialmente entre as criptomoedas e os NFTs. Há ausência de correlação até mesmo entre os próprios NFTs. Chama a atenção, também, o fato de que o preço do ouro é descorrelacionado em relação ao mercado de moedas digitais e NFTs. Já a taxa de juros e a taxa dos Treasuries sinalizam algum grau de correlação negativa.

Isso posto, foi estimado um modelo GARCH multivariado com o objetivo de se identificar as correlações entre os ativos e, desse modo, observar possibilidades de determinantes de preços dos NFTs. Nesse contexto, a Figura 4 apresenta a correlação condicional entre os NFTs e os demais ativos. Em linhas gerais é possível observar fraca correlação condicional entre NFTs e os ativos, o que sugere que os preços dos NFTs não são determinados, na maior parte do período analisado, pelo preço do ouro, da taxa de juros ou até mesmo do Bitcoin e do Ethereum. Os gráficos sugerem que os NFTs seguem trajetórias particulares de volatilidade, de uma forma geral, com comportamento de preços independente de outras variáveis.

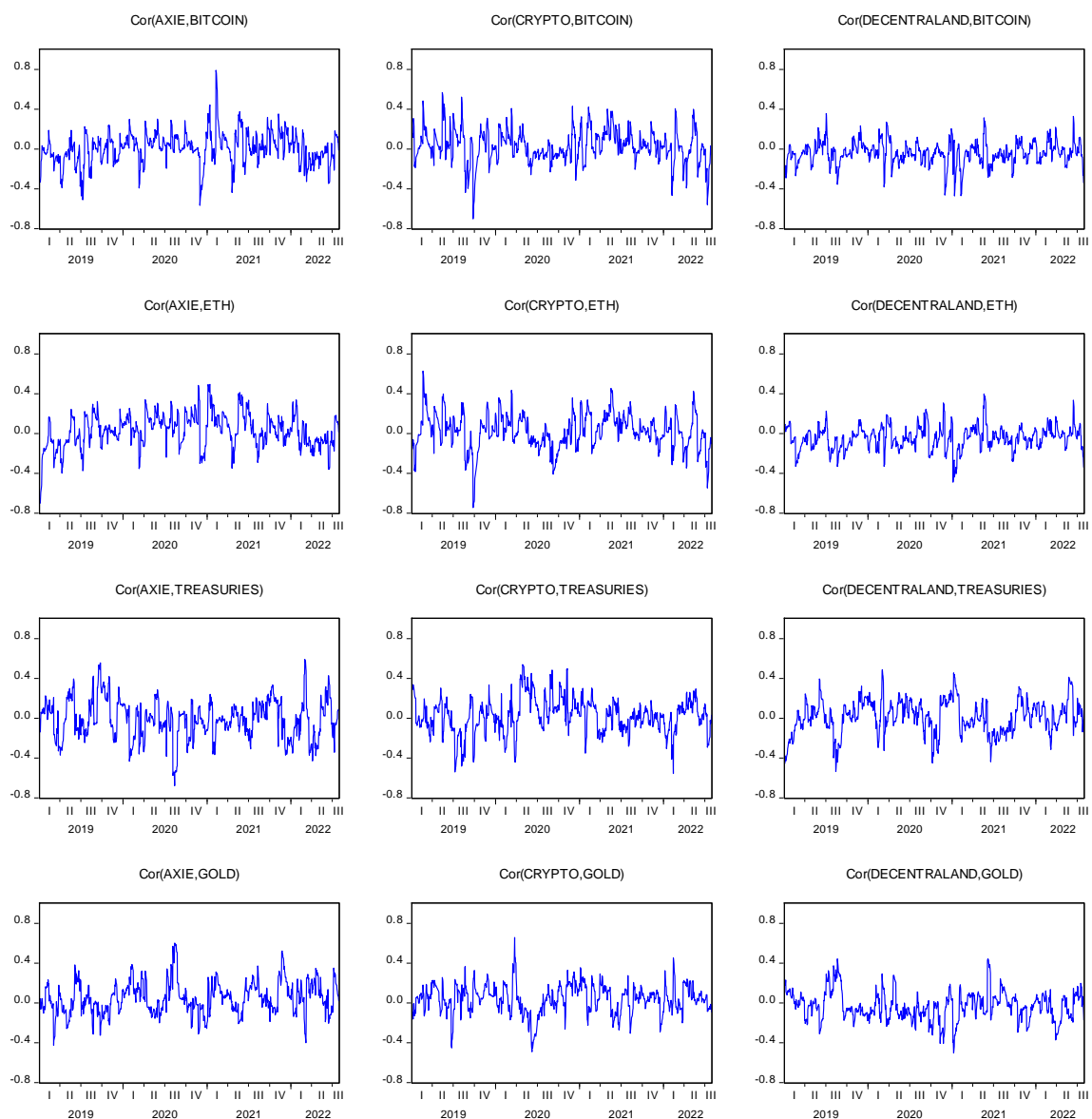
A primeira linha de gráficos da Figura 4 mostra a correção condicional entre AXIE, Cryptopunk e Decentraland com o Bitcoin. De uma forma geral, a correlação condicional entre os três NFTs e o Bitcoin se situou entre -0,4 e +0,4, o que indica fraca correlação. No primeiro trimestre de 2021 houve um pico de correlação condicional entre AXIE e Bitcoin, que chegou próximo de +0,8, mas foi um caso isolado e provavelmente causado pela pandemia da Covid-19.

No que se refere à correlação condicional dos NFTs com a moeda digital Ethereum, o comportamento geral é bem semelhante ao observado em relação ao Bitcoin, com uma correlação condicional situada entre -0,4 e +0,4. Apenas no final do terceiro trimestre de 2019 é que ocorreu uma forte correlação negativa entre os Cryptopunks e o Ethereum, reproduzindo o mesmo em relação ao Bitcoin. Tal situação, entretanto, se deve a um

comportamento atípico da volatilidade dos preços dos Cryptopunks no período em questão.

A análise do contágio de volatilidade entre os Treasuries e os NFTs não foi muito diferente do que foi expresso em termos das moedas digitais, já que foi possível verificar baixos níveis de correlação entre a taxa de juros dos Treasuries e os preços dos NFTs. Em quase todo o período analisado, como mostra a Figura 4, a correlação condicional situou-se no intervalo entre -0,4 e +0,4. Nota-se, entretanto, alguns períodos pontuais em que a correlação negativa se acentuou, como no terceiro trimestre de 2020, em que a correlação entre Axie e Treasuries ficou próxima de -0,8, o que sugere que um aumento da taxa de juros foi coincidente com uma forte queda no preço do NFT. Tal comportamento, ainda que com menor intensidade, pode ser observado especialmente no terceiro trimestre de 2019 em relação aos NFTs Cryptopunks e Decentraland.

Figura 4. Correlação Condicional entre os NFTs e os ativos



Fonte: Elaboração própria com base no software EViews.

Finalmente, com relação às correlações condicionais entre o preço do ouro e os NFTs, identificou-se, também, baixos níveis de correlação, normalmente situados entre -0,4 e +0,4. No terceiro trimestre de 2020, para o caso de Axie e, no fim do primeiro trimestre de 2020, para o caso de Cryptopunks, notou-se um aumento da correlação condicional, que ficou acima do patamar de 0,5, o que sugere que, nesse período, ambos os ativos tiveram volatilidade relativamente mais semelhante. Em eventual incerteza sobre outros ativos, é possível que investidores tenham migrado nesse período para ouro e NFTs, mas como não é algo sistemático, não é possível tratar os casos pontuais como uma conexão forte entre os preços do ouro e dos NFTs.

Os resultados encontrados pela pesquisa convergem com o que foi demonstrado por Dowling (2021), que identificou que os movimentos dos preços dos NFTs são distintos dos movimentos das criptomoedas, que, na visão de Dowling (2021), aparentam seguir movimentos de precificação distintos. O autor também encontrou evidências, ainda que com período e metodologia distintas, de algum movimento de co-volatilidade entre moedas digitais e NFTs. Conforme foi apresentado por meio da análise das correlações condicionais no estudo corrente, não foi possível identificar a presença de movimentos significativos de co-volatilidade entre Bitcoin e Ethereum e os NFTs, a não ser em alguns períodos pontuais. Com relação aos demais ativos utilizados neste estudo, não é possível realizar a comparação entre os resultados já que Dowling (2021) tratou apenas da relação entre criptomoedas e os NFTs, sem a inclusão da taxa de juros e do preço do ouro na análise.

Em análise das relações entre preço do ouro e do Bitcoin, antes mesmo da existência dos NFTs, Baur, Dimpfl e Kuck (2018) demonstraram que o ouro e o Bitcoin eram ativos completamente distintos em termos de risco e retorno. Os autores identificaram que o Bitcoin segue um processo de volatilidade distinto dos demais ativos e que não está correlacionado com outros ativos. Nesse contexto, a presente pesquisa se assemelha aos resultados Baur, Dimpfl e Kuck (2018) na medida em que não identificou forte correlação condicional entre os preços dos NFTs com os preços do ouro, do Bitcoin, Ethereum e os movimentos das taxas de juros nos EUA. A diferença relevante é que os autores tentaram identificar co-movimentos entre os ativos e as criptomoedas, dado que os NFTs nem existiam quando da realização da pesquisa.

5. Considerações Finais

O objetivo da presente pesquisa foi compreender o funcionamento do mercado de NFTs do ponto de vista econômico e, sobretudo os determinantes de preços de NFTs, tendo em vista os impactos desse novo mercado no mundo da tecnologia que, como várias outras tecnologias disruptivas, vem apresentando crescimento exponencial, podendo, inclusive, ampliar as oportunidades de atuação no contexto da economia brasileira. A interpretação do comportamento dinâmico dos preços dos NFTs contribui para uma série de questões, como o próprio desenvolvimento do mercado para empreendedores e a possibilidade de diversificação de carteiras para investidores.

Par o alcance dos objetivos, foi utilizado um modelo econométrico GARCH multivariado com o objetivo de se avaliar a correlação condicional entre os preços dos NFTs e as variáveis selecionadas como possíveis determinantes, como as cotações das criptomoedas Bitcoin e Ethereum, além do preço do ouro e da taxa de juros nos EUA. A despeito de um comportamento dos NFTs típico de novas tecnologias disruptivas, com acentuada volatilidade e crescimento exponencial, não foram observadas relações consistentes em termos de preços dos NFTs e as cotações das criptomoedas. Tampouco observaram-se relações consistentes entre a taxa de juros e o preço do ouro com os NFTs.

De forma contrária ao que se esperava, os preços e a volatilidade dos NFTs parecem seguir dinâmica própria, independentemente das cotações das criptomoedas, do preço do ouro e da taxa de juros dos EUA. Os resultados são convergentes com os encontrados por Dowling (2021). No entanto, como a presente pesquisa contemplou tanto o movimento de alta quanto o movimento de forte queda dos NFTs em 2021 e 2022, havia expectativa de que a correlação condicional entre as variáveis seria próxima de 1, o que não aconteceu. Muito pelo contrário, na quase totalidade do período analisado, a correlação condicional entre os NFTs e os ativos selecionados ficou na maior parte do tempo situada entre -0,4 e +0,4, o que sugere fraca relação entre os preços dos NFTs e dos ativos. A análise também é convergente com os estudos de Baur, Dimpfl e Kuck (2018), que fizeram análises semelhantes considerando apenas possíveis determinantes dos preços das criptomoedas, dado que o mercado de NFTs era praticamente inexistente quando da realização da pesquisa.

Uma limitação da pesquisa refere-se às disponibilidades e ao formato dos dados de NFTs. A despeito do crescimento do volume negociado, não foi possível acompanhar o preço de determinados NFTs ao longo do tempo. Ao invés disso, utilizou-se de uma média de valores dos distintos NFTs negociados. No futuro, com a ampliação do mercado, talvez seja possível acompanhar preços de NFTs específicos da mesma forma como se acompanha o mercado acionário. A limitação, contudo, não minora a relevância da pesquisa, que foi demonstrar que os preços dos NFTs não se relacionam às cotações das criptomoedas, taxas de juros e preços do ouro, seguindo, portanto, uma dinâmica própria. Concomitantemente, e ainda que não tenha sido o objetivo principal, identificou-se o mercado de NFTs como mais um mercado a ser utilizado como fonte de possível diversificação de risco para investidores, ainda que tenha uma volatilidade bastante pronunciada.

Pode ser possível, ainda, incluir-se outras variáveis macroeconômicas e financeiras, como o desempenho do mercado acionário, o valor do dólar e os preços do petróleo na tentativa de se identificar outros possíveis determinantes dos preços dos NFTs. Com uma série temporal mais ampla, e passado o comportamento de crescimento exponencial seguido de queda nos preços, talvez seja possível identificar eventuais determinantes dos preços dos NFTs. Pela indisponibilidade dos dados no período corrente, considera-se tais possibilidades como relevantes na agenda de pesquisas futuras.

6. Referências Bibliográficas

BAUR, Dirk G.; DIMPFL, Thomas; KUCK, Konstantin. Bitcoin, gold and the US dollar—A replication and extension. **Finance Research Letters**, v. 25, p. 103-110, 2018.

BAUWENS, Luc; LAURENT, Sébastien; ROMBOUTS, Jeroen VK. Multivariate GARCH models: a survey. **Journal of applied econometrics**, v. 21, n. 1, p. 79-109, 2006.

BECK, R.; J. Stenum Czepluch, N LOLLIKE S MALONE. Blockchain – The gateway to trust-free cryptographic transactions. **Twenty fourth European Conference on Information Systems**, Istanbul Turkey, Springer Publishing Company, 2016.

CHOHAN, Usman W. Non-Fungible Tokens: Blockchains, Scarcity, and Value. **Critical Blockchain Research Initiative (CBRI) Working Papers**, 2021.

DYHRBERG, Anne Haubo. Bitcoin, gold and the dollar—A GARCH volatility analysis. **Finance Research Letters**, v. 16, p. 85-92, 2016.

DOWLING, Michael. Is non-fungible token pricing driven by cryptocurrencies? **Finance Research Letters**, p. 102097, 2021.

DOWLING, Michael. Fertile Land Pricing non-fungible tokens. **Finance Research Letters**, 2021.

ENGLE, Robert F. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 987-1007, 1982.

ENGLE, Robert F.; GRANGER, Clive WJ; KRAFT, Dennis. Combining competing forecasts of inflation using a bivariate ARCH model. **Journal of economic dynamics and control**, v. 8, n. 2, p. 151-165, 1984.

ENGLE, Robert F.; KRONER, Kenneth F. Multivariate simultaneous generalized ARCH. **Econometric theory**, v. 11, n. 01, p. 122-150, 1995.

FEDERAL RESERVE ECONOMIC DATA. Disponível em: <<https://fred.stlouisfed.org>>. Acesso em 25.05.21

GRANGER, Clive; NEWBOLD, Paul. Spurious regressions in econometrics. **Journal of econometrics**, v.2, n. 2, p. 111-120, 1974.

INVESTING. Disponível em:<<https://www.investing.com/currencies/xbr-usd-historical-data>>. Acesso em 25.05.21

NASDAQ. Disponível em: <<https://www.nasdaq.com>>. Acesso em 25.05.21

NONFUNGIBLE.COM. Disponível em: <<https://nonfungible.com>>. Acesso em 25.05.21

REGNER, Ferdinand; URBACH, Nils; SCHWEIZER, André. NFTs in practice—non-fungible tokens as core component of a blockchain-based event ticketing application. **Fortieth International Conference on Information Systems**, Munich 2019.

SCHOLTEN, Oliver James et al. Ethereum crypto-games: Mechanics, prevalence, and gambling similarities. In: **Proceedings of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play**. 2019. p. 379-389

SUOMINEN, Kati; CHATZKY, Andrew; REINSCH, William; ROBISON, Jonathan. Harnessing Blockchain for American Business and Prosperity. **Center for Strategic and International Studies**, 2018.

TADDEI, Mario. My last NFT. Milão, 14 maio 2021. Twitter: @MarioTaddei72. Disponível em: <https://twitter.com/MarioTaddei72/status/1393289985403637764/photo/1>. Acesso em: 8 set. 2021.

VARTANIAN, Pedro Raffy. Volatility transmission between commodities and Ibovespa in the period 2000–2016: Is there a possibility of diversification?. **International Economics and Economic Policy**, v. 17, n. 2, p. 483-501, 2020.