



# Bolhas em NFT: Uma análise a partir da hipótese de estacionariedade

Gabriel Cordeiro Holanda

Marcelo de Castro Callado

2023

## Resumo

Este artigo investiga a hipótese de existência de bolhas racionais dentro do mercado de NFT utilizando dados da cotação do preço de dois dos principais ativos desse segmento (CAKE e SLP), e baseando-se na metodologia descrita por (Gunji, 2016) em que o mesmo realize testes de estacionariedade para verificar a existência de bolhas no mercado de criptomoedas. Os testes de raiz unitária utilizados foram o Augmented Dickey-Fuller test (ADF) e Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), que levaram a resultados que mostram a existência de um crescimento aleatório com eventuais desvios pautados nas expectativas dos agentes. Esses resultados corroboram com a literatura já existente quanto a bolhas nesse segmento de ativos digitais BARBON; RANALDO, 2023), (WANG et al., 2022), mas, utilizando métodos econométricos mais convencionais.

**Palavras Chave:** nft. bolhas. estacionariedade. econometria.

## Abstract

This article investigates the hypothesis of the existence of rational bubbles within the NFT market using data on the price quotation of two of the main assets in this segment (CAKE and SLP), and based on the methodology described by (Gunji, 2016) in which he performs stationarity tests to verify the existence of bubbles in the cryptocurrency market. The unit root tests used were the Augmented Dickey-Fuller test (ADF) and Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS), which led to results showing the existence of random growth with possible deviations based on agents' expectations. These results corroborate the existing literature on bubbles in this segment of digital assets (BARBON; RANALDO, 2023), (WANG et al., 2022), but using more conventional econometric methods.

**Key-words:** nft, bubbles. stationarity. econometrics.

# 1 INTRODUÇÃO

Non-Fungible-Tokens (NFT) são ativos digitais (GOUTAY, 2021) que tem como fundamento principal sua unicidade (PANDEY et al., 2021), logo, nenhum NFT será igual ao outro. Suas operações são feitas através da blockchain, em contratos de Ethereum <sup>1</sup> (ETH), mas esporadicamente certos ativos mais específicos, geralmente em blockchain-games, tendem a ser operadas em outras criptomoedas, como Smooth-Love-Potion (SLP). Esses ativos são a representação (token) da posse de determinado objeto, real ou virtual, que vão desde arquivos de imagens, até mesmo a escrituras de residências (KACZYNSKI E KOMINERS, 2021). Diferente de criptomoedas como o ETH, que são indistinguíveis, ou seja, todas as unidades de ETH são idênticas, e podem ser trocadas e combinadas entre si já que nada distingue seu valor, o NFT é um token não-fungível, logo, dois NFTs não podem ser combinados como duas unidades distintas de ETH podem ser combinadas em dois ETH, dobrando o valor de uma unidade e mantendo todas as suas características.

Utilizando dados fornecidos pelo banco de dados do Google Trends<sup>2</sup>, podemos observar que o NFT passou a ser um assunto de alta popularidade em meados de março de 2021, e tendo uma alta de quase 1000% nas transações em apenas seis meses de acordo com dados do Statista<sup>3</sup>. Apesar da expansão recente desde o fim do primeiro trimestre de 2021, o NFT é relativamente bem mais antigo, já que o termo foi criado em 2015, no lançamento de seu primeiro projeto, que consistia na marcação de satoshis (frações de bitcoin) a partir de cores. A atenção que foi voltada para o NFT pode ser ligada a rentabilidade desses ativos, que geram ganhos significativos, principalmente para os primeiros investidores, e também a utilização deles na criptoarte e criação de colecionáveis exclusivos, já que a criptografia utilizada, permitia criar a sensação de unicidade necessária para o apreçamento desses produtos. Mesmo que seu uso inicial tenha sido como criptoarte, e mais recentemente como bem, e não como ativo, a alta liquidez do NFT acabou fazendo com que ele fosse visto como uma oportunidade lucrativa, e não mais valorizado pela exclusividade que o mesmo traria no consumo, mas sim pela escassez artificial. Projetos<sup>4</sup> como o Axie infinity, em novembro de 2021 segundo a própria base de dados reunia mais de 2 milhões de jogadores ativos<sup>5</sup> e acumulava bilhões de dólares transacionados é outra forma de entender a crescente popularidade do NFT e seu potencial econômico.

Atualmente, a literatura acadêmica voltada para o entendimento do NFT, principalmente em relação ao seu potencial dentro do mercado de blockchains e seus impactos, é extremamente escassa, e faz-se necessária a análise das devidas precauções que devem ser tomadas para com essa tecnologia, visto que ainda está em seu início e com uma alta taxa de retorno, mas com riscos igualmente grandes, como os esquemas Ponzi (FRYE, 2021) presentes principalmente no tocante às criptoartes, seu impacto ambiental (GUO, 2021) e a modalidade de investimento instável, descentralizado e de alto risco. Portanto, esse artigo se propõe a investigar os fundamentos econômicos do fenômeno do NFT e tratar sobre possibilidades de uso seguro e consistente para esses ativos.

---

<sup>1</sup> **ERC-1155: Multi Token Standard.** Disponível em: <<https://eips.ethereum.org/EIPS/eip-1155>>. Acesso em: 12 novembro. 2023.

<sup>2</sup> **Google Trends.** Disponível em: <<https://trends.google.com/trends/explore?date=2021-01-01%202021-12-31geo=BRq=NFT>>. Acesso em: 11 novembro. 2023.

<sup>3</sup> **Crypto volume per day 2020-2022.** Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1272903/cryptocurrency-trade-volume/>>. Acesso em: 01 março. 2023.

<sup>4</sup> Projeto é o nome utilizado para se referir a iniciativas de non-fungible-tokens que funcionam dentro de um mesmo ecossistema

<sup>5</sup> **Axie Infinity Live Player Count and Statistics.** , 9 jul. 2022. Disponível em: <<https://activeplayer.io/axie-infinity/>>. Acesso em: 11 nov. 2021

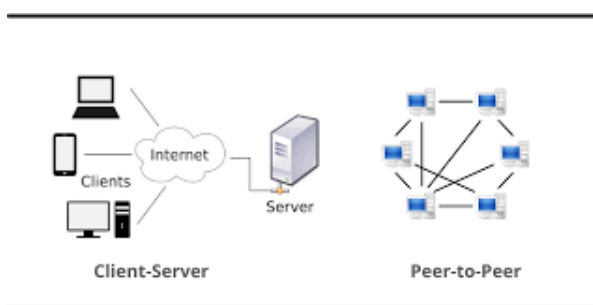
## 2 BITCOIN

A primeira idealização registrada de uma moeda descentralizada e gerida de maneira totalmente virtual foi descrita por Wei Dai em 1998<sup>6</sup>, baseado no Crypto Anarchist Manifest de Timothy C. May<sup>7</sup> e colocando isso como passo em direção a uma sociedade sem violência dado a impossibilidade de ligar a identidade digital do indivíduo a sua pessoa física

It's a community where the threat of violence is impotent because violence is impossible, and violence is impossible because its participants cannot be linked to their true names or physical locations. (DAI, 1998)

No entanto, o Bitcoin (BTC), assim chamada a primeira concretização do conceito de criptomoedas, lançado em 2008 por Satoshi Nakamoto e mantido até o momento como a criptomoeda mais utilizada, tinha objetivos muito mais singelos que os de alcançar uma utopia “cripto-anarquista”. Os ideais de digitalização e descentralização foram mantidos, com o propósito de enviar dinheiro pela internet de forma não identificável (NAKAMOTO, 2009), e para isso utilizam de funções criptográficas hash (hashcash) e um sistema peer-to-peer dentro da blockchain (KING, 2013). Blockchain é definida por Ulrich (2014, p. X) O Blockchain é o livro-razão público de todas as transações do bitcoin que foram executadas. Logo, faz-se possível que os próprios usuários acompanhem as transações, afetando diretamente na especulação do valor do BTC Hashcash foi criado por Adam Black em Maio de 1997 com o objetivo de evitar spam nos e-mails. O sistema cria um token a partir de uma certa quantidade de processamento de um computador, esse então é criptografado, garantindo uma marcação que seja custosa porém facilmente rastreável (BACK, 2002) e que portanto, serve como prova de trabalho (PoW) (DWORK; NAOR, 1993) por garantir que tempo e capital foram despendidos para gerar aquela unidade de BTC. Ademais, a função criptográfica hash opera fazendo com que qualquer pequena mudança na entrada, afete drasticamente o output, ou segundo Albuquerque e Callado (2015, p. 6) “One of them is the fact that whatever changes are made on the original data, even a very slight one, generates a very different output”. Logo, qualquer pequena modificação no processamento gera um token completamente diferente, portanto, um BTC diferente, garantido a segurança e unicidade da moeda. Já o sistema peer-to-peer (P2P) é uma rede de servidores com o papel de descentralizar as transações de BTC, ele atua criando uma arquitetura de redes onde os computadores atuam tanto como servidores quanto clientes, logo, eliminando a necessidade de um servidor central (PANKAJ; HYDE; RODGER, 2012) .

Figura 1 – Comparativo da arquitetura de rede de um servidor padrão e peer to peer



Fonte: Harris Andrea. Disponível em: <https://www.networkstraining.com/peer-to-peer-vs-client-server-network/>

<sup>6</sup> Disponível em: <<http://www.weidai.com/bmoney.txt>>. Acesso em: 16 nov. 2021

<sup>7</sup> MAY, T. The Crypto Anarchist Manifesto. , [s.d.]. Disponível em: <<https://groups.csail.mit.edu/mac/classes/6.805/articles/crypto/cypherpunks/may-crypto-manifesto.html>>. Acesso em: 16 nov. 2023

## 2.1 O mercado de criptomoedas

A fim de afunilar o escopo do mercado de criptomoedas apresentado nesta seção, o artigo irá deixar de lado o setor de mineração e uso como moeda do bitcoin para focar no setor de investimento direto de bitcoin enquanto ativo.

Em março de 2010 a primeira transação em bitcoin foi realizada (LISCHKE; FABIAN, 2016), dando início ao mercado de criptomoedas, desde então em dez anos esse mercado chegou ao valor de 826 bilhões de dólares<sup>8</sup>, e apesar da recente diversificação de criptomoedas transacionadas, o bitcoin foi a ponta de lança desse mercado e permanece sendo a criptomoeda mais utilizada, representando aproximadamente 50%. É possível relacionar o interesse crescente nesse setor de investimento às possibilidades de altos lucros a partir de pequenos e médios investimentos (SKAKAVAC, 2018), vide o Dogecoin (DOGE) que de sua criação em janeiro de 2018, ao seu pico em maio de 2021, valorizou-se em cerca de 40 mil por cento segundo o Coin Market Cap<sup>9</sup>, no entanto, a grande maioria permanece com um baixo valor e sem um crescimento explosivo em curtos espaços de tempo. Ademais é possível citar a popularidade desses das criptomoedas dentro de comunidades e indivíduos libertários (BASHIR; STRICKLAND; BOHR, 2016), por conta da descentralização que presta papel pivotal dentro da teoria libertária, apesar de já ter sido demonstrada como empecilho para o maior desenvolvimento desses ativos (NABILOU, 2019), no entanto, essa popularidade se dá muito mais para os usos enquanto corréncia (BASHIR; STRICKLAND; BOHR, 2016) justamente pela descentralização, logo, não dispêndio com taxas e impostos governamentais, que atualmente incidem sobre as transações que ocorrem a partir de corretoras para o uso das criptomoedas como investimento. Entendendo o crescimento vigente no interesse pelo uso de criptomoedas como ativos, o mercado criou uma via de mão dupla ao se interessou por novos clientes e veio a gerar cada vez mais novas criptomoedas, que saíram de 66 em 2013 para mais de 7.5 mil em 2021, segundo a base de dados colhidos pelo Statista<sup>10</sup> e passou a buscar novas soluções para além das criptomoedas a fim de expandir ao alcance deste mercado, nisso posto a unicidade.

## 3 ETHEREUM

Ethereum pode ser descrito como uma plataforma de smart contracts contida na blockchain (TIKHOMIROV et al., 2018), com intuito de criar um protocolo com base em sistemas de Completude-de-Turing para protocolar aplicações descentralizadas e garantir sua segurança e funcionalidade. Segundo seu Whitepaper<sup>11</sup>, o ETH segue os seguintes princípios:

1. **Flexibilidade:** Permitindo determinadas mudanças em seus protocolos a fim de detectar novas aplicações e funcionalidades além de otimizar as já existentes.
2. **Modularidade:** Seu protocolo é concebido de maneira o mais modular possível, assim sendo o mais separável possível e também fazendo com que qualquer pequena modificação afete significativamente o resultado final, assim como as funções hash.

<sup>8</sup> **Cryptocurrency Market Size, Growth Trends Report, 2030.** . [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/cryptocurrency-market-100149>>. Acesso em: 23 nov. 2021

<sup>9</sup> **Dogecoin (DOGE) Preço, Gráfico, Capitalização de Mercado.** Disponível em: <<https://coinmarketcap.com/pt-br/currencies/dogecoin/>>. Acesso em: 24 nov. 2021.

<sup>10</sup> **Number of cryptocurrencies 2013-2023.** Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/863917/number-crypto-coins-tokens/>>. Acesso em: 24 nov. 2021

<sup>11</sup> Whitepaper é um documento criado por uma organização a fim de destacar os pontos-chaves, normas e diretrizes de uma aplicação, serviço e/ou produto

3. **Simplicidade:** Mesmo sacrificando armazenamento de dados e a velocidade de processamento do mesmo, os protocolos de ETH tendem a ser o mais simples possíveis visando a sua democratização
4. **Versatilidade:** Rodando em um sistema de turing-completo, o ETH tem foco em criar qualquer tipo de smart-contract que possa ser definido matematicamente, e não em reter características para uso específico. Esse é o princípio mais importante para entendermos o surgimento do NFT já que é a partir dela que toda a gama de tokens vem a ser criada, independente de sua funcionalidade ou complexidade, desde criptomoedas até mesmo sistemas completos podem ser criados com Ethereum.
5. **Não censura:** A fim de estar aberto ao maior número de aplicações possível, o protocolo tenta não evitar os usos que em teoria seriam indesejáveis, e sim regular os danos. “Um programador pode até executar um script de loop infinito em cima do Ethereum, desde que esteja disposto a pagar a taxa de transação para as etapas

omputacionais.” (BUTERIN, 2013). Esse ponto, juntamente com o terceiro, faz-se importante no entendimento dos impactos ambientais causados pelos NFTs..

Outro ponto importante a ser citado sobre o Ethereum, é que esse roda em uma rede P2P, respeitando os princípios de descentralização. Um token de Ethereum é chamado de Ether, que pode ser transacionado livremente entre contas, logo sendo uma criptomoeda. Existem dois tipos de contas que podem ser criadas na rede ETH (CHEN et al., 2020): External-owned-accounts (EOAs) e smart contracts, sendo a diferença fundamental que os EOAs não possuem códigos executáveis desenvolvidos de forma pública, enquanto os smart contracts sim. Um smart contract pode ser criado por uma EOA mas uma EOA não pode ser criada por outra conta. Um Ether pode ser gerado através do processamento de dados na rede Ethereum (mineração). Essa mineração serve como Prova de Trabalho, e dada a alta dificuldade na mineração desse token, muitas vezes os mineradores são recompensados apenas com frações desse token já que esta é partilhada em uma pool de mineradores.

## 4 SMART-CONTRACT

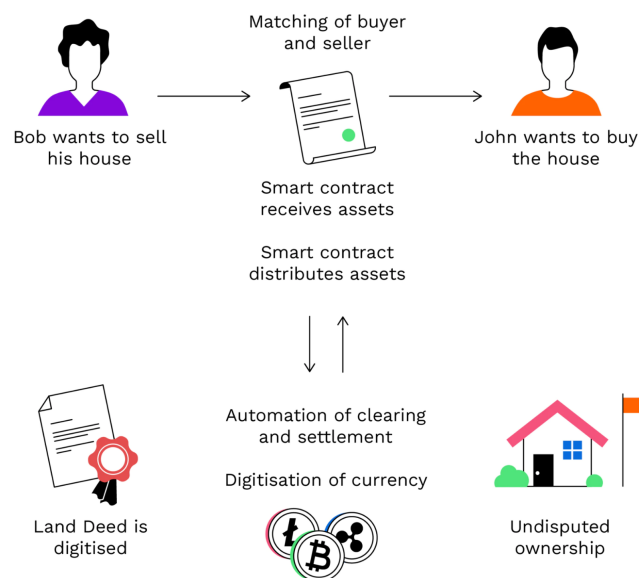
Com base na blockchain, os NFTs são transacionados a partir dos chamados smart contracts (contratos inteligentes em uma tradução direta), termo cunhado por Nick Szabo em 1996. A partir do conceito de contratos de transações reforçados por uma entidade pública, privada ou mista já existente, Szabo propôs a expansão desses para formas descentralizadas, fazendo uso do sistema computacional Turing-completo para garantir a segurança dessas transações sem o uso de uma terceira parte envolvida(SZABO, 1996). Futuramente esse conceito foi desenvolvido pelo ETH, assim como vimos os escritos de Wei Dai serem desenvolvidos pelo BTC, o Ethereum foi a primeira forma largamente utilizada de smart contracts, logo, podemos entender os NFTs como smart contracts de ETH.

## 5 MERCADO DE NFTS

Apesar da criação do primeiro NFT se datar em 2015, com a marcação de satoshis a partir de cores, o mercado para os non-fungible-tokens passa a ter influência suficiente para ser notado pelo mercado de cripto ao fim de 2017 com o projeto CryptoKitties (NADINI et al., 2021), mas o crescimento acentuado que se deu em março de 2021 pode ser atribuído ao leilão de uma obra do artista plástico Beeple por cerca de 70 milhões de dólares seguido pelo sucesso de projetos

Figura 2 – Diagrama do funcionamento de um Smart Contract

### How a smart contract works



Fonte: Bitpanda. Disponível em:

<https://www.bitpanda.com/academy/en/lessons/what-are-smart-contracts-and-how-do-they-work/>

de criptoarte como o CyptoPunk. Dado isso, o mercado de NFTs passou a apoiar-se de forma majoritária em projetos de cripto arte, muito mais próximos do CryptoPunk do que das obras de Beeple, sendo sua diferença fundamental a geração dos NFTs, enquanto as obras de Beeple eram criadas a partir de seu trabalho, os projetos de NFTs que conhecemos hoje utilizam algoritmos para gerar diferentes imagens a partir de uma base única para as imagens.

## 5.1 Criptoarte

Segundo dados retirados do Cripto Slam<sup>12</sup>, a criptoarte é o tipo de NFT mais presente no mercado. Esses se baseiam na especulação do valor de uma obra, de cópias limitadas, na qual a posse é garantida ao comprador pela criptografia do arquivo. Aqui também se incluem os itens colecionáveis lançados por artistas e influenciadores, com a ideia de criar um mercado de colecionadores de NFTs, nesse caso, esses colecionáveis já não seriam necessariamente comprados pelo seu valor futuro, como ativos, e sim pelo seu valor relativo a cada indivíduo de acordo com a sua relação com aquele item, esses geralmente são emitidos em mais de uma cópia, diferente da criptoarte, mas tem sua unicidade garantida pela criptografia na blockchain. A compra e venda das criptoartes é realizada, em sua maioria, dentro de marketplaces virtuais, como o Open Sea, em que permite o usuário criar NFTs a partir de arquivos de áudio, imagem e vídeo em diferentes formatos,

<sup>12</sup> **CryptoSlam! NFT data, rankings, prices, sales volume charts, market cap.** Disponível em: <<http://cryptoslam.io/>>. Acesso em: 24 maio. 2023

e vendê-los em Ethereum, Klaytn<sup>13</sup> ou Polygon<sup>14</sup>.

Para o melhor entendimento da criptoarte, acredito que a divisão destes nas seguintes categorias seja necessária:

1. **Criptoarte Manufaturada:** São NFTs feitos a partir de obras criadas de fato por um artista, onde houve o dispêndio de tempo e trabalho para fazê-la. É o caso de Beeple, citado anteriormente, em que este cria artes digitais e passa a colocá-las à venda como NFTs dentro de marketplaces. Aqui a unicidade pode ser garantida tanto pela existência de uma única cópia, ou pela criptografia, o que é mais comum. Seu valor está principalmente relacionado à obra em si, e a sua posse pelo certificado emitido pelo marketplace, podendo gerar especulação a partir da notoriedade do artista e/ou da obra em si.
2. **Criptoarte Artificial:** Aqui se enquadram projetos como CyptoPunk, que a partir de uma base, no caso deste o desenho do contorno de um rosto em 2D, e diferentes conjuntos de detalhes, como boca, olhos etc, se combinam de forma aleatória a partir de um algoritmo para gerar um NFT único, logo, o certificado de posse é emitido mas a unicidade existe também de forma visual, visto que nenhum desses NFTs será idêntico ao outro. O valor desse tipo de criptoarte está puramente ligado à especulação existente dentro deste mercado, já que a oferta é limitada a um número predeterminado, o que os projetos e os compradores fazem é tentar aumentar a demanda dando notoriedade ao projeto e consequentemente um aumento no preço do NFT. São a forma mais comum de criptoarte no mercado de NFTs por conta da facilidade em se gerar cópias a partir de partes intercambiáveis da arte, sem a necessidade de um artista despendar tempo e trabalho em cada cópia diferente.

Os NFTs colecionáveis se encaixam em ambas categorias, seguindo que a definição de um item colecionável como “Aquele que possui valor monetário crescente em relação ao valor no original”<sup>15</sup>, se encaixando enquanto criptoarte manufaturada ou artificial a depender da forma com que este foi produzido. Essa divisão nos ajuda a entender que mesmo dentro da categoria das criptoartes, existem NFTs específicos para mercados específicos. Enquanto as criptoartes manufaturadas tendem a ser mais baratas pelo menor alcance que tem, logo menor demanda, as criptoartes artificiais são mais caras porém não aparentam possuir valor pela obra em si, dependendo unicamente da visibilidade do projeto e a procura por aquele item em determinado momento. No geral, ambas as formas de criptoarte solucionam o problema de posse em relação a artes digitais, mas se valorizam de formas diferentes.

## 5.2 Criptogames

Criptogames podem ser definidos como jogos play-to-earn (VIDAL-TOMÁS, 2022), um modelo de jogos onde o usuário pode obter recompensas diferentes ao jogá-lo. A partir dessas diferenças é possível separar os criptogames em duas categorias, que assim como as categorias de criptoarte, funcionam e ganham valor de formas diferentes.

1. **Criptogames de criptomoedas:** Essa forma de criptogames é composta por aqueles em que o jogador é recompensado por criptomoedas a partir de mecânicas específicas de cada

<sup>13</sup> Blockchain com código aberto que une blockchains descentralizadas e privadas

<sup>14</sup> Anteriormente conhecido como Matic Network, é uma blockchain a parte que promove uma maior segurança nas transações com criptomoedas da Ethereum.

<sup>15</sup> **Collectibles Market Size, Statistics, Growth Trend Analysis and Forecast Report, 2023 - 2033.** . [s.l: s.n.]. Disponível em: <<https://www.marketdecipher.com/report/collectibles-market>>. Acesso em: 18 maio. 2023



jogo. Em geral, criptogames exigem a compra de NFTs do seu ecossistema para que se possa jogar e obter recompensas. Tomando Axie Infinity, projeto de criptogame mais relevante do mercado como exemplo, nele é preciso comprar personagens para jogar, em que cada um tem uma combinação de partes do corpo única, que leva a habilidades e status únicos, com sua unicidade garantida por criptografia, e a partir do desempenho do jogador em partidas entre si em um número limitado de partidas por dia, este é recompensado com uma quantidade da criptomoeda do jogo equivalente ao número de partidas ganhas e o ranking que se encontra. Esse tipo de criptogame gera renda ao jogador de duas formas: (i) Pela venda das criptomoedas, que tem seu valor determinado pela oferta e demanda, ou seja, pelo quanto as pessoas procuram comprar essa moeda, seja para entrar no jogo ou realizar trade com base na especulação, e o quanto de farm<sup>16</sup> está sendo realizado e disponibilizado no mercado. (ii) Caso o projeto permita, a venda e/ou aluguel dos NFTs necessários para ingressar no jogo, que ganham valor de acordo com a raridade e o quão melhores estes são para gerar recompensas dentro dos jogos, e obviamente, o quão rentável esses jogos estão com base na sua própria criptomoeda.

2. **Criptogames de colecionáveis:** Critpogames deste tipo recompensam os jogadores com itens únicos ou limitados que integram seu ecossistema e, em geral, são utilizados dentro da própria plataforma para aumentar o farm. Aqui o jogador pode gerar receita a partir da venda desses itens, que ganham valor a partir da demanda, pelo desejo das pessoas de conseguirem aquele item, em geral influenciado pelo estado do projeto e também pela escassez do item. Em casos específicos, onde utiliza-se um NFT para entrar ou jogar no criptograma, e a venda e/ou aluguel deste é permitida, o jogador também pode obter ganhos desta forma, assim como nos criptogames de criptomoedas.

Ademais, é possível observar no mercado criptogames que mesclam as duas formas anteriormente citadas, mas não é possível ver uma distinção clara em qual forma de criptogame domina o mercado como se faz na criptoarte.

## 6 METODOLOGIA

Atualmente, a literatura aponta que o preço dos NFTs não se correlacionam com o das criptomoedas mais tradicionais, como BTC e ETH (DOWLING, 2022), e nem com investimentos mais consolidados, porém de baixo risco, como títulos de tesouro dos EUA e ouro (VARTANIAN et al., 2022). No entanto, a hipótese inicial deste trabalho é de que o preço das moedas referentes a projetos de NFTs irão se relacionar com os preços de outros ativos mais consolidados, como o mercado de ações, já que o perfil dos investidores em NFTs são de pessoas com menos experiência, buscando um retorno maior em detrimento ao risco (OH; ROSEN; ZHANG, 2022). No entanto, para avaliar a questão de ser um mercado formado por bolhas racionais, seguindo o método descrito por (DIBA; GROSSMAN, 1988), precisamos utilizar a premissa de que NFTs não possuem dividendos, portanto, não possuem valor fundamental, assim como o BTC. A partir disso, chegamos a Equação 1:

$$\frac{E_t(p_t + 1)}{p_t} = 1 + r \quad (1)$$

Em que  $P_t$  é o preço do NFT no período de tempo  $t$ ,  $r$  é a taxa de juros real e  $E_t$  é o operador da expectativa referente ao período de tempo. Fazendo a substituição recursiva na primeira equação

<sup>16</sup> Ato de performar ações repetitivas em troca de pontos ou criptomoedas

temos que a Equação 2 é dada por:

$$p_t = E_t \left[ \lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{p_t + \tau}{(1+r)^\tau} \right] \quad (2)$$

Serão utilizados testes de raiz unitárias para determinar a estacionariedade das variáveis, já que para verificar a validade da equação 1, tomamos como logaritmos naturais os dois lados e obtemos

$$\ln p_{t+1} = r + \ln p_t + \varepsilon_{t+1} \quad (3)$$

Que implica que o preço dos NFTs terão um comportamento aleatório com desvios, pautados na racionalidade dos investidores, portanto, podem ser utilizados testes de raiz unitária (GUNJI, 2016). O primeiro será Augmented Dickey-Fuller (ADF), que irá partir de uma hipótese nula de não estacionariedade, com a equação

$$\ln p_{t+1} = r + \rho \ln p_{t-1} + \varepsilon_t \quad (4)$$

Onde a hipótese nula é dada por  $\rho < 1$ .

Já o segundo será Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin (KPSS), com uma hipótese nula de estacionariedade

$$\begin{aligned} \Delta \ln p_t &= r + \varepsilon_t \\ e_t &= \ln p_t - \hat{a} = \hat{\beta}_t \end{aligned} \quad (5)$$

A hipótese alternativa (não estacionariedade) será dada por  $\sigma_\mu^2 > 0$  em que  $\sigma_\mu^2 = E(\mu_t^2)$

Os dados utilizados serão as cotações diárias relativas às moedas dos dois maiores projetos de cripto-games desde a popularização do NFT, Bombcrypto (BCOIN) e Axie Infinity (SLP), uma criptomoeda utilizada na facilitação do sistema de trocas dentro das criptomoedas, o PancakeSwap (CAKE), e a taxa de câmbio do dólar em relação ao Real (BRL), Euro (EUR) Yene (JPY) e Yuan (CNY). A escolha das moedas utilizadas nos testes de raiz unitária foi realizada com base nos dados no grau de aceitação dos países com essa tecnologia, coletados em uma pesquisa pelo Statista<sup>17</sup>, e também pela familiaridade prévia da população com o mercado de criptomoedas, avaliada pela pesquisa do Chainalysis<sup>18</sup> que leva em consideração a quantidade total e percentual da população que compra ativos digitais, e também a quantidade de dinheiro em circulação nesse mercado em cada país.

## 6.1 Missing Imputation

As bases de dados referentes às moedas (Euro, Real, Iene e Yuan) possuem um número menor de observações que as das criptomoedas, fazendo com que as matrizes possuíssem tamanhos diferentes e se tornassem inoperantes em relação aos testes de raiz unitária, portanto, foi realizado uma técnica de missing imputation considerando a média local dos missings, já que a taxa de câmbio possui um desvio padrão baixo.

Tabela 1 – Comparação do desvio padrão ( $\sigma$ ) antes e depois do missing imputation.

Moeda	Real	Euro	Iene	Yuan
Valor pré-input	0.0095	0.0491	0.00062	0.00065
Valor pós-input	0.0088	0.0439	0.00058	0.00057

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

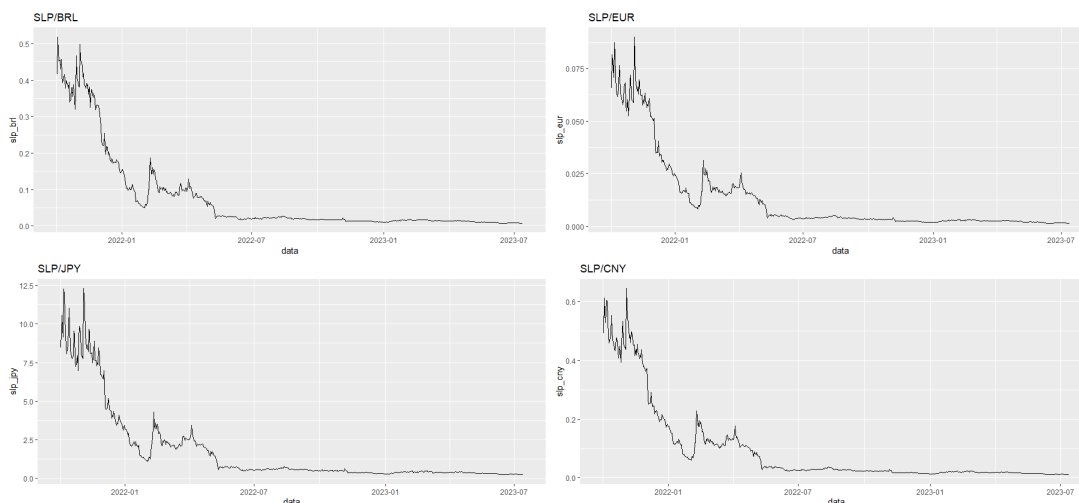
<sup>17</sup> **NFT interest worldwide by country 2022**. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1265980/nft-online-search-interest-country/>>. Acesso em: 21 ago. 2023

<sup>18</sup> **TEAM, C. 2022 Global Cryptocurrency Adoption Index**. Disponível em: <<https://www.chainalysis.com/blog/2022-global-crypto-adoption-index/>>. Acesso em: 21 ago. 2023.

## 7 RESULTADOS

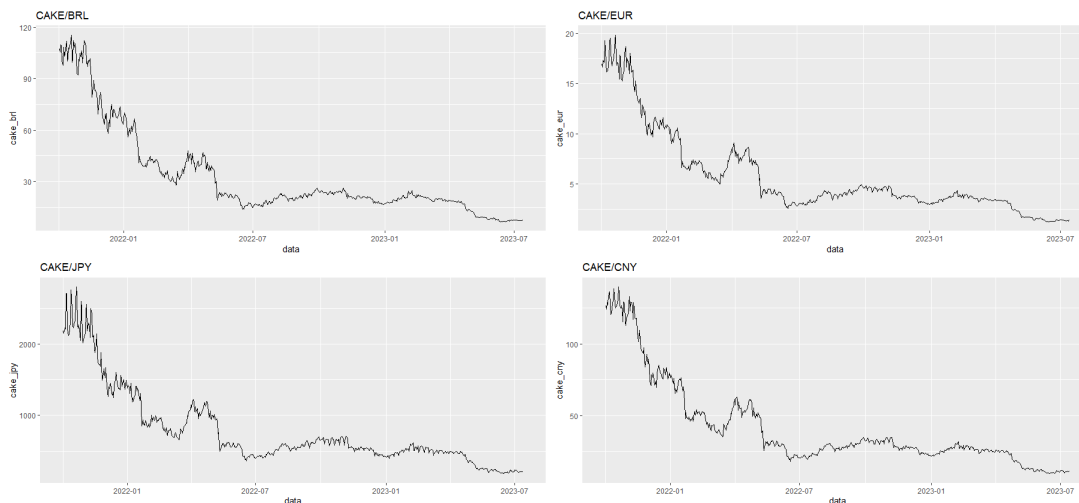
Plotando gráficos do preço das três criptomoedas em relação às taxas de câmbio escolhidas, temos que o comportamento geral é bastante similar, e cabe na descrição de bolha enquanto “Uma tendência de alta durante um período estendido de tempo, seguido de uma implosão” (KINDLEBERGER, 1978, p. 16), bem como em descrições que consideram a falta de um valor explicável pelos fundamentos da economia (GARBER, 2000).

Figura 3 – Preço do SLP em diferentes taxas de câmbio (2021-2023)



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4 – Preço do CAKE em diferentes taxas de câmbio (2021-2023)



Fonte: Elaborado pelo autor

O comportamento de pico, seguido de uma queda rápida e duradoura nos preços, indica justamente o comportamento de bolha que foi anteriormente descrito, em que o ativo atinge um ponto insustentável na sua valoração, e seu preço implode.

## 7.1 Testes de raiz unitária

Observando a tabela 2, em que contêm os testes de raiz unitária para SLP, vemos que em ADF a hipótese nula é rejeitada, quase sempre performando em grau de significância de 1%. O número de lags foi selecionado usando o método do Critério de informação de Schwarz (SIC) dado por:

$$SIC = k \cdot \ln n - 2 \ln(L) \quad (6)$$

Já o número de lags em KPSS foi definido a partir da Matriz de Covariância Newey West:

$$w(j, m) = 1 - \frac{j}{m + 1} \quad (7)$$

Tabela 2 – Resultados dos testes de raiz unitária ADF e KPSS para SLP

Level				First Difference		
Variável	Estatística T		Lag	Estatística T		Lag
ADF						
BRL	-4.11	***	5	-8.32	***	6
EUR	-5.35	***	5	-9.26	***	6
JPY	-5.85	**	6	-9.07	***	6
CNY	-3.74	**	5	-8.97	***	6
KPSS						
BRL	5.31	***	6	0.52	**	6
EUR	5.38	***	6	0.42	*	6
JPY	5.33	***	6	0.36	*	6
CNY	5.32	***	6	0.47	**	6
Nota: ***: p <0.01; **: p <0.05; *: p <0.10. Max.Lag = 6						

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Considerando a consistência dos resultados, confirma-se a hipótese de que o SLP tem um crescimento aleatório com determinados desvios ao longo do tempo, se classificando assim, enquanto uma bolha racional.

Tabela 3 – Resultados dos testes de raiz unitária ADF e KPSS para CAKE

Level				First Difference		
Variável	Estatística T		Lag	Estatística T		Lag
ADF						
BRL	-3.18	**	5	-8.57	***	6
EUR	-3.74	**	5	-8.54	***	6
JPY	-3.77	***	6	-8.02	***	6
CNY	-3.87	***	5	-8.63	***	6
KPSS						
BRL	6.14	***	6	0.51	**	6
EUR	6.24	***	6	0.35	*	6
JPY	6.09	***	6	0.28		6
CNY	6.11	***	6	0.43	*	6
Nota: ***: p <0.01; **: p <0.05; *: p <0.10. Max.Lag = 6						

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

O mesmo se confirma para o CAKE, com exceção do teste de *first difference* em KPSS para o JPY, mas, resultados semelhantes já foram observados em (GUNJI, 2016), e pode ser atrelado ao comportamento atípico da moeda, que apresenta baixas taxas de inflação ou até casos de deflação (EGEA; LÓPEZ, 2021). Ou seja, em geral, confirma-se a hipótese levantada inicialmente de uma estacionariedade que nos leva a confirmação de que a série histórica no valor dos NFTs é um crescimento aleatorizado, com desvios ocasionais que tendem a ser interligados ao comportamento dos investidores (LUO; JIA; LIU, 2023).

A estacionariedade confirmada em uma performance usualmente a níveis de 1 e 5 por cento, pode indicar uma aleatoriedade nos preços dos NFTs ainda maior do que a observada nas bolhas de BTC e ETH observadas por (CORBET; LUCEY; YAROVAYA, 2018), (GUNJI, 2016), (BELLÓN; FIGUEROLA-FERRETTI, 2022), e portanto levar a esses comportamentos mais explosivos, tanto em períodos de alta, quanto de baixa nos preços desses ativos.

## 8 COSIDERAÇÕES FINAIS

Nosso trabalho leva a resultados complementares aos de (BARBON; RANALDO, 2023), (WANG et al., 2022) em que também foram observadas as chamadas bolhas racionais em NFTs, mas utilizando metodos diferentes dos testes de estacionariedade performados para este artigo, e também leva a diante o trabalho de CORBET; LUCEY; YAROVAYA, 2018), (GUNJI, 2016), (BELLÓN; FIGUEROLA-FERRETTI, 2022) em que já eram observadas bolhas em ativos digitais mais clássicos.

Ainda existem lacunas em relação a forma com que a formação desses agentes e suas características sociais impactam na formação de expectativas, portanto, no comportamento não-aleatório presente de forma eventual no preço desses ativos, no entanto, o preenchimento dessa lacuna vai além do escopo desse artigo

Em suma, os resultados levam ao entendimento que, os NFTs, assim como outros ativos digitais mais comuns e utilizados, apresentam um comportamento de bolha, com uma expansão em quantidade transacionada e valor tão rápida quanto a defasagem dos mesmos. A estacionariedade, confirmada a níveis de significância 1% e 5% em aproximadamente 3/4 dos testes performados nos leva a entender que há um crescimento aleatório, o que reforça ainda mais a hipótese de uma bolha, para além apenas do crescimento e decrescimento acelerado, e eventualmente existem mudanças que podem ser atreladas ao comportamento dos indivíduos que investem nesses ativos e em formas paralelas como criptomoedas. A utilização do teste KPSS em reforço ao ADF ainda auxilia em observar melhor um comportamento altamente aleatorizado, como definido na metodologia de (GUNJI, 2016), e a boa performance nos testes leva ao entendimento que, assim como são bolhas mais rápidas em "inflar e estourar", os NFTs também são mais aleatórios em suas séries temporais, com raras exceções em momentos de comportamentos conjuntos dos investidores, se caracterizando assim, como bolhas racionais (LANSING, 2010).