

CARTEIRA DE CRIPTOMOEDAS OTIMIZADA COM ARBITRAGEM ENTRE CORRETORAS

Alexandre Ichiro Hashimoto¹

Rafael Moraes de Camargo Clem²

Vinicius Leonel Leite Henrique³

Faculdade de Tecnologia Cotia
Curso Superior de Tecnologia em Ciência de Dados

RESUMO

Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma estratégia quantitativa voltada ao mercado de criptomoedas, integrando otimização de portfólio e arbitragem automatizada. Considerando a elevada volatilidade desses ativos, busca-se conceber um sistema híbrido capaz de gerenciar riscos por meio da seleção ótima de ativos e capturar ganhos oriundos de discrepâncias de preços entre corretoras. O mercado de criptoativos, inaugurado com a criação do Bitcoin, caracteriza-se pela descentralização e ausência de regulação centralizada, o que, embora represente desafios regulatórios e de segurança, também oferece oportunidades para operações de arbitragem. A metodologia adotada fundamenta-se na Teoria Moderna de Portfólio, utilizando dados históricos diários de preços de cinco criptomoedas para construir carteiras eficientes. Foram calculados os retornos logarítmicos e estimados os parâmetros de retorno esperado e covariância por meio de métodos tradicionais e robustos, como o estimador de Ledoit-Wolf. A otimização foi conduzida por programação convexa com o objetivo de maximizar o Índice de Sharpe, considerando restrições de alocação e taxa livre de risco; em situações de instabilidade numérica, recorreu-se à minimização da volatilidade como estratégia alternativa. Os resultados incluem métricas de performance, como retorno esperado anualizado, volatilidade e Índice de Sharpe, bem como a representação gráfica da fronteira eficiente. Está em desenvolvimento uma interface web para visualização interativa dos resultados. A pesquisa encontra-se na etapa de otimização baseada em dados históricos, sendo a implementação de um módulo de arbitragem em tempo real prevista como etapa futura. Espera-se, ao final, demonstrar que a abordagem proposta é eficaz na combinação de diversificação de risco com aproveitamento de ineficiências de mercado.

Palavras-chave: Estratégias quantitativas. Criptoativos. Otimização de portfólio. Arbitragem estatística. Risco e retorno.

ABSTRACT

This study proposes the development of a quantitative strategy for the cryptocurrency market, integrating portfolio optimization and automated arbitrage. Considering the high volatility of these assets, the aim is to design a hybrid system capable of managing risks

¹ Docente na Fatec Cotia.

² Discente do curso de Ciência de Dados na Fatec Cotia.

³ Discente do curso de Ciência de Dados na Fatec Cotia.

through optimal asset selection while capturing gains from price discrepancies across exchanges. The cryptocurrency market, initiated with the creation of Bitcoin, is characterized by decentralization and the absence of centralized regulation, which, although it presents regulatory and security challenges, also offers opportunities for arbitrage operations. The methodology is based on Modern Portfolio Theory, using historical daily price data from five cryptocurrencies to construct efficient portfolios. Logarithmic returns were calculated, and the parameters of expected return and covariance were estimated using both traditional and robust methods, such as the Ledoit-Wolf estimator. The optimization was performed using convex programming, aiming to maximize the Sharpe Ratio while considering allocation constraints and a risk-free rate; in cases of numerical instability, volatility minimization was adopted as an alternative strategy. The results include performance metrics such as annualized expected return, volatility, and Sharpe Ratio, as well as the graphical representation of the efficient frontier. A web interface is under development to provide an interactive visualization of the results. The research is currently at the optimization stage based on historical data, with the implementation of a real-time arbitrage module planned as a future step. It is expected, in conclusion, to demonstrate that the proposed approach is effective in combining risk diversification with the exploitation of market inefficiencies.

Keywords: Quantitative strategies. Cryptoassets. Portfolio optimization. Statistical arbitrage. Risk and return.

INTRODUÇÃO

Neste trabalho, propõe-se o desenvolvimento de uma estratégia quantitativa para o mercado de criptomoedas que integra otimização de portfólio e arbitragem automatizada. A volatilidade desses ativos impõe riscos aos investidores; assim, buscou-se conceber um sistema híbrido capaz, simultaneamente, de gerenciar o risco por meio da seleção ótima de ativos e de capturar ganhos oriundos da disparidade de preços entre diferentes corretoras.

Esse cenário de oportunidades e desafios no mercado de criptomoedas remonta à criação do Bitcoin, considerado o primeiro sistema financeiro digital descentralizado. Desde a publicação do artigo Bitcoin: Um Sistema de Dinheiro Eletrônico Peer-to-Peer por Satoshi Nakamoto em 2008, o conceito de moeda digital descentralizada ganhou relevância ao propor um sistema alternativo ao modelo bancário tradicional. O bitcoin introduziu um sistema de pagamentos eletrônicos que operava independentemente de intermediários centrais, baseado em confiança mútua entre as partes e em criptografia como mecanismo de segurança e validação das transações. A proposta de Nakamoto substitui intermediários financeiros por uma rede peer-to-peer que soluciona o problema do gasto duplo através da prova de

trabalho e da estrutura imutável de blocos encadeados, formando o que hoje conhecemos como blockchain (NAKAMOTO, 2008).

O impacto dessa inovação amplia o campo monetário e redefine as relações econômicas e tecnológicas em uma economia cada vez mais digital e descentralizada. Segundo Tapscott e Tapscott (2016), o blockchain representa um novo protocolo de confiança, com potencial para transformar modelos de negócios, governança, cadeias logísticas, propriedade intelectual e o próprio conceito de valor (TAPSCOTT e TAPSCOTT, 2016).

Apesar do considerável interesse no mercado de criptomoedas, ele se caracteriza por sua acentuada volatilidade (COLOMBO, 2024, p. 55, apud OLIVEIRA, 2016). A análise e a modelagem dessa volatilidade são relevantes para os participantes do mercado, auxiliando na elaboração de estratégias que permitam gerenciar o risco e melhorar os retornos.

A natureza volátil e, por vezes, imprevisível das criptomoedas introduz um elemento de risco considerável para os investidores (ARAÚJO, 2025, p. 38). Essa volatilidade, caracterizada por flutuações nos preços dos ativos digitais em curtos períodos (ARAÚJO, 2025), exige que os participantes do mercado adotem abordagens de investimento para gerenciar e mitigar esses riscos (FERREIRA, 2022, p. 18). Nesse sentido, a otimização de carteiras surge como uma estratégia, permitindo aos investidores não apenas proteger seu capital contra perdas inesperadas, mas também buscar a maximização dos retornos. O desejável é obter o maior lucro possível ante o valor investido (LEVY e RAMALHO, 2024).

Adicionalmente, a ausência de regulação centralizada no mercado de criptomoedas emerge como uma oportunidade para a aplicação de técnicas de arbitragem devido a divergências de preços entre diferentes corretoras (SULZBACH, 2018, p. 45).

Nesse contexto, é importante compreender o conceito de arbitragem no ambiente financeiro. Segundo (FXCM RESEARCH TEAM, 2016, apud POLLONI, 2022, p. 18)

“Arbitragem pode ser definida como um momento no mercado financeiro onde ativos semelhantes podem ser comprados e vendidos simultaneamente a preços diferentes para obter lucro. De maneira mais simplificada, o ato de compra um ativo mais baratos em um mercado e

vende-lo em outros mercados por um preço mais caro, porém executando ambas as ações de compra e venda com um espaço de tempo muito curto, podendo ser praticamente considerada como uma operação simultânea” (POLLONI, 2023, p.18, apud FXCM RESEARCH TEAM, 2016)

Explorando essa oportunidade de divergências de preços e a ausência de regulação centralizada, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de uma carteira de criptomoedas otimizada, integrada a um sistema de arbitragem em tempo real entre diferentes corretoras. A proposta visa explorar as ineficiências do mercado descentralizado de criptomoedas por meio de operações automatizadas que identifiquem e executem oportunidades de arbitragem, ao mesmo tempo em que buscam maximizar o retorno ajustado ao risco da carteira.

2. REVISÃO DA LITERATURA

O surgimento do Bitcoin em 2008 inaugurou a era das criptomoedas, cujo funcionamento baseia-se em uma tecnologia de registro distribuído sem autoridade central. Na proposta original de Satoshi Nakamoto, cada transação é registrada em uma cadeia contínua de blocos por meio de um mecanismo de prova de trabalho que torna o registro imutável (NAKAMOTO, 2008). Em outras palavras, o sistema ponto-a-ponto criado por Nakamoto elimina o intermediário financeiro tradicional: as transações são encadeadas criptograficamente de modo que não podem ser alteradas sem refazer o processo de mineração (NAKAMOTO, 2008). Don Tapscott e Alex Tapscott (2016) destacam que o blockchain transcende o Bitcoin, oferecendo uma verdadeira plataforma ponto a ponto para transações de qualquer valor, permitindo a transferência e troca de valor diretamente entre usuários, sem que instituições financeiras atuem como árbitros (TAPSCOTT e TAPSCOTT, 2016).

Essa descentralização proporcionada pelo blockchain não apenas transforma a maneira como os ativos são transferidos, mas também influencia a dinâmica dos mercados de criptomoedas. Segundo Araújo (2025), mercado de criptomoedas é altamente volátil, apresentando grandes oscilações no valor dos ativos em curtos períodos, o que pode representar tanto oportunidades quanto riscos para os investidores (ARAÚJO, 2025). Essa perspectiva é reforçada por Ferreira (2022, p. 7, apud NGUNYI et al., 2019), ao afirmar que “A volatilidade é um indicador de extrema

importância em matéria de criptomoedas, especialmente para os investidores, dadas as flutuações que se verificam na evolução dos preços das mesmas ao longo do tempo” (FERREIRA, 2022, p. 7, apud NGUNYI et al., 2019).

Para lidar com risco e retorno de investimentos, recorre-se à Teoria Moderna de Portfólio de Harry Markowitz (1959), que fornece uma estrutura formal para diversificação eficiente. Nesse modelo, o risco de uma carteira é quantificado pela variância conjunta dos retornos dos ativos, expressa por uma matriz de covariância. Para Markowitz (1959), os cálculos de variância e covariância são essenciais para a avaliação da volatilidade e da correlação entre os ativos (MARKOWITZ, 1959). A variância de cada ativo mede seu risco individual, enquanto a covariância indica se dois ativos tendem a oscilar juntos ou em direções opostas. A partir desses cálculos, constrói-se a fronteira eficiente: ela reúne as carteiras que oferecem a melhor relação possível entre risco e retorno, buscando alcançar o maior retorno possível para determinado nível de risco, ou o menor risco para um dado retorno esperado (MARKOWITZ, 1959). A implementação exige montar a matriz de covariância dos retornos de todos os pares de ativos do portfólio e, em seguida, resolver um problema de otimização (MARKOWITZ, 1959). De acordo com Markowitz (1959), a construção de uma carteira eficiente envolve o uso da matriz de covariância para identificar combinações de ativos que maximizem o retorno esperado para um dado nível de risco, priorizando a diversificação entre ativos pouco correlacionados como forma de reduzir o risco geral e melhorar a relação risco-retorno (MARKOWITZ, 1959).

Segundo Ledoit e Wolf (2003), o modelo de Markowitz representou um marco teórico na construção de carteiras eficientes. No entanto, sua aplicação prática requer aprimoramentos, especialmente no que se refere à estimação da matriz de covariância. Nesse contexto, os autores afirmam que o uso de dados históricos pode introduzir erros que comprometem a otimização e que ninguém deveria utilizar diretamente a matriz de covariância amostral na otimização de portfólios, pois ela contém ruído estatístico capaz de distorcer os resultados (LEDOIT e WOLF, 2003). Ledoit e Wolf (2003) propõem a aplicação da técnica de shrinkage para ajustar a

matriz de covariância amostral em direção a uma estrutura mais estável, reduzindo coeficientes extremos e, assim, diminuindo o erro de estimação onde ele mais afeta a otimização do portfólio (LEDOIT e WOLF, 2003). Por outro lado, a formulação matemática da otimização de portfólio é um problema de programação convexa (BOYD e VANDENBERGHE, 2004). Boyd e Vandenberghe (2004) apontam que problemas convexos podem ser resolvidos por algoritmos de ponto interior ou outros métodos numéricos, e que muitas aplicações práticas em finanças se enquadram nessa categoria (BOYD e VANDENBERGHE, 2004). Resumidamente, a otimização convexa permite incorporar restrições e extensões ao modelo de Markowitz sem perder a garantia de solução ótima.

No mercado financeiro, o conceito de arbitragem refere-se à obtenção de lucros a partir de discrepâncias de preço de um mesmo ativo em mercados distintos, as chamadas “Arbitragem Inter-Mercados”. Em termos gerais, a arbitragem ocorre quando um operador identifica a oportunidade de comprar um ativo em um mercado onde seu preço está baixo e simultaneamente vendê-lo em outro onde está alto. O operador captura a margem de lucro decorrente desse descompasso de preços (SULZBACH, 2018, p. 33).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa utilizou dados históricos diários de preços das criptomoedas, Bitcoin (BTC-USD), Binance Coin (BNB-USD), Solana (SOL-USD), PAX Gold (PAXG-USD), Litecoin (LTC-USD) e Ethereum (ETH-USD), atualmente coletados diretamente do Yahoo Finance, por meio da biblioteca yfinance. E futuramente coletadas diretamente das corretoras Binance, Kraken e Coinbase por meio de uma API (Application Programming Interface). Os dados utilizados são do período de 1º de janeiro de 2024 a 1º de janeiro de 2025, totalizando 366 dias. Os dados incluem, para cada dia, o preço de fechamento ajustado de cada criptomoeda. Após o download, essas informações foram organizadas em uma estrutura tabular (Data Frame do pandas), em que cada coluna corresponde a uma criptomoeda e cada linha a uma data. Seguindo a metodologia de análise de retornos descrita por Levy e Ramalho (2024), no processamento inicial foram calculados os retornos logarítmicos

diários de cada criptomoeda com base nos preços ajustados de fechamento, definidos pela fórmula:

$$k_i = \log(P_{t+1}) - \log(P_t)$$

Onde: k = log retorno do ativo x no período t , e P = Preço do ativo no período t .

“Faz-se assim, porque é mais fácil subtrair do que dividir computacionalmente” (LEVY e RAMALHO, 2024, p. 24). Essa formulação permite capturar de forma mais dinâmica o percentual dos preços ao longo do tempo (LEVY e RAMALHO, 2024). Não foram aplicadas outras limpezas (por ex. preenchimento de faltantes) além da remoção dos valores nulos resultantes da defasagem para o cálculo de retorno, não houve eliminação manual de outliers, assumindo-se que os preços diários refletiam adequadamente o comportamento dos ativos. A base de dados final consiste em matrizes de retornos diários com 6 colunas e 366 linhas, alinhadas no calendário de negociação, sem dados ausentes, pronta para análise quantitativa.

As rotinas de preparação e limpeza dos dados foram implementadas em Python usando bibliotecas científicas padrão. As bibliotecas principais incluem pandas, NumPy, matplotlib e seaborn para visualizações, plotly para eventuais visualizações interativas, cvxpy para a solução das otimizações (convexas), yfinance para aquisição de dados e PyPortfolioOpt para otimização. As rotinas foram executadas em ambiente local.

A estimativa dos parâmetros da carteira seguiu a abordagem clássica da Teoria de Markowitz (média-variância). Harry Markowitz analisa o processo de seleção de portfólios, dividindo-o em duas fases e focando na segunda: a escolha do portfólio com base em crenças sobre o desempenho futuro dos títulos. Inicialmente, rejeita a ideia de que os investidores maximizam simplesmente o retorno esperado, argumentando que essa regra não justifica a diversificação. Em vez disso, propõe e defende a regra de que os investidores devem considerar o retorno esperado como desejável e a variância do retorno como indesejável. O autor explica matematicamente como o retorno e a variância de um portfólio se relacionam com os retornos esperados e covariâncias dos títulos individuais, apresentando a teoria por trás da seleção de portfólios eficientes, aqueles que oferecem o maior retorno

esperado para um dado nível de risco (variância) ou o menor risco para um dado retorno esperado (MARKOWITZ, 1959). Para operacionalizar esse embasamento teórico no contexto do mercado de criptomoedas, utilizou-se a biblioteca PyPortfolioOpt, adotando dois conjuntos de parâmetros alternativos para maior assertividade: (i) Retorno esperado (μ): utilizaremos tanto a média histórica dos retornos diários anualizados como a média móvel exponencial anualizada, ambas a partir da biblioteca PyPortfolioOpt. (ii) Matriz de Covariância (Σ): Emprega-se estimadores regulares de covariância. A primeira estratégia aplica o método de Ledoit-Wolf, que ajusta a matriz amostral para melhor condicionamento. Esse método foi proposto por Olivier Ledoit e Michael Wolf, para uso em otimização de portfólio, argumentando que a matriz de covariância de amostra tradicional é inadequada devido ao erro de estimação, especialmente quando o número de ações é grande. Os autores sugerem a aplicação de uma técnica estatística chamada shrinkage, que ajusta os coeficientes extremos da matriz de covariância da amostra em direção a um alvo estruturado, reduzindo assim o erro onde é mais crítico para a otimização média-variância. Detalha a fórmula para a intensidade ótima de shrinkage e demonstra, com dados reais do mercado de ações, que o método proposto melhora consistentemente métricas de desempenho como a razão de informação realizada e reduz o erro de rastreamento, ao mesmo tempo em que diminui a rotatividade do portfólio em comparação com o uso da matriz de covariância de amostra (LEDOIT e WOLF, 2003).

Os parâmetros do modelo, retorno esperado (μ) e Matriz de Covariância (Σ), foram obtidos por métodos quantitativos. O parâmetro μ foi definido como a média dos retornos diários multiplicada por 252, sendo estimado como média histórica ou exponencial dos retornos, com periodicidade anualizada. A Matriz de Covariância (Σ) corresponde à matriz de covariância amostral dos retornos diários multiplicada por 252, estimada por covariância amostral com shrinkage de Ledoit-Wolf ou por média exponencial.

Com μ e Σ definidos, a fronteira eficiente e a carteira ótima foram construídas. No primeiro método, definiu-se uma restrição de peso entre 1% e 50% para cada

ativo e, por padrão, objetivou-se a maximização do Índice Sharpe considerando a taxa livre de risco, as Treasury Bills (T-bills), também conhecidas como Letras do Tesouro Americano. Como as criptomoedas são cotadas em USD, o referencial de taxa livre de risco apropriado é a taxa dos títulos soberanos dos Estados Unidos, que representam o padrão global de menor risco em moeda americana.

“Um ativo livre de risco é um título de renda fixa com baixíssimo potencial de perda. Tradicionalmente, títulos governamentais são considerados os ativos livres de risco de um país. A justificativa reside na capacidade dos governos de emitir moeda e honrar suas dívidas, mesmo que isso implique inflação. Os Estados Unidos, em particular, são vistos como a referência mundial em termos de segurança, devido à improbabilidade de default e à baixa volatilidade de seus títulos.” (LEVY e RAMALHO, 2024, p. 31).

Caso essa estratégia apresentasse erros numéricos, um segundo procedimento foi adotado, utilizando covariância exponencial, com restrição de peso entre 2 % e 60 % para cada ativo, e minimização de volatilidade como objetivo. Em ambos os casos, após a otimização, os pesos dos ativos foram ajustados por meio de cortes, zerando-se aqueles com valores entre aproximadamente 0,5% e 1%. Em seguida, calculou-se o desempenho.

O método resulta no retorno esperado anualizado, na volatilidade anualizada e no índice de Sharpe da carteira otimizada. A solução de Markowitz (1959) foi então obtida por meio da resolução do problema de otimização restrita (com peso mínimo e máximo) mediante programação convexa. Segundo Stephen Boyd e Lieven Vandenberghe, a otimização convexa reside no fato de que, diferentemente dos problemas de otimização não linear gerais, que são tipicamente difíceis de resolver, a otimização convexa pode ser resolvida de forma eficiente por algoritmos eficazes. Isso é semelhante a problemas bem conhecidos como mínimos quadrados e programação linear, que também são casos de otimização convexa (BOYD e VANDENBERGHE, 2004).

Para ilustrar a fronteira eficiente completa (envelope risco-retorno), foram geradas múltiplas carteiras visando retornos-alvo no intervalo definido. Utilizou-se uma função que calcula retorno esperado (μ) e Matriz de Covariância (Σ). O código

seleciona retornos alvo entre 50% do menor retorno esperado e 80% do maior, criando uma série de portfólios eficientes. A saída é um conjunto de pares (retorno, volatilidade) que aproximam a fronteira eficiente. Esses pontos permitem visualizar a curva de fronteira. Esse procedimento reflete a ideia de Portfólio de Markowitz: todos os portfólios eficientes satisfazem a relação ótimo de risco-retorno (MARKOWITZ, 1959).

Para fins de apresentação interativa dos resultados, pretende-se implementar uma interface web utilizando a biblioteca Streamlit, desenvolvida em Python, ou, alternativamente, por meio de uma página em HTML com integração a scripts de backend. Essa interface permitirá a visualização das carteiras otimizadas, da fronteira eficiente, dos principais indicadores de desempenho e expando as oportunidades de investimento. O Streamlit foi selecionado em função de seu desempenho na integração com notebooks Python, permitindo a criação e exibição de componentes gráficos e interativos com pouca adição de código.

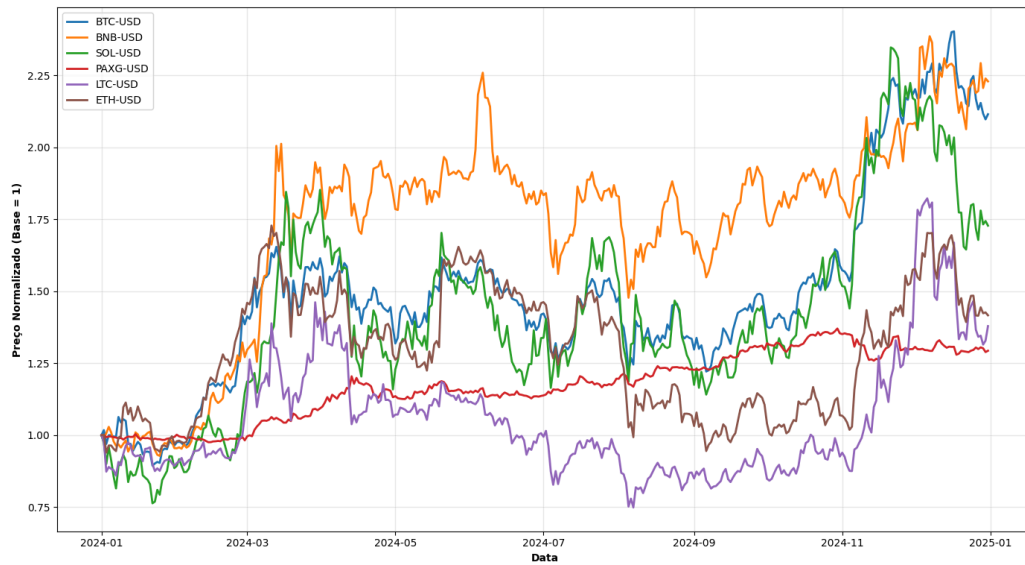
A abordagem adotada ainda não considerou os preços de arbitragem intermercados em tempo real, focando exclusivamente na otimização de portfólio baseada em dados históricos. Dessa forma, os procedimentos apresentados acima compõem a metodologia de análise quantitativa do portfólio de criptomoedas proposto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Resultados

Para complementar a descrição dos dados e auxiliar na interpretação dos resultados da otimização de portfólio, foram gerados gráficos exploratórios que ilustram a evolução dos preços e a distribuição dos retornos das criptomoedas analisadas. A seguir, são apresentados os gráficos que sumarizam visualmente as principais características dos dados, conforme a metodologia descrita.

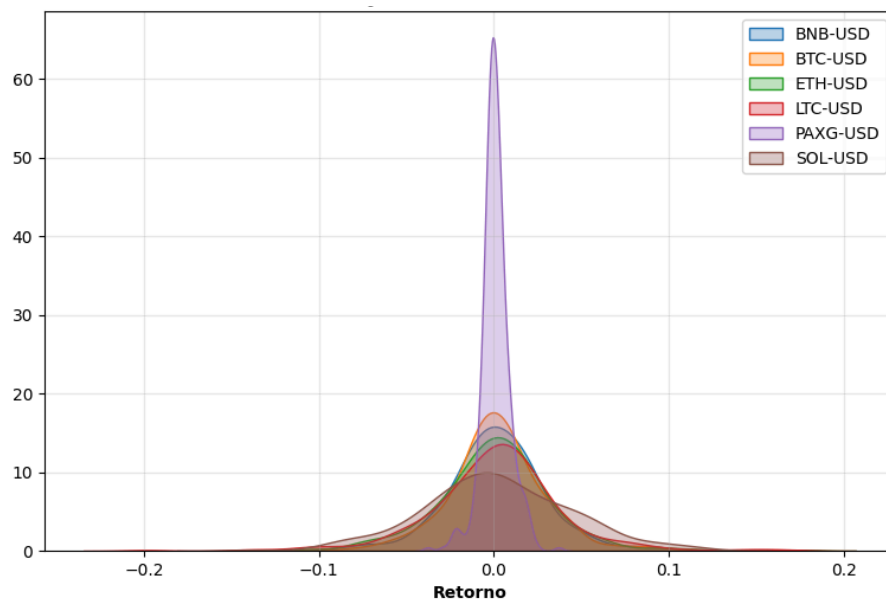
Gráfico 1: Evolução Normalizada dos preços das criptomoedas



Fonte: Própria, 2025

O gráfico ilustra o comportamento das criptomoedas ao longo do tempo, no período de janeiro de 2024 a janeiro de 2025. Cada linha representa a evolução do preço de uma criptomoeda específica. Pode-se notar que mesmo com preços distantes, elas tendem a uma movimentação parecida ao longo do período, exceto PAX Gold, que é uma criptomoeda lastreada ao ouro.

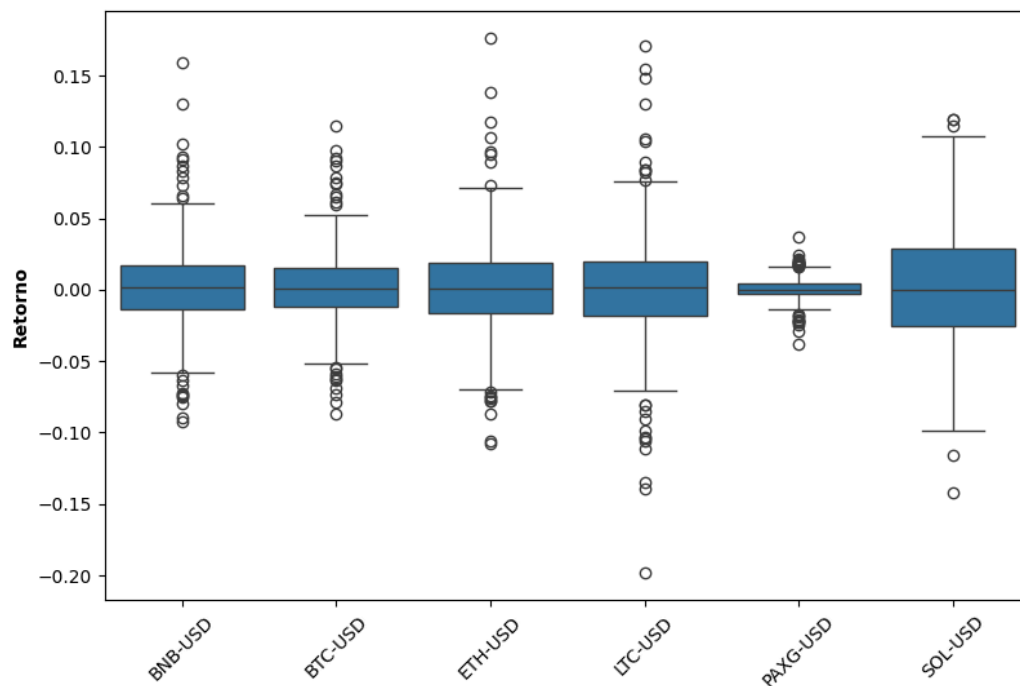
Gráfico 2: Densidade de retornos das criptomoedas



Fonte: Própria, 2025

O gráfico apresenta as curvas de densidade para os retornos diários logarítmicos das criptomoedas. Todas as curvas possuem a mesma área, então curvas mais largas, significam que um ativo é mais volátil, e curvas mais estreitas e altas, significam que um retorno é mais estável, indicando a PAXG-USD como a mais estável e a SOL-USD como a mais volátil.

Gráfico 3: Boxplot de retornos das criptomoedas



Fonte: Própria, 2025

O gráfico ilustra a distribuição dos retornos logarítmicos diários das criptomoedas. A maioria das criptomoedas exibe mediana neutra no período. A PAXG-USD demonstra a menor volatilidade, com retornos concentrados e poucos outliers, refletindo sua natureza lastreada em ouro. Em contraste, SOL-USD é a mais volátil, apresentando maior dispersão dos retornos, tanto positivos quanto negativos.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. F. da S. O COMPORTAMENTO VOLÁTIL DAS CRIPTOMOEDAS: ESTUDO SOBRE O IMPACTO NO MERCADO FINANCEIRO GLOBAL. **Universidade Federal Rural da Amazônia**, Capanema, 2025.
- BOYD, S.; VANDENBERGHE, L. **Convex Optimization**. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.
- COLOMBO, J. **Criptofinanças Avançadas Estratégias e medidas de risco para investidores e gestores**. Ed. 2024. [S. l.]: Fundação Getulio Vargas, Escola de Economia de São Paulo, 2024. p. 55.
- FERREIRA, M. M. M. A volatilidade das criptomoedas: Os casos da Polygon, Solana, BitTorrent Token e VeChain. **Universidade dos Açores, Faculdade de Economia e Gestão**, Ponta Delgada, 2022. p. 01-18.
- LEDOIT, O.; WOLF, M. Honey, I Shrunk the Sample Covariance Matrix. [S. l.]: [s. n.], nov. 2003.
- LEVY, A.; RAMALHO, M. A. C. Análise e Otimização de uma Carteira de Ações com R. In: ALCOFORADO, L. F. et al. **A Inteligência Artificial nas Ciências de Dados**. Pirassununga: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, 2024. p. 22-49.
- MARKOWITZ, H. M. **Portfolio Selection: EFFICIENT DIVERSIFICATION OF INVESTMENTS**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1959.
- NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: Um Sistema de Dinheiro Eletrônico Peer-to-Peer**. 2008. White Paper. Disponível em www.bitcoin.org/bitcoin.pdf. Acesso em: 11 mai. 2025.
- POLLONI, M. S. KriptoWatcher Robô de investimentos em criptomoedas utilizando algoritmo de arbitragem triangular. **Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências, Campus Bauru**, Bauru, 2022. p. 18.
- SULZBACH, C. Arbitragem Estatística em Criptomoedas. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Estatística**, Porto Alegre. jan. 2018. p. 33-45.
- TAPSCOTT, D.; TAPSCOTT, A. **Blockchain revolution : como a tecnologia por trás do Bitcoin está mudando o dinheiro, os negócios e o mundo**. Edição Brasileira: São Paulo: SENAI-SP Editora, 2016.