

USO DE CRIPTOMOEDAS NA DIVERSIFICAÇÃO DE PORTIFÓLIO COM O USO DA TEORIA MODERNA DAS CARTEIRAS

USE OF CRYPTOCURRENCIES IN PORTFOLIO DIVERSIFICATION WITH THE USE OF MODERN PORTFOLIO THEORY

Rogério de Aquino Silva
João Caldeira

RESUMO

A teoria moderna do portfólio, ou simplesmente a teoria do portfólio, explica como os investidores racionais usarão o princípio da diversificação para otimizar seus portfólios de investimento e como os ativos de risco devem ser avaliados. O desenvolvimento de modelos de otimização de portfólio tem sua origem no campo da economia e finanças. O primeiro trabalho na área de otimização de portfólio foi a proposta do modelo de diversificação de Markowitz (1952). O objetivo busca analisar a teoria do portfólio e a forma que ela estabelece que as decisões relacionadas à seleção de investimentos devem ser tomadas com base na relação risco-retorno. Para auxiliar nesse processo, foram desenvolvidos modelos de otimização de portfólio. Para serem eficazes, tais modelos devem ser capazes de medir os níveis de risco e retorno do investimento. O desenvolvimento de modelos de otimização de portfólio tem sua origem no campo da economia e finanças. No entanto, é um erro pensar que, como as criptomoedas estão se valorizando, elas deveriam ser a principal estratégia de investimento. Na verdade, não é saudável apostar todas as suas fichas em uma opção, e as criptomoedas não são exceção a essa regra. A metodologia será bibliográfica empírica que busca destacar dados de uma determinada época. Os resultados obtidos foram que a Teoria Moderna do Portfólio, ou simplesmente Teoria do Portfólio, explica como os investidores racionais usarão o princípio da diversificação para otimizar seus portfólios de investimentos e como os ativos de risco devem ser precificados.

Palavras-chave: Teoria. Otimização. Criptomoedas. Portfólios.

ABSTRACT

Modern portfolio theory, or simply portfolio theory, explains how rational investors will use the principle of diversification to optimize their investment portfolios and how risky assets should be valued. The development of portfolio optimization models has its origins in the field of economics and finance. The first work in the area of portfolio optimization was the proposal of Markowitz's diversification model (1952). The objective seeks to analyze portfolio theory and the way it establishes that decisions related to the selection of investments must be made based on the risk-return relationship. To assist in this process, portfolio optimization models were developed. To be effective, such models must be able to measure levels of risk and return on investment. The development of portfolio optimization models has its origins in the field of economics and finance. However, it is a mistake to think that since cryptocurrencies are increasing in value, they should be the main investment strategy. It is actually unhealthy to bet all your chips on one option, and cryptocurrencies are no exception to this rule. The methodology will be empirical bibliography that seeks to highlight data from a certain period. The results obtained were that the Modern Portfolio Theory, or simply Portfolio Theory,

explains how rational investors will use the principle of diversification to optimize their investment portfolios and how risky assets should be priced.

Keywords: Theory. Optimization. Cryptocurrencies. portfolios.

1 INTRODUÇÃO

Este artigo contribui para a literatura ao examinar o tema sob a ótica de um investidor brasileiro. A partir de carteiras básicas compostas por renda (IBOV), ações fixas (IMAG), mercado imobiliário (IFIX), ativos (GOLD) e ativos internacionais (IVVB11), avalia-se o aumento dos retornos ajustados ao risco a partir da inclusão das criptomoedas, sendo oito estratégias para alocação de ativos dentro e fora da amostra.

Os resultados, de 2015 a abril de 2021, mostram que a inclusão de criptoativos aumenta os índices Sharpe, Sortino e Omega para todas as estratégias. Em particular, dividendos (pesos estratégicos STW), "variância inversa" (RPvar), "volatilidade inversa" (RPvol) e Black-Litterman (maxMVBL) apresentaram um grande número de momentos positivos no índice de Sharpe, geralmente estatisticamente significantes. Além disso, entre os vários grupos, "Crypto Basket" e "Altcoins" superaram, em média, "Bitcoin", o que mostra os potenciais benefícios da diversidade. Ao mesmo tempo, "Stablecoin" foi o grupo com pior desempenho.

As criptomoedas não são uma moda passageira. Abra qualquer grande jornal e é provável que você veja um artigo sobre bitcoin, ofertas iniciais de moedas ou outros tópicos relacionados a criptomoedas. Claramente, a sociedade está começando a incorporar criptomoedas em suas vidas diárias. Mas as massas não compram e negociam apenas criptomoedas; eles também participam de transações de empréstimo baseadas em criptomoeda (empréstimo de criptomoeda).

Nesse sentido, no entanto, a inovação avançou mais rapidamente do que a regulamentação. Embora alguns estados tenham promulgado legislação baseada em criptomoedas, muitos concordam que as preocupações com empréstimos de criptomoedas não são abordadas adequadamente. Portanto, os credores garantidos que entram no espaço de criptomoedas devem se educar para garantir que suas transações de empréstimo de criptomoeda e garantias relacionadas sejam seguras.

2. CRIPTOMOEDAS

2.1 CONCEITO

A criptomoeda é uma moeda digital que não depende de nenhuma autoridade central para protegê-la ou mantê-la. Em vez disso, os dados de transações e ativos são armazenados em um livro digital usando tecnologia de contabilidade distribuída, normalmente blockchain. No entanto, quando uma criptomoeda é emitida por um único emissor ou pré-emitida, geralmente é considerada centralizada. (ANDY, 2011).

Apesar de seus nomes, as criptomoedas não são consideradas moedas no sentido tradicional e, embora diferentes tratamentos tenham sido aplicados a elas, inclusive sendo classificadas como ativos, títulos e moedas, as criptomoedas geralmente são consideradas uma classe de ativos separada na prática. (BROWN, 2017).

Ao contrário do papel-moeda, a criptomoeda não existe na forma física e geralmente não é emitida por uma autoridade central. As criptomoedas geralmente usam controle estendido em vez da moeda digital do banco central (CBDC). As classes de ativos tradicionais, como moedas, commodities e ações, bem como fatores macroeconômicos, têm menos exposição aos retornos das criptomoedas. (LIU; RAHMAN; SERLETIS, 2020)

A primeira criptomoeda moderna foi o Bitcoin, que foi lançado pela primeira vez como software de código aberto em 2009. Em março de 2022 [precisa de atualização], havia mais de 9.000 outras criptomoedas no mercado, mais de 70 das quais com a maior capitalização de mercado. (LIU; RAHMAN; SERLETIS, 2020)

A criptomoeda é gerada por todo o sistema de criptomoedas coletivamente, com um valor definido quando o sistema é criado e anunciado publicamente. Em sistemas bancários centrais e economias como o Sistema de Reserva Federal dos EUA, órgãos corporativos ou governos controlam a oferta de dinheiro.

No caso de criptomoedas, empresas ou governos não podem produzir novas unidades e até o momento não deram suporte a outras empresas, bancos ou organizações corporativas que detenham o valor dos ativos nelas medidos. O sistema técnico básico no qual as criptomoedas são baseadas foi criado por Satoshi Nakamoto. (LIU; RAHMAN; SERLETIS, 2020)

Dentro de um sistema de prova de trabalho como o Bitcoin, a segurança, integridade e equilíbrio dos livros contábeis são mantidos por uma comunidade de grupos confiáveis, chamados mineradores. Os mineradores usam seus computadores para ajudar a verificar e registrar transações, adicionando-as a um livro-razão de acordo com um sistema de carimbo de data/hora específico. Em uma blockchain de prova de participação, as transações são verificadas

pelos proprietários da criptomoeda associada, às vezes agrupadas em pools de participação. (JERRY; ANDREA, 2013).

A maioria das criptomoedas é projetada para diminuir gradualmente a produção dessa moeda, o que limita a quantidade total dessa moeda que será usada. [49] Em comparação com as moedas tradicionais mantidas por instituições financeiras ou mantidas como dinheiro em caixa, as criptomoedas podem ser mais difíceis de serem apreendidas pelas autoridades. [3]

Huang e Lin (2011) sugeriram que é benéfico para os investidores preparar uma carteira diversificada usando ETF (Exchange Traded Fund). Com esse viés, teriam acesso aos mercados globais. De fato, eles obtiveram retornos e um melhor índice de Sharpe em carteiras diversificadas em comparação com investir apenas no S&P500.

Conforme consta no site da Comissão de Valores Mobiliários (CVM, 2020), a decisão N. 332 de abril de 2000 foi alterada em setembro de 2020, o que nos permitiu

investidores pessoas físicas não podem adquirir BDRs (Brazilian Depositary Receipts). Essa mudança mudou a forma como as carteiras de investimento são listadas. Agora eu brasileiros tenho mais de 500 vestidos, vários dos quais foram um privilégio

investidores qualificados. O investidor brasileiro ainda tem a opção de comprar ativos locais e globais. Visando outros mercados rentáveis, Jiang e Liang (2017) falaram sobre investir no mercado de Criptomoedas, buscando diversificação de portfólio.

Eles encontraram evidências de altos retornos através da adoção de estratégias de negociação. Assaf Neto (2014) vê que o mercado de investimentos é enorme. Há oportunidades tanto para ativos reais quanto para ativos financeiros. Alguns exemplos de bens reais seriam: casas, imóveis, carros colecionáveis, arte, entre outros.

Vale ressaltar que este estudo permanecerá apenas no estudo de investimentos, sem considerar derivativos. Com pouco conhecimento, os recém-chegados ao mercado de câmbio podem ver sua velocidade de mudança. A falta de conhecimento das características dos produtos e sua disponibilidade levanta dúvidas sobre a integração das carteiras de investimentos (ANBIMA, 2020).

2.2 REGISTRO DE DATA E HORA

As criptomoedas usam vários esquemas de carimbo de data/hora para "verificar" a validade das transações adicionadas a um bloco blockchain sem a necessidade de um terceiro confiável.

O primeiro sistema de carimbo de tempo que foi inventado foi o sistema de prova de trabalho. Os esquemas de prova de trabalho mais usados são baseados em SHA-256 e criptografia. (STEADMAN, 2013).

Outros algoritmos de hash usados para prova de trabalho incluem CryptoNight, Blake, SHA-3 e X11.

Outro método é chamado de esquema de prova de participação. A prova de participação é uma maneira de proteger uma rede de criptomoedas e obter um consenso distribuído, pedindo aos usuários que comprovem a propriedade de uma certa quantia em dinheiro. Ele difere dos sistemas de prova de trabalho que usam algoritmos de hash complexos para verificar transações eletrônicas. O sistema é muito dependente de dinheiro e atualmente não existe uma versão padrão dele. Algumas criptomoedas usam um sistema combinado de prova de trabalho e prova de participação. (STEADMAN, 2013).

2.3 MINERAÇÃO

No blockchain, a mineração é a verificação de transações. Por meio desse esforço, mineradores bem-sucedidos recebem novas criptomoedas como recompensa. A recompensa reduz as taxas de transação criando um co-incentivo para doar poder de processamento de rede. O nível de produção de hashes, que garante qualquer transação, foi aumentado pelo uso de dispositivos especiais como FPGAs e ASICs, que utilizam algoritmos de hash complexos como SHA-256 e scrypt. Essa corrida armamentista por máquinas mais baratas e eficientes vem acontecendo desde que o Bitcoin foi lançado em 2009. (BEDFORD, 2017).

O uso de moedas virtuais trouxe muitas inovações. Entre eles, podemos citar o anonimato de seus usuários. Isso porque o sistema registra novas transações com histórico a partir da criação de uma determinada moeda com chaves públicas, mas sem a identidade pessoal do usuário (GARCIA, 2014).

Por outro lado, segundo Garcia (2014), o anonimato e o descumprimento da regulamentação oficial da instituição oficial contribuíram para a rejeição das criptomoedas pelos governos de alguns países.

Além disso, houve um aumento no número de usuários, principalmente devido ao baixo custo de utilização desses bens, à grande liberdade que oferecem (sem restrições de horas ou dias de trabalho) e à eliminação da possibilidade de extorsão por governos ou bancos. Portanto,

enquanto os não usuários de criptomoedas estão aumentando, as medidas de proibição ou restrições estritas, e estão crescendo em vários países (GARCIA, 2014).

Nesta situação, a falta de regulamentação e monitoramento do governo não é a questão da segurança que é a principal preocupação. A segurança contra pagamentos duplicados e a irreversibilidade das transações é garantida por um sistema de registro distribuído entre milhares de computadores conectados a uma rede (peer-to-peer) chamada Blockchain.

Com este processo todos os computadores têm a mesma cópia da transação do dinheiro, evitando que alguém faça alterações no seu cadastro sem que o dinheiro seja retirado da rede. O problema penetrou em toda a rede e é sempre utilizado no processo de autenticação, para evitar gastos duplos por um mesmo usuário ou para evitar fraudes.

2.4 DO BLOCKCHAIN ÀS CRIPTOMOEDAS

A autenticação é um conceito importante em criptomoedas; apenas os mineradores podem verificar as transações. Os mineradores adicionam blocos ao Blockchain; eles obtêm a transação do bloco anterior e a combinam com o hash do bloco anterior para obter seu hash e armazenam o hash resultante no bloco atual. (FANG, et.al. 2022).

Os mineradores de blockchain aceitam transações, marcam-nas como legítimas e as movem pela rede. Depois que um minerador cria uma transação, cada nó deve adicioná-la ao banco de dados. Em termos leigos, tornou-se parte do Blockchain e os mineradores fazem esse trabalho para ganhar tokens de criptomoeda como Bitcoin. Ao contrário do Blockchain, as criptomoedas estão relacionadas ao uso de tokens baseados na tecnologia de contabilidade distribuída. (FANG, et.al. 2022).

Qualquer transação envolvendo compra, venda, investimento, etc. inclui um token Blockchain tradicional ou um micro-token. Blockchain é a plataforma que impulsiona criptomoedas e é uma tecnologia que atua como um livro-razão distribuído de uma rede. A rede cria uma maneira de fazer as coisas e possibilita a transferência de valor e informação. As criptomoedas são os tokens usados nessas redes para enviar valor e pagar por essas transações. (FANG, et.al. 2022).

Eles podem ser pensados como ferramentas no Blockchain e, em alguns casos, podem atuar como recursos ou recursos. Em alguns casos, eles são usados para digitalizar o valor das mercadorias. Em suma, as criptomoedas fazem parte de um ecossistema baseado na tecnologia

Blockchain. As criptomoedas são os tokens usados nessas redes para enviar valor e pagar por essas transações. (FANG, et.al. 2022).

Eles podem ser pensados como ferramentas no Blockchain e, em alguns casos, podem atuar como recursos. Em alguns casos, eles são usados para digitalizar o valor das mercadorias. Em suma, as criptomoedas fazem parte de um ecossistema baseado na tecnologia Blockchain.

As criptomoedas são os tokens usados nessas redes para enviar valor e pagar por essas transações. Eles podem ser pensados como ferramentas no Blockchain e, em alguns casos, podem atuar como recursos ou recursos. Em alguns casos, eles são usados para digitalizar o valor das mercadorias. Em suma, as criptomoedas fazem parte de um ecossistema baseado na tecnologia Blockchain. (FANG, et.al. 2022).

2.5 TEORIA DE HARRY MARKOWITZ SOBRE PORTFÓLIO

Harry Markowitz (nascido em 1927) é um economista americano vencedor do Prêmio Nobel, mais conhecido por desenvolver a Modern Portfolio Theory (MPT), uma estratégia de investimento baseada em sua observação de que o desempenho individual das ações não é tão importante quanto o desempenho das ações. desempenho e composição geral da carteira de investidores. (MARKOWITZ, 1952).

Desde que Markowitz apresentou o MPT aos círculos acadêmicos em seu artigo "Portfolio Selection" no Journal of Finance em 1952, sua teoria original mudou fundamentalmente a forma como indivíduos e instituições investem.

Por sua teoria de alocação de ativos financeiros sob incerteza, também conhecida como teoria de escolha de portfólio, Markowitz dividiu o Prêmio Nobel de Ciências Econômicas de 1990 com William F. Sharpe e Merton Miller. Especificamente, o Comitê Nobel citou a teoria da seleção de portfólio desenvolvida por Markowitz como "a primeira grande contribuição para o campo da economia financeira". (MARKOWITZ, 1952).

O Comitê do Nobel também reconheceu que a teoria de portfólio original de Markowitz foi a base para "uma segunda contribuição importante para a economia financeira": o Capital Asset Pricing Model (CAPM), uma teoria do preço dos ativos financeiros, desenvolvida por William Sharpe e outros. pesquisadores na década de 1960.

Harry Markowitz mudou a forma como indivíduos e instituições investem desenvolvendo o MPT, uma teoria de investimento fundamental que mostrou que o

desempenho de ações individuais não é tão importante quanto o desempenho de todo o portfólio. (MARKOWITZ, 1952).

Markowitz foi um dos três ganhadores do Prêmio Nobel de Ciências Econômicas em 1990 por sua teoria da seleção de portfólio, que o Comitê Nobel chamou de "a primeira contribuição pioneira ao campo da economia financeira". Sua teoria MPT também foi citada pelo Comitê Nobel como base do Capital Asset Pricing Model (CAPM), "a segunda contribuição importante para a teoria da economia financeira". (MARKOWITZ, 1952).

2.6 O IMPACTO EDUCACIONAL DO PORTFÓLIO MODERNO DE HARRY MARKOWITZ

Antes do trabalho de Harry Markowitz no MPT, o investimento se preocupava principalmente com o desempenho de investimentos individuais e seus valores atuais. A diversidade, pelo menos, não era sistemática. (ANN, 2022).

2.6.1 MPT e separação

Embora tenha demorado até a década de 1960 para que o trabalho de Markowitz fosse totalmente reconhecido, o MPT tornou-se a pedra angular da estratégia de investimento, e os benefícios da diversificação são amplamente compreendidos por todos os gestores de recursos. Até mesmo os consultores robóticos, uma das tecnologias mais disruptivas em finanças, usam o MPT ao montar portfólios sugeridos para os usuários. (ANN, 2022).

2.6.2 Wall Street

Grande parte do trabalho de Markowitz tornou-se tão padrão na gestão de portfólio que o também ganhador do Prêmio Nobel Paul Samuelson resumiu sua contribuição como "Wall Street repousa sobre os ombros de Harry Markowitz". (ANN, 2022).

2.6.3 Gestão de Carteiras de números

Em 1954, quando Markowitz defendeu sua tese de doutorado sobre o uso da matemática na análise do mercado de ações, a ideia era tão nova que Milton Friedman notou que sua tese

nem sequer era de economia. Em 1992, suas ideias eram tão respeitadas que o economista Peter Bernstein, da Capital Ideas, chamou seu desenvolvimento de estatísticas e métodos matemáticos de gerenciamento de portfólio de "o insight mais famoso da história das finanças modernas". (ANN, 2022).

2.6.4 Crítica de ativos da carteira

Dois críticos da Modern Portfolio Theory (MPT) são Jon Lukomnik, diretor administrativo da Sinclair Capital e membro sênior do High Meadows Institute, um instituto de políticas com sede em Boston focado no papel da liderança empresarial na construção de uma sociedade sustentável, e James Hawley, diretor de Pesquisa Aplicada do TruValue Labs, uma startup sediada em São Francisco que fornece análises de IA para criar métricas de sustentabilidade/ESG.⁵⁶ (ANN, 2022).

Em 2021, Lukomnik e Hawley publicaram o livro, *Moving Beyond Modern Portfolio Theory: It's About Time!*, abordando o que chamam de "paradoxo do MPT": o fato de a variação do MPT de Markowitz funcionar apenas para reduzir o risco idiossincrático, específico de determinados ativos, setores ou classes de ativos - e não fazer nada para reduzir o risco sistemático, que pode destruir toda uma indústria ou todo o sistema financeiro. (ANN, 2022).

Lukomnik e Hawley concordam que o MPT foi desenvolvido décadas antes de certos riscos sistêmicos, como mudanças climáticas, resistência antimicrobiana e escassez de recursos, serem reconhecidos como questões de investimento. No entanto, eles argumentam que esses riscos sistêmicos nos sistemas ambientais, sociais e financeiros do mundo real são mais importantes para a recuperação do que os riscos irracionais associados a qualquer título ou empresa. Em seu livro, eles apontam a falta de ferramentas MPT para lidar com esses riscos sistêmicos do mundo real como um problema urgente para os investidores modernos. (ANN, 2022).

2.7 ATIVOS TRABALHADOS

- Size1_ILLIQ1
- Size1_ILLIQ2
- Size2_ILLIQ1
- Size2_ILLIQ2

Os dados das carteiras utilizadas foram baixados de <https://nefin.com.br/data/portfolios.html>.

Da opção 4 portfolios sorted by size and illiquidity - Equally Weighted Returns, ou seja carteiras de mercado classificadas por tamanho e iliquidez - retornos igualmente ponderados.

Cripto moedas usadas no estudo:

- Bitcoin,
- Ethereum
- Litecoin

Período da Amostra:

- inicio = '2016-08-25'
- fim = '2018-12-31'

O período da amostra inicia a partir do momento que todas as series temporais possuam registos, ou seja, não deixando “buracos” na série, excluindo todas as linhas que tenham algum dado nulo (falta de dado). De forma a normalizar todas as séries temporais, deixando com o mesmo tamanho.

Período Fora da Amostra:

- inicio_f_amostra = '2019-01-01'
- fim_f_amostra = '2019-12-31'

O Período de rebalanceamento da carteira é mensal a cada 30 dias. De forma a obtermos 12 períodos fora da amostra. Os dados das criptomoedas foram baixados a partir do uso da API investpy. Os dados de criptomoedas foram baixados na cotação do dólar e posteriormente convertidos para a cotação de fechamento ajustado do dólar do dia em relação ao real.

Os valores de retornos efetivos já observados são chamados também de retornos históricos. o retorno esperado é o somatório dos retornos do ativo ponderado pelo pelas respectivas probabilidades de ocorrência. Assim, para calcular o retorno esperado pela definição deve-se saber todos os retornos que o ativo pode ter e quais as probabilidades associadas a eles.

Formula de calculo do histórico de retornos dos ativos

$$E(A) = \sum \forall_i p_i R_i$$

$$E(A) = \sum_{\forall_i} p_i R_i$$

O risco de um ativo é definido como o desvio padrão dos retornos efetivos em relação ao retorno esperado.

Fórmula de cálculo de risco de um ativo

$$\sigma_A = \sqrt{E(A^2) - (E(A))^2}$$

O retorno esperado de uma carteira é composto pela soma do retorno esperado dos ativos em um período. Conforme exemplo abaixo

Fórmula cálculo de retorno de uma carteira (exemplo)

$$E_P = \sum_{\forall_i} w_i R_i = 0.08 \times 0.65 + 0.1 \times 0.35 = 0.087 = 8.7\%$$

O cálculo de risco da carteira é feito com base na covariância do risco dos ativos presentes na carteira.

Cálculo de risco para uma carteira

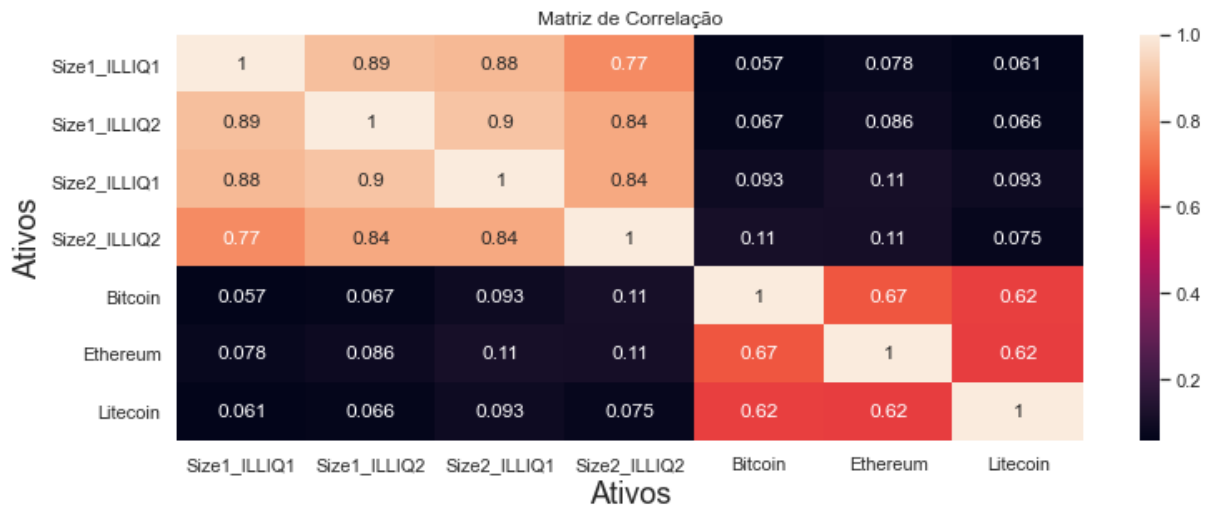
$$\sigma^2 = Var(R_p) = \sum_j \sum_k w_j w_k C_{jk}$$

As abordagens usadas no estudo foram: Mínima variância e carteira de tangencia, ou seja, não usamos carteira de média variância dentro do processo. No caso da carteira de tangencia foi

usada com o objetivo é maximizar o retorno, mantendo a menor volatilidade possível. No caso da mínima variância, também pode ser encontrada como, mínima variância global, com objetivo de achar a carteira que performa melhor com mínima variância.

Foram utilizadas carteiras restritivas e carteiras ingênuas (1/N) para cálculo dos pesos dos ativos.

Tabela 1 – Matriz de Correlação



Conforme é possível observar na Tabela 1 -Matriz de correlação dos ativos, em relação os outros ativos que as criptomoedas possuem baixa correlação com a carteira de ativos porem existe correlação acima de 0.5 entre as próprias criptomoedas (Bitcoin, Ethereum e Litecoin).

Os parâmetros testados para compor as carteiras no estudo foram:

- $W \geq 0$ (carteira que não permite valores negativos ou seja não permite venda a descoberto)= Tangencial e carteira de mínima Variância
- Ingênuo 1/N (um sobre N) = Ingênuo
- Carteira sem restrição = Tangencial e carteira de mínima Variância

Tabela 2 - Retorno anual

Size1_ILLIQ1	0.226102
Size1_ILLIQ2	0.173790
Size2_ILLIQ1	0.132287
Size2_ILLIQ2	0.254821
Bitcoin	1.039780
Ethereum	1.465618
Litecoin	1.223179

Tabela 3 - Matriz de covariância

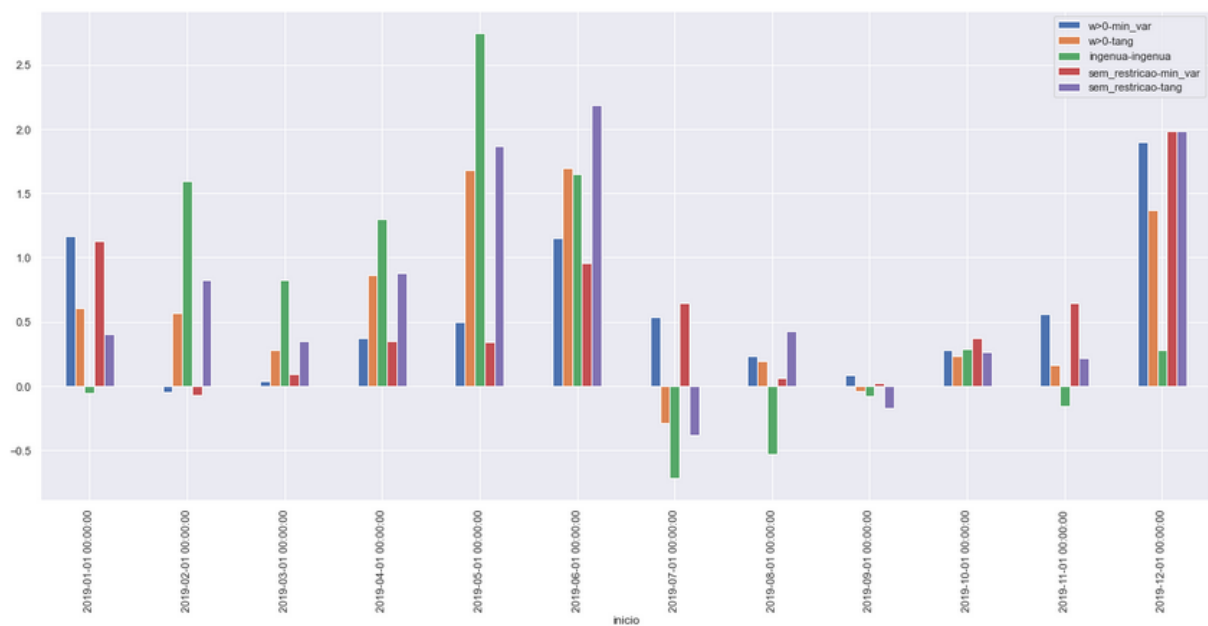
	Size1_ILLIQ1	Size1_ILLIQ2	Size2_ILLIQ1	Size2_ILLIQ2	Bitcoin	Ethereum	Litecoin
Size1_ILLIQ1	0.133905	0.095839	0.084405	0.086135	0.016397	0.030973	0.026797
Size1_ILLIQ2	0.095839	0.086670	0.069724	0.075459	0.015436	0.027524	0.023398
Size2_ILLIQ1	0.084405	0.069724	0.069126	0.067320	0.019255	0.032089	0.029655
Size2_ILLIQ2	0.086135	0.075459	0.067320	0.093038	0.027497	0.035891	0.027508
Bitcoin	0.016397	0.015436	0.019255	0.027497	0.618383	0.565568	0.590692
Ethereum	0.030973	0.027524	0.032089	0.035891	0.565568	1.168707	0.806192
Litecoin	0.026797	0.023398	0.029655	0.027508	0.590692	0.806192	1.458628

Tabela 4 – Tabela descritiva da série dos ativos

	Size1_ILLIQ1	Size1_ILLIQ2	Size2_ILLIQ1	Size2_ILLIQ2	Bitcoin	Ethereum	Litecoin
count	1446.000000	1446.000000	1446.000000	1446.000000	1446.000000	1446.000000	1446.000000
mean	0.000856	0.000658	0.000501	0.000965	0.003939	0.005552	0.004633
std	0.022521	0.018119	0.016181	0.018773	0.048398	0.066535	0.074331
min	-0.207237	-0.169687	-0.150378	-0.200426	-0.394797	-0.448190	-0.388409
25%	-0.008998	-0.007020	-0.006950	-0.007574	-0.018620	-0.027139	-0.029255
50%	0.001141	0.001734	0.001184	0.001241	0.002898	0.001096	0.000765
75%	0.011333	0.009517	0.008994	0.010171	0.025819	0.036256	0.030844
max	0.125304	0.112559	0.129528	0.163470	0.246343	0.487029	0.852292
curtose	-1.029970	-1.563342	-1.104761	-1.501068	-0.111242	0.619268	2.396700
assimetria	14.484155	16.162681	16.236123	23.603563	5.780440	7.094624	23.003863

Conforme observado na Tabela 4 – Tabela descritiva da série dos ativos, com os dados descritivos das séries temporais de retornos dos ativos, apenas as criptomoedas Ethereum e Litecoin possuem curtose positiva em relação a todos os outros da tabela.

Gráfico 1 - Retornos das carteiras no período fora da amostra



Conforme Tabela 5 - Tabela de Retorno das carteiras no período fora da amostra, é possível observar a mesma informação que o Gráfico 1 de cima, porém no nível detalhado. É possível observar que a carteira ingênua no período 2019-05-01 possui o melhor retorno de todo o período entre todas as carteiras. Porém a carteira não restritiva de mínima variância é a única que possui apenas um período de retorno negativo entre todas para o mesmo período. Se levarmos em conta apenas essa informação e desconsiderar todos os outros fatores, a carteira sem restrição de mínima variância demonstra ser mais estável na relação risco-retorno.

Tabela 5 - Tabela de Retorno das carteiras no período fora da amostra

	w>0-min_var	w>0-tang	ingenua-ingenua	sem_restricao-min_var	sem_restricao-tang
início					
2019-01-01	1.170159	0.605989	-0.053696	1.125837	0.405041
2019-02-01	-0.044805	0.571636	1.598564	-0.067373	0.827767
2019-03-01	0.038099	0.279167	0.822360	0.093773	0.353282
2019-04-01	0.372404	0.862794	1.295500	0.353996	0.881072
2019-05-01	0.495725	1.684275	2.747907	0.341507	1.864476
2019-06-01	1.150175	1.696773	1.652349	0.960124	2.185821
2019-07-01	0.540090	-0.286028	-0.712076	0.649048	-0.382522
2019-08-01	0.230414	0.194517	-0.526949	0.066126	0.425128
2019-09-01	0.086503	-0.038161	-0.075923	0.025636	-0.171952
2019-10-01	0.283059	0.231174	0.291938	0.376115	0.263069
2019-11-01	0.556962	0.164221	-0.152250	0.646267	0.215004
2019-12-01	1.899360	1.370154	0.282994	1.983377	1.980909

Conforme observado na Tabela 6 – Volatilidade das carteiras no Período fora da amostra, a carteira sem restrição de mínima variância, possui a menor volatilidade em todo o período fora da amostra.

Tabela 6 - Volatilidade das Carteiras no Período fora da amostra

	w>0-min_var	w>0-tang	ingenua-ingenua	sem_restricao-min_var	sem_restricao-tang
inicio					
2019-01-01	0.127677	0.191046	0.283931	0.130689	0.250830
2019-02-01	0.149413	0.212431	0.391650	0.150832	0.242511
2019-03-01	0.194548	0.155554	0.128848	0.181976	0.154016
2019-04-01	0.120305	0.217005	0.372415	0.116080	0.266375
2019-05-01	0.163631	0.242912	0.365057	0.151347	0.303709
2019-06-01	0.122719	0.236235	0.344397	0.129198	0.283572
2019-07-01	0.150449	0.302812	0.424789	0.150759	0.359066
2019-08-01	0.220981	0.205207	0.258456	0.244775	0.238710
2019-09-01	0.116139	0.212148	0.348957	0.102868	0.264051
2019-10-01	0.130542	0.186509	0.294419	0.132423	0.207254
2019-11-01	0.133939	0.157774	0.209951	0.122928	0.188806
2019-12-01	0.110631	0.166496	0.282981	0.123384	0.194621

Tabela 7 - Média da volatilidade no período fora da amostra.

w>0-min_var	0.145081
w>0-tang	0.207177
ingenua-ingenua	0.308821
sem_restricao-min_var	0.144772
sem_restricao-tang	0.246127

Conforme a Tabela 7 – Média da volatilidade no período fora da amostra, mais uma vez a carteira sem restrição de mínima variância foi a com a menor média de volatilidade.

Tabela 8 - Sharpe das carteiras no período fora da amostra

	w>0-min_var	w>0-tang	ingenua-ingenua	sem_restricao-min_var	sem_restricao-tang
inicio					
2019-01-01	9.164970	3.171951	-0.189116	8.614629	1.614799
2019-02-01	-0.299875	2.690929	4.081615	-0.446677	3.413321
2019-03-01	0.195831	1.794659	6.382407	0.515304	2.293798
2019-04-01	3.095501	3.975911	3.478647	3.049577	3.307631
2019-05-01	3.029534	6.933687	7.527330	2.256444	6.139027
2019-06-01	9.372464	7.182572	4.797808	7.431418	7.708176
2019-07-01	3.589853	-0.944574	-1.676305	4.305210	-1.065324
2019-08-01	1.042686	0.947905	-2.038839	0.270148	1.780938
2019-09-01	0.744820	-0.179881	-0.217571	0.249218	-0.651205
2019-10-01	2.168337	1.239481	0.991576	2.840261	1.269308
2019-11-01	4.158309	1.040864	-0.725171	5.257298	1.138756
2019-12-01	17.168477	8.229355	1.000045	16.074801	10.178300

A carteira com o melhor risco-retorno analisando através dos dados acima Tabela 8 - Sharpe das carteiras no período fora da amostra, no período fora da amostra foi a carteira de mínima variância sem restrição, todos os 12 períodos possuem pesos positivos para as criptomoedas, conforme pode ser observado na Tabela 9 - pesos das carteiras no período fora da amostra, o período com maior índice Sharpe foi o último período, com início em 01/12/2019, com índice Sharpe de 16.07 e retorno de 1.983 para o mesmo período. Outra observação é que a carteira de mínima variância sem restrição teve retorno negativo apenas na segunda iteração do período fora da amostra, sendo o restante das iterações retornos positivos.

Tabela 9 - pesos das carteiras no período fora da amostra

inicio	w>0-min_var- pesos	w>0-tang- pesos	ingenua-ingenua- pesos	sem_restricao-min_var- pesos	sem_restricao-tang- pesos
2019-01-01	[0.42116 0.40608 0.11213 0.0546 0.00363 0.0024]	[0.49423 0. 0. 0.24855 0.13884 0.07081 0.04758]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.403992 0.58344 0.68196 0.09453 0.04586 0.00301 0.00111]	[1. 0.15946 -1. 0.52515 0.16695 0.08689 0.06155]
2019-02-01	[0.42896 0.39405 0.11524 0.05636 0.00274 0.00286]	[0.4758 0. 0. 0.30501 0.11809 0.05258 0.04851]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.40341 0.58551 0.66464 0.10184 0.04784 0.0022 0.00139]	[0.95844 0.14684 -0.92948 0.55324 0.14175 0.06641 0.0628]
2019-03-01	[0.44525 0.37322 0.11952 0.05728 0.00275 0.00196]	[0.45979 0. 0. 0.30983 0.1175 0.05705 0.05564]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.40372 0.60405 0.6389 0.10579 0.04888 0.00234 0.00077]	[0.97316 0.15667 -1. 0.58328 0.14191 0.07228 0.07266]
2019-04-01	[0.47099 0.33561 0.1278 0.05949 0.00335 0.00275]	[0.44669 0. 0. 0.3091 0.12493 0.05721 0.06206]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.40702 0.62767 0.60991 0.11436 0.0508 0.00287 0.0014]	[0.912 0.24194 -1. 0.55137 0.14672 0.07028 0.07766]
2019-05-01	[0.47303 0.32854 0.13336 0.05919 0.00338 0.00251]	[0.43248 0. 0. 0.31545 0.14127 0.05167 0.05913]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.40622 0.63019 0.60351 0.11769 0.05065 0.00292 0.00125]	[0.89337 0.17863 -0.93549 0.55913 0.16606 0.06399 0.07431]
2019-06-01	[0.48257 0.31134 0.14048 0.05841 0.00487 0.00252]	[0.47318 0. 0. 0.25353 0.1584 0.05807 0.05683]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.41181 0.64199 0.58945 0.12439 0.05072 0.00399 0.00126]	[0.90666 0.08331 -0.78345 0.46943 0.18308 0.07046 0.07051]
2019-07-01	[0.47744 0.31174 0.14705 0.05579 0.00491 0.00307]	[0.49468 0. 0. 0.23485 0.17099 0.05041 0.04907]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.40784 0.63371 0.58715 0.13278 0.04832 0.00415 0.00173]	[0.8658 0.2766 -0.85723 0.4048 0.19028 0.05982 0.05992]
2019-08-01	[0.46491 0.31882 0.15711 0.05244 0.00503 0.00366]	[0.40754 0.15141 0. 0.20468 0.14528 0.04035 0.05075]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.40395 0.6182 0.5871 0.14302 0.04598 0.00447 0.00217]	[0.70715 0.44425 -0.76016 0.34409 0.15737 0.04698 0.06033]
2019-09-01	[0.45729 0.31076 0.16747 0.05487 0.00567 0.00395]	[0.42668 0.09671 0. 0.2416 0.15583 0.05579 0.04329]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.36816 0.5929 0.55965 0.15868 0.04941 0.00507 0.00245]	[0.75824 0.4417 -0.86599 0.40116 0.16943 0.04247 0.053]
2019-10-01	[0.45671 0.311 0.16857 0.05425 0.00543 0.00404]	[0.46367 0.08359 0. 0.22343 0.14392 0.04382 0.04157]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.37012 0.59464 0.5579 0.16005 0.04901 0.00512 0.0025]	[0.76286 0.3921 -0.77357 0.36337 0.15453 0.05068 0.05003]
2019-11-01	[0.45905 0.29825 0.17898 0.05359 0.00594 0.00418]	[0.38616 0.13082 0. 0.26042 0.14214 0.04025 0.0402]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.36717 0.59371 0.54331 0.17308 0.04867 0.0057 0.0027]	[0.66579 0.44024 -0.74837 0.39643 0.15175 0.04611 0.04808]
2019-12-01	[0.46052 0.29621 0.17698 0.05346 0.00643 0.00439]	[0.30777 0.24334 0. 0.24131 0.13081 0.03893 0.03783]	[0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714 0.14285714]	[0.36787 0.59688 0.54369 0.16976 0.04888 0.00601 0.00285]	[0.56644 0.54966 -0.7146 0.37017 0.13886 0.04441 0.04506]

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do estudo realizado é possível observar que a teoria de portfólios de Markowitz pode ser aplicada em criptomoedas, quando aplicada, possibilita o aumento dos retornos e proporciona a diversificação das carteiras. Ainda assim é preciso novos estudos aprofundados a fim de entender melhor a aplicação da teoria das carteiras em criptomoedas.

Moedas virtuais ou criptomoedas são "ativos digitais usados como meio de troca." Esses ativos digitais são definidos como criptomoedas porque usam "regras secretas para garantir transações". negociado. usando a Internet através de um sistema peer-to-peer direto."

As carteiras digitais são então acessadas por usuários com chaves privadas, "que é um método de criptografia sofisticado que permite ao usuário acessar sua moeda criptográfica." No entanto, se o usuário perder sua chave privada, esse usuário não poderá mais acessar a carteira digital para usar, sacar ou transferir criptomoedas.

Uma característica incrível das criptomoedas é sua diversificação. Em vez de serem controladas por uma autoridade do governo central, as transações de criptomoedas são processadas, verificadas e registradas em um livro público chamado blockchain.

O "blockchain" atua como uma assinatura digital para verificar a troca. A natureza pública do livro-razão distribuído permite que as pessoas vejam a transferência de dinheiro virtual de um usuário para outro sem exigir nenhum intermediário central em que ambos os usuários devem confiar.

Alguns especialistas acreditam que a tecnologia blockchain subjacente às moedas virtuais servirá para aumentar a eficiência econômica no futuro e terá um impacto amplo e duradouro nos mercados financeiros globais em pagamentos, bancos, liquidação de títulos, registro de títulos, segurança cibernética e relatórios e análises de negócios.

As pessoas que mantêm o blockchain são chamadas de "mineradores" e geralmente recebem taxas de transação na forma de nova criptomoeda por seus serviços. Como o blockchain é público, as transações de criptomoeda podem ser revisadas por qualquer pessoa a qualquer momento.

4. REFERÊNCIAS

ASSAF NETO, A. **Mercado Financeiro**. 12ª. ed. São Paulo: Atlas, 2014. 705 p.

ANN BEHAN, 2022. **Who Is Harry Markowitz?**. Disponível em: <https://www.investopedia.com/terms/h/harrymarkowitz.asp>. Acessado em: 09 de Ago de 2022.

ANDY Greenberg (2011). **"Crypto Currency"**. Forbes. Archived from the original on 31 August 2014. <https://www.forbes.com/forbes/2011/0509/technology-psilocybin-bitcoins-gavin-andresen-crypto-currency.html>. Acessado em: 02 de Ago de 2022.

BEDFORD Taylor, Michael (2017). **"The Evolution of Bitcoin Hardware"**. Computer. Disponível em: <https://www.computer.org/csdl/magazine/co/2017/09/mco2017090058/13rRUwghdcJ>. Acessado em: 17 de Ago de 2022.

BROWN, Aaron (2017). **"As criptomoedas são uma classe de ativos? Sim e não"**. <https://www.bloomberg.com/opinion/articles/2017-11-07/are-cryptocurrencies-an-asset-class-yes-and-no>. Acessado em: 13 de Ago de 2022.

FANG, F., et.al. **Negociação de criptomoedas: uma pesquisa abrangente**. Finanças Innov 8, 13 (2022). <https://doi.org/10.1186/s4085>. Acessado em: 13 de Ago de 2022.

HUANG, M.; LIN, J. **Do ETFs provide effective international diversification?** Research in International Business and Finance, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 335-344, set. 2011.

JIANG, Z.; LIANG, J. **Cryptocurrency Portfolio Management with Deep Reinforcement Learning**. Computer Science: Machine Learning, [S. L.], v. 5, n. 1, p. 1-10, maio 2017. Intelligent Systems Conference (IntelliSys) 2017. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1612.01277>. Acesso em: 10 Jul. 2022.

JERRY Brito e Andrea Castillo (2013). **"Bitcoin: uma cartilha para formuladores de políticas" (PDF)**. Centro Mercatus. Universidade George Mason. Arquivado (PDF) do original em 21 de setembro de 2013. http://mercatus.org/sites/default/files/Brito_BitcoinPrimer.pdf. Acessado em: 12 de Ago de 2022.

LIU, Jinan; RAHMAN, SAJJADUR; SERLETIS, Apóstolos (2020). **"Choques de criptomoedas"**. Revista Eletrônica SSRN . doi : 10.2139/ssrn.3744260 . ISSN 1556-5068 . S2CID 233751995 . <https://www.ssrn.com/abstract=3744260>. Acessado em: 13 de Ago de 2022.

Li, Y., Jiang, S., Wei, Y. et al. **Take Bitcoin into your portfolio: a novel ensemble portfolio optimization framework for broad commodity assets**. Financ Innov 7, 63 (2021). <https://doi.org/10.1186/s40854-021-00281-x>. Acesso em: 21 Jul. 2022.

MARKOWITZ, H. Portfolio selection. The Journal of Finance, v. 7, n. 1, p. 77-91, 1952.

Poljašević, J., Grujić, M. (2022). **Portfolio Optimization with Investment in Cryptocurrencies**. In: Antipova, T. (eds) Comprehensible Science. ICCS 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 315. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-85799-8_4. Acessado em: 27 de Jul de 2022.

STEADMAN, Ian (2013). **"Wary of Bitcoin? A guide to some other cryptocurrencies"**. Ars Technica. Archived from the original on 16 January 2014. Retrieved 17 August 2022.

Y. S. Asawa, "Modern Machine Learning Solutions for Portfolio Selection," in IEEE Engineering Management Review, vol. 50, no. 1, pp. 94-112, 1 Firstquarter,march 2022, doi: 10.1109/EMR.2021.3131158.