

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS

**CENTRO DE ECONOMIA E ADMINISTRAÇÃO
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

ANDRÉ LUÍS RIBEIRO GARCIA

**COMO OCORRE O PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO
DE PORTFÓLIOS NOS DIAS ATUAIS?**

CAMPINAS

2023

ANDRÉ LUÍS RIBEIRO GARCIA

**COMO OCORRE O PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO
DE PORTFÓLIOS NOS DIAS ATUAIS?**

Projeto de Pesquisa apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Metodologia e Técnicas de Pesquisa em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Prof. Pedro de Miranda Costa

PUC – CAMPINAS

2023

ANDRÉ LUÍS RIBEIRO GARCIA

**COMO OCORRE O PROCESSO DE OTIMIZAÇÃO
DE PORTFÓLIOS NOS DIAS ATUAIS?**

Projeto de Pesquisa apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina de Metodologia e Técnicas de Pesquisa em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Prof. Pedro de Miranda Costa

Campinas, de dezembro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Professor Pedro de Miranda Costa
Orientador

Examinador/a

**PUC – CAMPINAS
2023**

Dedico este trabalho à minha mãe e meu pai,
que sempre me apoiaram em minha jornada,
minha eterna gratidão.

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a minha mãe, Andréia, que sempre permitiu e garantiu que eu tivesse as melhores oportunidades desde meu nascimento, não somente na vida universitária. Gostaria também de agradecer ao meu pai Luís Fernando por sempre me mostrar a importância do estudo durante toda a vida. Essa não é uma conquista apenas minha, mas de vocês também.

Agradeço também a meu orientador Pedro de Miranda Costa, que me auxiliou durante esse processo com toda sua experiência.

Por fim, dedico todo esse processo a minha família e amigos que estiveram comigo durante a trajetória acadêmica e contribuíram para a minha formação.

“Nosso maior adversário está dentro de cada um de nós”

Abel Ferreira

RESUMO

GARCIA, André Luís R.. **Como ocorre o processo de otimização de portfólio nos dias atuais?** Trabalho de Conclusão de Curso. Faculdade de Ciências Econômicas, Centro de Economia e Administração, Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Campinas, 2023.

Este estudo aborda a crescente busca por investimentos e aplicações financeiras, focando na otimização de portfólios. A literatura destaca a Teoria dos Mercados Eficientes, centrada em eficiência, e a Teoria das Finanças Comportamentais, considerando fatores emocionais nas decisões. Anomalias de Mercado e Bolhas Especulativas alertam para riscos sistêmicos. A diversificação, otimização de cenários, análise de risco e dependência entre ativos são exploradas. A importância da seleção de restrições na gestão de investimentos é ressaltada. A fronteira eficiente de Markowitz indica que carteiras ideais minimizam risco e maximizam retorno.

Simulações de Monte-Carlo fortalecem consistência teórica e prática, mostrando que portfólios eficientes mantêm menor risco com igual retorno. Em incerteza, as simulações favorecem exposição cautelosa, alinhando-se com a teoria de portfólios equilibrados. Destaca-se a eficácia da teoria econômica na tomada de decisões em ambientes incertos. A metodologia sublinha a importância da diversificação e gestão do risco. Em incerteza, a variação de ativos e escolha de empresas com volatilidades equilibradas são fundamentais. Portfólios excessivamente voláteis, apesar de retornos impactantes, não são estratégias otimizadoras em incerteza.

Palavras chave: Portfólio, Otimização, Teoria, Mercado, Investimentos.

ABSTRACT

GARCIA, André Luís R.. **How does the portfolio optimization process occur in contemporary times?** Final Coursework. Faculty of Economic Sciences, Center for Economics and Administration, Pontifical Catholic University of Campinas, Campinas, 2023.

This study addresses the growing demand for investments and financial applications, focusing on portfolio optimization. The literature highlights the Efficient Market Theory, centered on efficiency, and Behavioral Finance Theory, considering emotional factors in decision-making. Market Anomalies and Speculative Bubbles serve as warnings for systemic risks. Diversification, scenario optimization, risk analysis, and asset interdependence are explored. The significance of selecting constraints in investment management is emphasized. The Markowitz Efficient Frontier indicates that optimal portfolios minimize risk and maximize returns.

Monte Carlo simulations reinforce both theoretical and practical consistency, demonstrating that efficient portfolios maintain lower risk with the same level of return. In uncertainty, simulations favor cautious exposure, aligning with the theory of balanced portfolios. The effectiveness of economic theory in decision-making amid uncertain environments is underscored. The methodology emphasizes the importance of diversification and risk management. In uncertainty, asset variation and the selection of companies with balanced volatilities are fundamental. Excessively volatile portfolios, despite generating impactful returns, are not optimizing strategies in uncertainty.

Keywords: Portfolio, Optimization, Theory, Market, Investments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Equação Retorno Esperado de um Portfólio (Markowitz).....	
19	
Figura 2 – Banco de dados obtido no R-Studio.....	33
Figura 3 – Matriz de covariância encontrada no R-studio.....	34
Figura 4 – Indicadores do Portfólio de Sharpe.....	36
Figura 5 – Indicadores do portfólio de mínima variância.....	37
Figura 6 – Indicadores da Fronteira Eficiente.....	38
Figura 7 – Valores obtidos dos pesos atribuídos e dos retornos e volatilidades simuladas.....	41

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Gráfico 1 – Fronteira Eficiente.....	19
Gráfico 2 – Representação CAPM.....	21
Gráfico 3 – Fronteira Eficiente	42
Gráfico 4 – Simulações de Monte-Carlo agregadas à Fronteira Eficiente	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Retorno esperado mensal para cada ação estudada para o período entre outubro de 2018 e junho de 2023	31
--	-----------

Sumário

1. Introdução.....	13
Capítulo 1	15
2. Referencial teórico	15
2.1 Teorias Gerais de Mercado	15
2.1.1 <i>A teoria da hipótese dos mercados eficientes</i>	15
2.1.2 <i>Teoria das finanças comportamentais</i>	17
2.1.3 <i>A Teoria das Bolhas Especulativas</i>	18
2.1.4 <i>Teoria das Anomalias de mercado</i>	20
2.1.5 <i>Hipótese de Mercado Fracionário</i>	21
2.1 Teorias Gerais de Portfólio	22
2.2.1 <i>Teoria Moderna do Portfólio</i>	22
2.2.2 <i>O Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM)</i>	24
2.2.3 <i>O Modelo de Fama-French</i>	26
2.2.4 <i>A Teoria do Valor de Investimento</i>	27
Capítulo 2	29
2. Revisão da Literatura	29
3.1 Métodos e Resultados	29
Capítulo 3	32
3. Metodologia	32
4.1 Coleta de Dados e Cálculo das Médias Mensais.....	33
4.2 Cálculo dos Retornos Esperados.....	33
4.2 Análise de Dados com o R-Studio.....	36
4.3 Realização da Fronteira Eficiente	39
4.3.1 <i>Portfólio com Maior Relação Risco/Retorno – Portfólio de Sharpe/Portfólio de Tangência</i>	39
4.3.2 <i>Portfólio com Risco Mínimo:</i>	40
4.3.3 <i>Cálculo da Fronteira Eficiente:</i>	41
.....	42
4.3.4 <i>Simulações de Monte-Carlo</i>	42
4. Análise dos Resultados	51
5. Considerações Finais	52
6.1 Limitações do Estudo	53
7. Referências Bibliográficas	54

1. Introdução

O mercado financeiro se enquadra como um sistema que engloba diversas organizações, como bancos, corretoras e fundos de investimentos. O mercado atua intermediando indivíduos que demandam recursos financeiros e outros, que possuem liquidez, e estão dispostos a investir seus recursos. Ele oferece determinados produtos e serviços, que se marcam pelos empréstimos, seguros, ações e tantos outros.

É observado, nos últimos anos uma ascensão na procura por investimentos e aplicações financeiras. Isso se explica em consequência de diversos motivos, como a busca por rentabilidades mais impactantes do que as mais tradicionais, como se enquadra a poupança.

As opções de investimento mais procuradas nos últimos anos se marcam pelas ações, pelos fundos imobiliários e os fundos de investimentos. Salienta-se, nesse cenário, que esse mercado inclui determinados riscos, devendo, sempre, considerá-los em tomadas de decisões. Assim, anteriormente a qualquer aplicação a produtos de investimentos, é preponderante realizar um estudo, buscando-se entender como cada investimento funciona, no intuito de avaliar os respectivos riscos atrelados a cada opção. Reitera-se que sempre é recomendada a procura pela orientação de profissionais qualificados nas tomadas de decisões financeiras.

O conceito de otimização pode ser entendido como o processo que busca definir a melhor decisão para uma determinada situação, levando-se em conta certas limitações, condições e objetivos específicos. No ramo financeiro, a otimização de carteiras de investimentos buscará definir, qual combinação de ativos que maximizará o retorno esperado para um dado nível de risco.

Assim, a otimização de carteiras de investimentos se enquadra como uma técnica, utilizadora de certas ferramentas matemáticas e estatísticas, que busca escolher o conjunto de ativos financeiros que retornam a máxima rentabilidade em um dado grau de risco. Ressalta-se que essa técnica pode ser muito importante em dadas situações de mercados altamente voláteis, cujas condições políticas, econômicas e sociais mudam de forma muito rápida.

A pesquisa em questão possui como objetivo geral estudar como ocorre o processo de otimização de portfólio nos dias atuais. Isso é justificado dado o cenário financeiro brasileiro atual, que vem crescendo de forma acentuada nos últimos anos. No caso, nota-se uma crescente no número de investidores ativos e na cada vez maior diversificação na oferta de ativos financeiros. Segundo a B3, no ano de 2020, o número de investidores presente na bolsa de valores atingiu a marca de 3,2 milhões.

Devido à complexidade e dinâmica do mercado em questão, a otimização de carteiras é uma técnica cada vez mais usada por investidores no objetivo de alavancar seus retornos, gerenciando seus riscos. Porém, é reiterado alertar que essa prática não se enquadra como uma ciência exata. Isso faz com que determinadas decisões possam não se concretizar. Além disso, o uso de modelos matemáticos e estatísticos na otimização pode demonstrar certas imitações e incapacidades, como por exemplo uma dificuldade em se considerar eventos imprevisíveis, como foi o caso da COVID-19.

Apresentado o cenário atual da pesquisa, também será buscado avaliar as teorias de otimização financeiras já estabelecidas na intenção de julgar quais são as mais relevantes e propícias a serem usadas atualmente. Para realizar essa avaliação, será buscado compreender o referencial teórico desse tema, além de realizar uma revisão da bibliografia a respeito de experimentos econômicos que buscam fundamentar como ocorre a otimização e de que maneiras as técnicas podem ser utilizadas.

Feita a revisão, possibilita-se a comparação entre teorias divergentes, podendo-se identificar quais as vantagens e desvantagens referentes a cada uma em relação ao máximo retorno e controle dos riscos. Realizada a comparação, é possibilitada a indicação a respeito de qual as teorias mais adequadas a serem utilizadas atualmente, sempre considerando o atual cenário financeiro brasileiro as opções de investimento disponíveis.

É esperado, dessa maneira, contribuir com a compreensão das teorias de otimização de carteiras de investimentos, criando uma base para que investidores possam selecionar a melhor estratégia de investimento,

considerando seus objetivos, tolerância a risco e as dadas condições de mercado.

Capítulo 1

2. Referencial teórico

2.1 Teorias Gerais de Mercado

2.1.1 A teoria da hipótese dos mercados eficientes

Segundo Fama (1991), o preço dos ativos financeiros demonstra todas as informações presentes no mercado. Sendo assim, informações novas são englobadas de forma rápida aos preços presentes no mercado. Além disso, os preços não demonstram apenas as informações disponíveis de forma pública, eles demonstram também as informações privadas, tornando, dessa forma, a hipótese de eficiência do mercado mais complexa do que parece.

Para Jensen (1978), um mercado se enquadra como eficiente quando não é possível a obtenção de lucro econômico a respeito de informações disponíveis. Assim, está impossibilitado lucros extraordinários aos investidores, mesmo através de uma análise de informações presentes ou passadas, dado que todas as informações já estão contidas dentro dos preços dos ativos.

Ross, Westerfield e Jaffe (2019) afirmaram que as ações são sempre negociadas pelos seus valores justos. Para eles, os investidores conseguem, de forma rápida, processar todas as informações disponíveis a respeito das empresas e da economia, de forma geral.

O conceito de eficiência, de acordo com Campbell, Lo & Mackinlay (1997), está ligado a disposição de informações disponíveis. Assim, é possível definir diferentes noções de eficiência. Dentro dessa teoria, destacam-se três tipos de eficiência.

A primeira vale-se pela eficiência fraca, situação em que os preços dos ativos financeiros espelham todas as informações contidas em preços passados,

assim, nenhuma informação a respeito de preços antigos pode ser utilizada para estimar preços do futuro.

A segunda se marca pela eficiência semiforte, nesse caso, além do conceito estabelecido pela eficiência fraca, os preços refletirão todas as informações públicas disponíveis, até mesmo informações sobre eventos futuros, que ainda impactarão o desempenho das empresas. Dessa forma, um investidor que conter alguma informação pública a respeito de um ativo financeiro em específico, não conseguirá obter vantagem em relação a todos outros, uma vez que a informação já está contida na precificação do ativo.

Por fim, encontra-se a eficiência forte, que sugere nenhuma informação, sendo ela obtida de forma pública ou privada é capaz de fornecer lucros impactantes, já que ambas são incorporadas de forma imediata aos preços.

O último tipo de eficiência acaba se marcando por ser um conceito importante para a regulação e maximização dos mercados, pois sugere que adquirir e usar informações sigilosas é errado e antiético, assim, investidores devem possuir as mesmas informações para tomar suas decisões. Além disso, esse tipo de eficiência, acaba por sugerir indiretamente que a diversificação de ativos é a melhor maneira de maximizar retornos esperados, já que não é possível obter retornos acima da média utilizando-se apenas de um determinado ativo, mesmo que o indivíduo possua informações ainda em segredo.

Shiller (2003), com um viés contrário aos autores anteriormente citados, argumentou que os mercados e os preços podem ser afetados pelos comportamentos e emoções dos investidores. Esse fato pode levar a certas distorções a respeito dos preços dos ativos financeiros, que torna, por consequência, os mercados menos eficientes do que a teoria dos mercados eficientes sugere. Ondas de moda, otimismo, pessimismo conseguem influenciar os preços na concepção do autor. Nesse sentido, observou-se que os agentes tendem a superestimar informações novas antes de ponderá-las.

Esse levantamento acabou por desenvolver uma série de explicações baseadas em tipos específicos de comportamento dos agentes que estão

incluídos nos mercados financeiros que dispersam totalmente do que é pregado pela eficiência de mercado.

A não consideração da possibilidade da existência de eventos raros e extremos, como as crises financeiras, que são capazes de atingir significativamente o preço dos ativos também se trata de um argumento que vai de encontro a teoria dos mercados eficientes, desafiando a hipótese de que os mercados são sempre racionais e eficientes.

2.1.2 Teoria das finanças comportamentais

A teoria das finanças comportamentais se trata de uma área que coloca seu foco no comportamento e na psicologia humana na tomada de decisões de cunho financeiro. Nesse sentido Kahneman e Tversky (1974) além de Shiller (2003), afirmaram que os agentes econômicos são seres limitados por suas capacidades emocionais, sociais e cognitivas. Dessa forma, são incapazes de processar informações de forma integralmente racional e otimizada, o que faz com nem sempre os mesmos hajam no intuito de maximizar seus interesses individuais, uma vez que são muitas vezes influenciados por essas limitações destacadas.

A teoria enfatiza que vieses cognitivos, como as heurísticas e emoções são capazes de influenciar o comportamento humano, levando a comportamentos irracionais que resultam em decisões sub-ótimas. Alguns desses vieses se marcam pela superconfiança, a ancoragem, a supervalorização e aversão às perdas e tantos outros.

Kahneman (1974) enxerga uma assimetria nas emoções, uma vez que observa que a emoção associada às perdas é muito maior do que a emoção associada aos ganhos. E segundo o próprio, esse desequilíbrio possui um efeito impactante poderoso nas escolhas financeiras, muitas vezes levando a decisões não tão desejáveis.

Por assumir essas bases e doutrinas, constantemente, essa teoria entra em conflito com a hipótese dos mercados eficientes. Thaler e Barberis (2003), constataram que os preços dos ativos são impactados não pelos fatos em si,

mas pelas percepções dos investidores, que por muitas vezes são incertas e voláteis.

Por ser preponderantemente subjetiva, não baseando-se em modelos matemáticos e estatísticos, Fama (1998), um dos defensores da eficiência de mercado, afirmou que as finanças comportamentais não podem ser testadas empiricamente. Porém, é de suma importância as observações constatadas pela subjetividade dos agentes, uma vez que através das concepções dessa teoria foi fornecida uma razão que consegue justificar um dos paradoxos dos mercados, onde se explicou o porquê de os preços referentes aos ativos serem tão voláteis, apesar de geralmente ser suposto que os investidores são racionais e os mercados serem eficientes.

2.1.3 A Teoria das Bolhas Especulativas

A Teoria das Bolhas Especulativas se enfatiza na ocorrência de bolhas financeiras, que segundo Kindleberger (2000), se caracteriza por uma fase inicial de aumento de preços advinda de um período de especulação e euforia dos agentes, o que culmina no futuro em uma queda abrupta de preços.

Goldfarb e Kirsch (2019) comentaram que a teoria das bolhas especulativas se marca como um processo de euforia social, em que a narrativa de uma tecnologia recente ou determinada oportunidade de mercado atrai uma demanda inicial por um ativo. Essa demanda, advinda da especulação e do excesso de otimismo, gera, por consequência, um processo inflacionário que coloca o preço do ativo acima de seu valor intrínseco. Entretanto, eventualmente, satura-se a procura por esse ativo, e vários investidores observam que os preços não se autossustentam mais, o que ocasiona na venda do ativo, que reduz seu preço. Quando vários fazem isso, a queda nos preços que se segue é muitas vezes acentuada, o que ocasiona em uma perda relevante para o investidor que adquiriu a ação durante a fase especulativa.

Shiller (2005) observou, nesse contexto, que muitas vezes, bolhas financeiras são alimentadas por certas narrativas de mercado, ou seja, histórias contadas pelos participantes do mercado que justificam a alta dos preços e encorajam mais investimentos. Esse otimismo em excesso é frequentemente

advindo de informações incompletas ou mesmo incorretas a respeito dos ativos. Além disso, a influência de fatores psicológicos, como o efeito manada, heurística comportamental, e o medo de perder oportunidades de lucro também podem explicar esse processo especulativo.

Nota-se uma dualidade pelo fato de que as bolhas podem retornar grandes lucros para investidores que entram e saiam no momento ideal, porém elas representam um significativo risco para investidores que são atingidos pela queda de preços.

Efeitos mais amplos na economia podem ser notados nessa situação, a queda na confiança dos investidores e instabilidades no sistema financeiro como um todo podem ser notadas em uma situação de bolha estourando.

Marca-se, portanto, a importância do reconhecimento da influência de fatores macroeconômicos no aparecimento de bolhas financeiras, como o aumento da liquidez e o ambiente de taxa de juros reduzidas. Bolhas podem ocasionar também a alocações ineficientes de recursos, com investimentos excessivos em determinados setores, o que pode ocasionar uma queda impactantes nos preços quando a bolha estoura, que traz por consequência perdas significativas para investidores e grande desestabilização do mercado financeiro.

Seguindo uma óptica das finanças comportamentais, a teoria das bolhas especulativas distancia-se da hipótese dos mercados eficientes quando, de fato, as bolhas financeiras se tratam de uma das evidências que explicam que os mercados financeiros não são completamente eficientes. Nesse sentido, as mesmas indicam que preços são impactados influenciados por fatores emocionais e comportamentais que não são completamente refletidos nas informações disponíveis.

Shiller (2015) reiterou a ideia anterior ressaltando que essa teoria se trata de uma visão útil e realista no intuito de explicar flutuações do mercado e crises financeiras, superando teorias defensoras da eficiência de mercado.

Malkiel (2010), por outro lado, afirma que a teoria é complicada de ser comprovada de forma empírica por se basear em teorias comportamentais,

difíceis de serem quantificadas. Entretanto, o autor destaca grande importância da mesma, pelo fato de existir um grande interesse por parte de economistas e investidores em suas bases, especialmente após eventos recentes como a crise financeira de 2008.

O entendimento da teoria também gera muita relevância para investidores pelo fato de conseguir auxiliar na identificação do momento em que um ativo está sobrevalorizado e quando poder estar sofrendo um risco de uma queda significativa em seus preços. O que pode propiciar que investidores tomem medidas no intuito de reduzir suas perdas, evitando os efeitos adversos de uma bolha financeira.

2.1.4 Teoria das Anomalias de mercado

Essa teoria defende a existência de certos padrões, não explicados pela teoria dos mercados eficientes, referentes aos comportamentos dos preços dos ativos.

Fama (1970) argumentou que padrões anômalos podem ser compreendidos como anomalias de preços, “pontos fora curva”, que não vão de encontro com a hipótese dos mercados eficientes. Segundo o autor, essas anomalias indicam que os mercados podem ser ineficientes em determinados momentos, e dessa forma, investidores podem se utilizar dessas anomalias no intuito de obter retornos impactantes.

A teoria também destaca que a precificação de ativos pode ser influenciada por um conjunto de fatores, que incluem ações de determinadas instituições, expectativas de futuros lucros, e eventos econômicos/políticos.

Jegadeesh e Titman (2001) afirmam que padrões anômalos sugerem que os preços dos ativos podem ser influenciados por fatores que não são completamente refletidos nas informações disponíveis, como informações privadas ou fatores psicológicos. Como também destacam que as informações que impactam a precificação, não são sempre observadas e refletidas no mercado, propiciando aos investidores brechas e oportunidades de ganhos.

Algumas das anomalias existentes se marcam pelo efeito tamanho – que sugere que ações de empresas menores tendem a gerar maiores retornos do que em relação aos de empresas maiores, o efeito momentum – que destaca que ativos que obtiveram maiores rendimentos no passado tender a retornar melhores resultados futuramente, e o efeito value – que afirma que ações de empresas que possuem maiores valores contábeis em razão ao valor de mercados tender a gerar retornos mais interessantes.

Fama e French (1996) destacaram a relevância da teoria no intuito de fornecer uma base para a teoria financeira e pelo fato de anomalias recentes serem desafios para modelos já utilizados.

2.1.5 Hipótese de Mercado Fracionário

A Hipótese do Mercado Fracionário, teoria desenvolvida por Benoit Mandelbrot, aborda que o comportamento dos preços dos ativos financeiros é mais marcado como um processo estocástico fracionário do que como um processo estocástico browniano, como sustenta a Hipótese dos Mercados Eficientes.

Dessa maneira, a hipótese de mercado fracionário justifica o fato dos preços dos ativos financeiros não serem integralmente aleatórios, mas os mesmos demonstram uma certa continuidade a longo prazo, sendo influenciados por eventos passados.

Essa ideia é fundamentada a partir de uma área da matemática que aprofunda seus estudos em objetos que apresentam auto-similaridade em diferentes escalas. Conforme Mandelbrot (1997), os preços dos ativos financeiros sugerem um comportamento fractal, ou seja, eles demonstram estruturas semelhantes em distintas escalas de tempo. Sendo assim, padrões de preços observados em um determinado período de tempo podem também ser vistos em períodos de tempo maiores ou menores.

A aplicação dessa teoria é abrangente, podendo ser utilizada no intuito de modelar uma variedade de ativos financeiros, como ações, moedas, commodities e títulos. Isso propicia sua utilização a fim de criar estratégias de

investimento que deem ênfase na persistência a longo prazo nos preços dos ativos financeiros.

Fama (1991) abordou que a Hipótese do Mercado Fracionário é marcada por ser uma reformulação da Hipótese dos Mercados Eficientes. Porém, ainda não conseguir explicar eventos extremos ou crises financeiras foi abordado pelo autor, sendo algo necessário a ser trabalhado.

2.1 Teorias Gerais de Portfólio

2.2.1 Teoria Moderna do Portfólio

Desenvolvida em 1952 por Harry Markowitz, é uma das teorias mais influentes em ramo financeiro. Em princípio, todos os investidores são avessos aos riscos, mas de formas diferentes, assim, o foco deve ser em maximizar o retorno esperado de uma carteira para um certo nível de risco.

Markowitz (1952) sugeriu que o risco de uma carteira não é medido através do desvio padrão individual de cada ativo, mas sim pela variância da carteira em conjunto e também pela sua correlação. Assim, o autor demonstrou a importância da diversificação de ativos no intuito de reduzir o nível de risco ao combinar ativos que não estão altamente correlacionados.

A equação desenvolvida por Markowitz está representada pela figura abaixo:

Figura 1 – Equação Retorno Esperado de um Portfólio (Markowitz)

$$\sigma_{Carteira} = \sqrt{(W_A^2 \cdot \sigma_A^2) + (W_B^2 \cdot \sigma_B^2) + 2 \cdot (W_A \cdot W_B \cdot \rho_{AB} \cdot \sigma_A \cdot \sigma_B)}$$

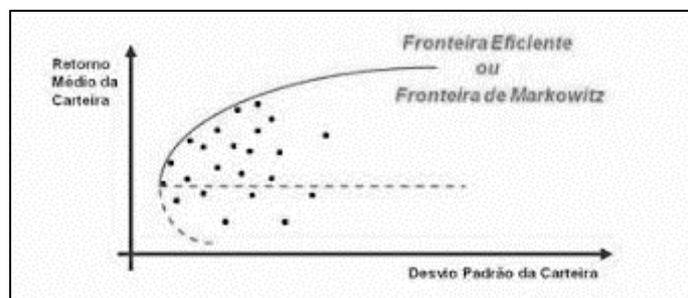
Onde:
 σ = Desvio Padrão
 ρ = Correlação entre os dois ativos
 W = Peso (%) de cada ativo na carteira

Fonte: <https://terraoeconomico.com.br/markowitz-e-teoria-moderna-de-portfolio/>

Além disso, introduziu a concepção de fronteira eficiente, um gráfico que representa todas as combinações de ativos capazes de oferecer o maior retorno

esperado para um nível de risco em específico. O gráfico em questão está representado abaixo:

Gráfico 1 – Fronteira Eficiente



Fonte: www.hashinvest.com.br

Bodie, Kane e Marcus (2014) observaram que todas as carteiras que se encontram na fronteira de mínima variância são capazes de proporcionar as melhores combinações de risco em relação ao retorno, sendo, portanto, candidatas à carteira ideal. Assim, pontos que estão abaixo não pode ser escolhido pelo investidor, uma vez que para o mesmo nível de variância (risco), existe uma combinação de ativos capaz de oferecer retorno maior. Justamente por isso, estão abaixo e não fazem parte da fronteira eficiente.

Assim, a escolha de ativos com alto potencial de retorno não é o preponderante. É preciso realizar a combinação, de forma apropriada, levando em consideração as correlações, retornos e diversificação dos ativos.

Para Markowitz (1952), um portfólio composto por ativos fortemente correlacionados entre si deve ser evitado, porque, nesse caso, se houver uma queda no preço de um ativo, a carteira como um todo acabaria afetada, uma vez que existe uma forte correlação deste ativo em questão a todos os outros presentes na carteira. Por outro lado, esse efeito seria reduzido caso houvesse uma diversificação entre ativos que sejam fracamente correlacionados. Já que a alta de um acabaria por compensar na queda do outro, reduzindo o risco da carteira de forma geral.

Ibbotson e Kaplan (2000) em seu estudo observaram que investidores têm distintos níveis de aversão ao risco e diferentes horizontes de investimento, o que resulta no fato que diferentes investidores podem ter diferentes combinações de ativos ótimas. Alguns investidores podem estar dispostos a

assumir mais riscos em troca de maiores retornos, enquanto outros podem preferir minimizar o risco, mesmo que isso signifique retornos menores.

Vale-ressaltar que Benartzi e Thaler (1999), cientistas de viés comportamental, afirmaram que a volatilidade histórica é capaz de subestimar o risco em momentos de crise. O que fez com que essa teoria, criada em 1952, fosse desenvolvida, incluindo outras medidas de mensuração de risco, como o Value at Risk (VaR) e o Expected Shortfall (ES), com ambos considerando, agora, a possibilidade de eventos extremos.

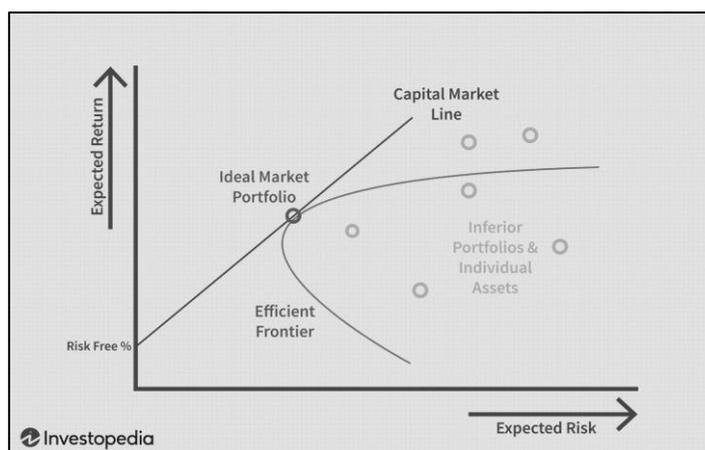
2.2.2 O Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM)

Marca-se por ser umas das teorias mais importantes na área financeira, sendo desenvolvida por William Sharpe, John Lintner e Jan Mossin. O modelo busca definir o retorno esperado de um ativo em comparação ao risco de mercado como um todo.

Conforme Sharpe (1964) o modelo assume que o retorno de um ativo advém de dois componentes, o retorno livre de risco - que pode ser obtido por um investidor quando o mesmo investe em um ativo livre de risco como a poupança ou um título do Tesouro nacional – e o prêmio pelo risco de mercado – marcado pela diferença entre o retorno esperado do mercado, que inclui risco, e o retorno livre de risco.

O gráfico 2, representado abaixo busca representar o que foi abordado no parágrafo anterior:

Gráfico 2 – Representação CAPM



Fonte: <https://www.investopedia.com/terms/c/capm.asp>

A teoria também sugere que o risco referente a um ativo pode ser mensurado através de sua sensibilidade às flutuações de mercado. Essa sensibilidade é representada pelo coeficiente beta, que é calculado pela covariância entre o retorno de um ativo individual com o retorno de mercado dividido pela variância do retorno de mercado. No caso, o beta indica o grau em que ativo se movimenta juntamente ao mercado.

Conforme Ross (1978), o CAPM conseguiu mostrar como investidores devem ser beneficiados ao assumir riscos de mercado. No caso, o retorno aumenta linearmente à medida que o risco cresce, essa concepção mensurada pelo coeficiente beta.

Sharpe (1964) afirmou que o retorno esperado de um ativo tende a ser proporcional a seu risco sistêmico, representado pelo beta (β) do ativo. Assim, o retorno esperado de um ativo pode ser calculado pela seguinte equação:

$$E(R_i) = R_f + \beta_i[E(R_m) - R_f]$$

Onde:

$E(R_i)$: retorno esperado do ativo i

R_f : taxa livre de risco

β_i : coeficiente beta do ativo i

$E(R_m)$: retorno esperado do mercado

$E(R_m) - R_f$: o prêmio pelo risco de mercado

O CAPM também fornece uma solução para a questão da precificação de ativos financeiros quando propõe que o risco não diversificável de um ativo se trata do fator exclusivo na determinação do retorno esperado. Permitindo avaliar o desempenho de um ativo financeiro através de sua contribuição no risco sistemático da carteira total.

Por outro lado, Fama e French (1992) afirmaram que o modelo não considera outros componentes que são capazes de influenciar no retorno de um determinado ativo, como a liquidez, a relação preço pelo lucro e o próprio tamanho de uma empresa. Assim, eles acreditam o coeficiente beta não é suficiente para explicar distinções nos retornos de ativos financeiros.

2.2.3 O Modelo de Fama-French

O Modelo de Fama-French caracteriza-se como uma extensão do Modelo de Precificação de Ativos Financeiros (CAPM), sendo desenvolvido por Eugene Fama e Kenneth French em 1992.

Esse modelo adiciona fatores que impactam o retorno de um ativo financeiro, além do risco de mercado, o beta na concepção CAPM. Segundo Fama e French (1992), o modelo tem a concepção de que os retornos das ações podem se explicar não somente pelo risco de mercado, mas também por fatores adicionais, como tamanho e valor das empresas.

Silveira & Barros (2008) afirmou que Fama e French elaboraram um modelo que consiste em três fatores que visam medir o retorno de ações. Esse modelo considera o retorno do mercado, a diferença de retorno entre ações de empresas com alto e baixo valor de mercado e a diferença de retorno entre ações de empresas com alto e baixo índice de preço para livro.

Aprofundando-se na teoria observa-se que empresas menores, com índices book-to-market superiores tendem a obter retornos mais altos, mesmo quando controlados pelo risco de mercado. Assim, este modelo, em específico, pode ser usado para explicar performances de diferentes tipos de carteiras.

Sugere-se que a efetividade do modelo de Fama e French mostra uma importante evolução na capacidade de explicar as diferenças no desempenho

de diferentes ações, quando comparados com modelos de precificação de ativos criados anteriormente.

Carhart (1997), nesse sentido, afirmou que o modelo de Fama-French supera o CAPM ao constatar os retornos de ações americanas, mesmo incluídos fatores de risco adicionais, como momentum, são incluídos. Segundo ele, este modelo em questão também possui capacidade de explicar os retornos de um grande leque de ativos financeiros, como títulos e fundos, não limitando-se em ativos de renda variável. Por outro lado, ainda existem dificuldades em explicar os retornos das empresas que têm altos níveis de investimento em ativos fixos.

Porém, o modelo de Fama e French não estabelece em sua análise determinados fatores que podem influenciar o retorno de um ativo financeiro, como a liquidez - capacidade de converter um ativo financeiro em meio de troca - e a volatilidade. Esse fato pode ser agregado pela concepção de Campbell, Lo e MacKinlay (1997), que observaram que enquanto o modelo se mostrou eficaz ao explicar retornos anormais em uma ampla gama de portfólios de ações, porém ele ainda deixou uma quantidade significativa de variância ainda inexplicada, o que sugere, por consequência, na existência de outros fatores de risco ainda não incluídos no modelo.

2.2.4 A Teoria do Valor de Investimento

Desenvolvida por Benjamin Graham e David Dodd na década de 1930 e popularizada por Warren Buffett, essa teoria, que também é conhecida como Value Investing, é marcada como uma estratégia de investimento que procura identificar empresas que estejam subvalorizadas pelo mercado.

Alves (2001) afirmou que o método dessa teoria se fundamenta na busca pela identificação de ativos que contenham bons fundamentos econômicos, porém, por alguma razão, estejam sendo negociadas a preços menores do que seu valor intrínseco. Assim, essa técnica enfatizará a análise fundamentalista correspondente a determinada empresa, como o fluxo de caixa, o lucro líquido, a gestão e a posição de mercado da companhia.

O método é formado por três partes principais, a análise da empresa, a análise do mercado e o cálculo do valor intrínseco da ação. A análise da empresa

é marcada pela avaliação dos fundamentos da empresa, assim, serão estudadas as demonstrações financeiras, o histórico de pagamento de dividendos e como ocorre a gestão da empresa. Por sua vez, a análise do mercado se consiste na avaliação das tendências e do cenário econômico do setor que determinada empresa opera. Por fim, o cálculo do valor intrínseco da ação será feito a partir de uma projeção de fluxos de caixa futuros, no caso, esses valores serão trazidos a valor presente, determinando-se um valor atual justo, correspondente ao valor da empresa no dia atual.

Como consequência, estudos mostram que empresas que estejam sendo julgadas como subvalorizadas, cujo preço de mercado seja inferior a seu valor intrínseco, possuem um retorno superior ao longo do tempo em comparação às empresas supervalorizadas, cujo preço de mercado seja superior a seu valor intrínseco.

Como o Value Investing se baseia por fundamentos, investidores podem investir com base em dados concretos, não se limitando em expectativas futuras ou rumores do mercado. Esse tipo de investimento também tende a reduzir volatilidade, principalmente quando comparado a estratégias como o day-trading, algo interessante para investidores mais avessos ao risco.

Bodie, Kane e Marcus (2013) observaram que um dos pontos negativos referentes ao Value Investing se marca pelo fato da exigência de paciência e tolerância para períodos de desempenho reduzidos, inferiores a expectativas, como ocorre muitas vezes em tempos de turbulência no mercado ou em setores com rápidas mudanças. Além disso, brechas de investimento não são extraídas de maneira muito simples e ações podem continuar sendo julgadas como subvalorizadas por longos períodos, mesmo que possuam índices satisfatórios.

Ou seja, mesmo que Teoria do Valor de Investimento possua uma estratégia sólida e comprovada ao longo do tempo, ela pode exigir grandes períodos de tempo para retornar resultados satisfatórios e também pode não ser tão eficaz em mercados com muita variação de preço ou mesmo em setores com muitas e rápidas transformações – com mudanças ocorrendo com frequência e rapidamente, pode se alterar todo um cenário analisado anteriormente, tornando o mesmo desatualizado e agora ineficaz.

Capítulo 2

3. Revisão da Literatura

3.1 Métodos e Resultados

Ackermann, Pohl & Schmedders (2016) e Algarvio et al. (2017) basearam-se na teoria de otimização de portfólio, criada por Harry Markowitz, em suas metodologias para otimização de carteiras, permitindo a identificação de uma alocação de ativos que equilibra o retorno e o risco do portfólio, resultando em um portfólio mais eficiente em termos de risco-retorno em comparação com outras abordagens.

Os primeiros escolheram pesos de diferentes ativos em um determinado portfólio no intuito de maximizar o retorno esperado enquanto buscaram também minimizar o nível de risco. Em seu particular caso, utilizaram-se de um quadro de otimização de média variância que analisava correlações entre os ativos selecionados e determinadas restrições. Os segundos, por sua vez, seguindo o mesmo padrão, mas com uma complexidade técnica superior, fizeram um processo de otimização baseado em uma programação linear inteira mista, que engloba restrições como liquidez, limites de investimentos em determinados ativos individuais e projeções de médias e covariâncias de retornos esperados que possibilitem identificar qual alocação de ativos minimize a variância (nível de risco) em um portfólio – o portfólio “ótimo”.

Os resultados sugeriram que o uso dessas técnicas são estratégias superiores no intuito de diminuir riscos e aumentar retornos esperados especialmente no mercado atrelado a ações. Ackermann, Pohl & Schmedders (2016) comentaram que a diversificação otimizada é mais efetiva do que a diversificação ingênua quanto a redução de risco, principalmente em períodos e mercados de alta volatilidade. Já Algarvio et al. (2017) perceberam que a otimização de portfólio utilizada superou a estratégia “buy and hold” em termos de retornos e riscos ajustados. Os mesmos descobriram que ao diversificar o portfólio ocorreu a redução do risco dos investimentos, fazendo com que a

estratégia desenvolvida por Markowitz obtivesse retornos muito mais rentáveis especialmente em longo prazo.

Com ênfase na gestão de risco do portfólio, Al Janabi (2014) propôs um modelo de otimização findado na incerteza, baseado na técnica de otimização de cenários. Esse modelo busca avaliar o desempenho de um portfólio em distintos cenários econômicos, no intuito de estabelecer a melhor combinação de portfólio para cada cenário em específico. Ayub, Shah & Abbas (2015) estabeleceram um modelo diferente, com uma análise robusta de risco para gerir portfólios em mercados voláteis, chamando-o de otimização robusta múltipla. Esse modelo, segundo os pesquisadores, é capaz de fornecer soluções ótimas a partir de diversos cenários incertos.

Dessa forma, ambas as abordagens possibilitam uma gestão mais eficiente do risco ao criar portfólios em distintos ambientes de mercado, fornecendo ferramentas para identificar quais são ativos mais arriscados e sensíveis a mudanças, visando maximizar a eficiência do portfólio em termos de risco-retorno.

Para isso, Al Janabi se utilizou da teoria de Markowitz e das restrições de investimento enquanto Ayub, Shah & Abbas focou na análise de volatilidade e sensibilidade dos ativos do portfólio, como também da otimização de portfólio baseada no método de simulação de Monte Carlo.

Al Janabi (2014) chegou à conclusão de que a otimização de portfólio ajudou na criação de portfólios que são mais eficientes em termos de risco-retorno. E além disso, a otimização de cenários foi capaz de melhor alocar ativos em distintas condições de mercado. Segundo o autor, a otimização de cenários a otimização de cenários gera uma alocação de portfólio superior em termos de risco-retorno quando comparado com o modelo de referência. Por fim, segundo ele, a inclusão de ativos, como imóveis, no portfólio, tem o poder de aumentar a eficácia da carteira em diferentes cenários econômicos.

Segundo Ayub, Shah & Abbas (2015), a análise robusta de risco conseguiu ser utilizada com sucesso a fim de gerir os riscos em portfólios de mercados de ações voláteis, o que reduziu a exposição a eventos extremos de

mercado. Segundo eles, a análise robusta de risco a utilização desse tipo de análise melhorou o desempenho do portfólio em comparação a outras abordagens de gestão de risco.

Sepehri e Babaei (2015) com uma metodologia baseada na otimização de portfólios multiobjetivos, considerando, no caso, a dependência entre distribuições probabilísticas de retornos de ativos. Empregaram uma técnica de dependência cópula, capaz de modelar a relação distributiva de probabilidade dos ativos. O intuito era selecionar cópulas que otimizavam o portfólio considerando múltiplos objetivos, como a maximização do retorno e a minimização do risco.

Observou-se que a dependência entre ativos é fundamental para uma melhor alocação de portfólio. Uma vez que a otimização de portfólio multiobjetivo com dependência demonstrou ser mais eficaz em relação a outras abordagens tradicionais de otimização de portfólio em quesitos relacionados a redução do risco e aumento do retorno esperado. Além disso, a inclusão de ativos adicionais na carteira pode melhorar ainda mais a eficiência do portfólio em diferentes cenários de mercado.

Behr, Guettler e Miebs (2013) com a intenção de selecionar de forma adequada restrições na otimização de portfólios criam um processo consistido em três etapas: identificação, avaliação do impacto e seleção final. Segundo eles, a correta seleção de restrições é capaz de aprimorar resultados do portfólio, ao considerar fatores específicos como restrições regulatórias ou de liquidez, além das preferências individuais dos investidores.

Ao mesmo tempo constataram que a inclusão de restrições inadequadas ou mesmo excluir determinadas restrições relevantes pode gerar a resultados subótimos quanto a otimização do portfólio. Além disso, a escolha de restrições incorretas pode resultar resultados que violam premissas básicas da teoria financeira, como a diversificação do portfólio.

Benati (2015) adotou uma metodologia de otimização de portfólio baseada na utilização de medianas como medida de tendência central. Essa abordagem consistiu nos cálculos das medianas referentes aos retornos diários

de cada ativo e utilizá-las a fim de determinar a participação de cada ativo no portfólio, levando em consideração restrições de exposição setorial e de liquidez. Segundo o autor, a mediana, se trata de uma medida mais robusta do que a média, uma vez que apresenta resultados empíricos que indicam que a metodologia proposta gera portfólios com melhor desempenho em termos de retorno ajustado ao risco.

3.2 Conclusão da Revisão da Literatura

Através dos artigos analisados nessa revisão da literatura, observou-se que a diversificação otimizada criada por Markowitz se marcou por ser uma estratégia superior no intuito de reduzir o risco, aumentando o retorno, como já era esperado.

Também ficou marcado que a escolha adequada a respeito das restrições a serem consideradas na gestão de investimentos é algo marcante para a otimização de investimentos nos dias atuais.

Dessa forma, com o intuito de otimizar carteiras de investimentos nos dias atuais todos esses aspectos ilustrados acima devem ser considerados a fim de atingir os melhores resultados.

Capítulo 3

4. Metodologia

Nessa seção é apresentada a metodologia utilizada neste trabalho, cuja intenção marcou-se pelo desenvolvimento e análise de uma das atuais e mais consagradas formas de otimização de portfólio, marcada pela Teoria Moderna do Portfólio, focando especialmente no conceito de fronteira eficiente estabelecido por essa teoria. A esse conceito foram adicionadas as conhecidas simulações de Monte-Carlo.

O objetivo desta seção se marcou na realização de uma análise ampla e eficiente a respeito de investimentos, em especial, os de renda variável, buscando identificar portfólios que atualmente tentem oferecer o máximo de retorno esperado e um mínimo de risco.

4.1 Coleta de Dados e Cálculo das Médias Mensais

A coleta de dados dessa pesquisa ocorreu utilizando-se de dados referentes aos preços de fechamento ajustados de doze ações listadas na B3, que se marcaram pela WEGE3, GGBR3, JBSS3, VALE3, BBSA3, CMIG3, KLBN3, HAPV3, ECOR3, CSMG3, BBSE3 e PETR3. O período de observação utilizado nessa análise correspondeu entre o dia 10/09/2018 e 31/07/2023. Para essa extração de dados utilizou-se a plataforma Quantum Axis.

Em seguida, foram calculadas as médias mensais de preço de fechamento para cada uma das ações. Isso resultou na criação de uma série temporal de médias de preços mensais para cada ação individual observada.

4.2 Cálculo dos Retornos Esperados

Para cada ação foi calculado o retorno esperado de cada mês em específico. Isso foi feito comparando o preço médio de determinado mês com a média de preço do mês anterior.

Os seguintes tópicos explicitam a metodologia utilizada na realização do cálculo do retorno esperado:

- Para cada mês subsequente, o preço médio mensal de cada ação foi dividido pelo preço médio do mês anterior.
- O resultado da divisão teve seu valor subtraído em uma unidade, isso a fim de se determinar a variação percentual.
- Caso o valor seja superior a zero, ou seja, positivo, indica-se que a determinada ação valorização em comparação ao mês anterior, porém, se o valor encontrado seja inferior a zero, ou seja, negativo, indica-se que a ação sofreu uma desvalorização.

O processo descrito acima foi repetido para cada uma das doze ações analisadas. Isso propiciou uma série de dados que contém os retornos esperados ao longo do período. Essa série demonstra uma importância devido ao fato que ela caracteriza as flutuações mensais dos valores referentes a cada ativo, constituindo-se como uma base para a análise de performance de cada ativo para o período.

A Tabela 1 representada abaixo representa o banco de dados utilizado:

Tabela 1 – Retorno esperado mensal para cada ação estudada para o período entre outubro de 2018 e junho de 2023

Data	WEGE3	GGBR3	JBS3	VALE3	BBSA3	CMIG3	KLBN3	HAPV3	ECOR3	CSMG3	BSE3	PETR3
out/18	-0,0241	-0,00297	0,013532	0,010651	0,321084	0,46536	-0,19569	0,023717	0,130604	0,231979	0,100115	0,258489
nov/18	-0,02544	-0,00635	0,142253	-0,04516	0,136249	0,22347	-0,08789	0,089521	0,116531	0,019628	0,038835	-0,01282
dez/18	-0,04561	-0,02075	0,083699	-0,06173	0,023681	0,119194	-0,18718	0,09741	0,060873	0,08124	0,033721	-0,06458
jan/19	0,079548	0,02115	0,132044	0,00746	0,11329	0,216722	0,231416	0,103337	0,115256	0,155448	0,071143	0,092315
fev/19	0,017762	0,023879	0,079671	-0,12321	0,080166	0,008305	0,051173	0,01864	0,055774	-0,04075	0,010632	0,06497
mar/19	-0,01799	-0,02227	0,004967	0,104536	-0,02186	0,04287	-0,10628	-0,06022	-0,10782	0,021477	-0,05003	0,015968
abr/19	0,004614	-0,00495	0,245257	0,035565	-0,04806	-0,0181	-0,09726	-0,06289	-0,10333	0,050505	0,028669	-0,00234
mai/19	-0,00776	-0,06028	0,203314	-0,0588	0,01819	0,053649	-0,10413	0,209462	-0,03567	-0,03945	0,026936	-0,06571
jun/19	0,091819	0,039265	-0,0017	0,04362	0,070514	0,070893	-0,02043	0,082867	0,180773	0,075733	0,10228	0,045012
jul/19	0,131207	0,021022	0,130043	0,016438	0,000327	-0,0201	0,029332	0,092177	0,109189	0,022255	0,0521	-0,00042
ago/19	0,015055	-0,08728	0,146303	-0,12646	-0,10729	-0,01454	-0,12996	0,125314	0,057482	0,053721	0,015258	-0,0753
set/19	0,018549	0,004128	0,08689	0,06047	0,018527	-0,06376	0,002055	0,102948	0,105685	-0,03855	0,032894	0,080876
out/19	0,039137	-0,01333	-0,01968	-0,01426	-0,02055	-0,07489	-0,00311	0,086918	0,062501	-0,02783	0,012173	0,016689
nov/19	0,170276	0,197203	-0,082	0,044289	0,025182	-0,049	0,121105	0,00172	0,032164	0,01139	0,008224	0,067246
dez/19	0,164868	0,167223	-0,0356	0,074599	0,066846	0,035203	0,061958	0,061085	0,04065	0,010479	0,072834	-0,00484
jan/20	0,123644	0,197291	0,076326	0,04906	0,01901	0,138517	0,035214	0,07188	0,173766	0,024724	0,013322	-0,01423
fev/20	0,189716	-0,03624	-0,09259	-0,05841	-0,0284	-0,01213	-0,03042	-0,08727	-0,03102	-0,03593	-0,02507	-0,02282
mar/20	-0,16041	-0,37935	-0,20884	-0,19133	-0,31073	-0,33046	-0,20855	-0,23189	-0,30196	-0,29894	-0,19503	-0,45101
abr/20	0,029326	-0,09849	0,050047	0,061025	-0,15154	-0,14471	0,041436	0,113007	-0,13736	0,020872	-0,05662	-0,00754
mai/20	0,010161	0,047295	0,073111	0,119824	-0,0095	-0,02487	0,203124	0,044211	0,06982	0,090674	-0,05179	0,147226
jun/20	0,188188	0,232932	-0,03397	0,124604	0,2003	0,293923	-0,02095	0,166677	0,211202	0,160603	0,148047	0,151125
jul/20	0,301002	0,110814	0,020098	0,072037	0,020174	0,01374	0,049118	0,042856	0,048035	-0,01862	0,00924	0,053428
ago/20	0,136796	0,11912	0,039804	0,044132	-0,02852	-0,03758	0,22493	0,010934	-0,02561	-0,09266	0,001018	0,006773
set/20	-0,05274	0,06863	-0,033	-0,00909	-0,03384	0,01197	-0,00491	0,019788	-0,04871	-0,05583	-0,04807	-0,0683
out/20	0,224311	0,087077	-0,06153	0,051496	-0,01494	0,080358	-0,02765	0,002784	-0,12361	-0,03365	-0,04012	-0,08854
nov/20	0,022826	-0,0099	0,024851	0,1017	0,071762	0,110351	-0,04975	0,093387	0,024381	0,087574	0,11911	0,18901
dez/20	-0,0686	0,096082	0,086682	0,248644	0,132827	0,162383	0,043104	0,070777	0,124943	0,074298	0,059247	0,183299
jan/21	0,190388	0,115215	0,043503	0,119575	-0,03447	0,084885	0,194249	0,112762	-0,02271	0,009153	-0,01461	0,052312
fev/21	-0,0274	-0,06049	0,063827	-0,00723	-0,10013	-0,03935	0,04101	0,017233	-0,05231	-0,03056	-0,03464	-0,08064
mar/21	-0,13252	0,106547	0,069369	0,070128	-0,07141	-0,06772	-0,05573	-0,10124	-0,07916	-0,05809	-0,11457	-0,16181
abr/21	0,028911	0,176941	0,187726	0,103231	-0,00174	0,065271	0,015549	-0,03262	0,038627	0,114665	-0,03386	0,052667
mai/21	-0,12451	0,085471	-0,03784	0,055588	0,065772	0,120528	-0,03784	0,01337	0,050151	0,093069	-0,01394	0,077044
jun/21	0,048007	-0,06619	-0,04643	-0,00045	0,110342	0,064959	0,016374	0,031074	0,048214	-0,02478	0,060389	0,176266
jul/21	0,021273	-0,02165	0,031132	0,037196	-0,07101	-0,08284	0,043761	-0,04089	-0,08677	-0,14396	-0,08773	-0,03507
ago/21	0,027285	-0,03635	0,077697	-0,08101	-0,04854	0,009159	-0,01391	-0,01154	-0,14324	-0,03639	-0,0735	0,034917
set/21	0,087772	-0,10676	0,061046	-0,13815	-0,02899	0,114888	0,004464	0,000834	-0,03429	0,038802	-0,04119	-0,02445
out/21	0,002702	0,030951	0,131215	-0,05722	0,034863	0,060499	-0,0507	0,16283	-0,05964	-0,01173	0,089463	0,090533
nov/21	-0,09305	-0,00694	-0,00324	-0,12574	-0,00442	-0,01669	0,016453	0,019495	-0,04636	-0,05503	0,058258	-0,04107
dez/21	-0,03467	0,121452	-0,00452	0,140564	0,04838	0,053917	0,069054	-0,12253	-0,07069	-0,00295	-0,06751	0,21803
jan/22	-0,10703	-0,0056	-0,00455	0,083074	-0,01639	-0,01839	-0,05372	-0,01981	-0,09141	-0,06647	-0,01572	0,100891
fev/22	-0,00166	-0,03097	0,013433	0,064018	0,114208	-0,00704	-0,04573	0,127559	-0,02813	0,11556	0,159435	0,066891
mar/22	0,069707	0,062763	-0,01159	0,119985	0,039624	0,065271	0,068864	-0,02648	-0,00989	0,036813	0,021773	-0,03225
abr/22	0,005168	-0,01956	0,051012	-0,06292	0,012558	0,097934	-0,10139	-0,10656	0,066901	0,015607	0,112341	0,046512
mai/22	-0,1814	-0,01612	-0,04837	-0,09369	0,034039	-0,05919	-0,05104	-0,29382	-0,13909	-0,0984	-0,01937	0,08606
jun/22	-0,05037	-0,057	-0,04484	0,003818	-0,02063	0,090386	-0,07764	-0,21904	-0,00461	-0,03829	-0,00865	-0,03773
jul/22	0,059762	-0,0966	-0,0714	-0,12309	-0,00474	0,045709	-0,11916	0,036238	-0,15282	-0,05561	0,057641	0,004729
ago/22	0,102723	0,103565	-0,00782	-0,01457	0,201052	0,168884	0,024396	0,196751	0,13022	0,149289	0,102052	0,306841
set/22	0,04217	0,004013	-0,11759	0,011906	0,007136	-0,06146	-0,07658	0,084403	-0,08341	0,035324	0,005794	0,007443
out/22	0,1474	0,085817	-0,07902	0,069809	0,001877	-0,01763	0,104565	-0,04595	-0,0533	0,132866	-0,01135	0,070641
nov/22	0,128877	0,162422	-0,01228	0,081989	-0,0965	0,026847	0,07737	-0,16794	-0,10022	-0,00662	0,074967	-0,15659
dez/22	-0,04393	0,075212	-0,12011	0,108735	-0,02891	-0,02245	-0,07574	-0,2133	-0,11508	0,017375	0,065469	-0,01168
jan/23	0,004546	0,047284	0,032342	0,076095	0,092641	-0,0108	-0,00765	-0,08979	0,055081	-0,03373	0,073453	0,025287
fev/23	0,016552	-0,05072	-0,12159	-0,05812	0,094649	-0,01798	-0,01667	0,061646	-0,0811	-0,03062	0,048345	0,038578
mar/23	0,047488	-0,04335	-0,00353	-0,03934	-0,03927	-0,03151	-0,02898	-0,47026	0,123388	0,088521	-0,03809	-0,07333
abr/23	-0,01238	0,001039	-0,09858	-0,07493	0,099585	0,241628	-0,00572	0,00441	0,263591	0,116969	0,029296	0,069611
mai/23	-0,00339	-0,01852	-0,01229	-0,11285	0,044504	-0,00229	0,150952	0,338434	0,116262	0,151408	-0,05573	0,082961
jun/23	-0,05397	0,057133	0,060292	-0,00795	0,14217	-0,0287	0,066076	0,247702	0,05456	0,077577	-0,05676	0,220871
jul/23	0,018359	0,096386	0,069184	0,00677	-0,00689	-0,00496	-0,02411	0,034331	0,04046	0,011273	0,013888	0,017089

Fonte: Elaboração Própria com dados retirados em:

<https://www.quantumaxis.com.br/webaxis/>

Observa-se uma amostra que contém 58 observações mensais para cada uma das doze ações escolhidas para a pesquisa, totalizando 696 observações para o conjunto de dados completo.

Ressalta-se que para todas as ações encontrou-se durante os meses variações tanto positivas quanto negativas, ou seja, uma significativa volatilidade, algo tradicional e já esperado para ativos de renda variável.

4.2 Análise de Dados com o R-Studio

A fim da realização, para ações selecionadas, da Fronteira Eficiente, o banco de dados explicitado anteriormente foi importado e processado na plataforma de linguagem de programação R-Studio.

Esse banco foi aberto no R-Studio utilizando o comando “setwd” e “dir”, esses comandos permitem criar um diretório capaz de armazenar os arquivos que contém os dados a serem trabalhados. Esse diretório garante à plataforma encontrar e ler o arquivo CSV armazenador dos dados.

Segue abaixo o código utilizado para estabelecer o diretório no R-Studio:

- *Setwd(“C:\\Users\\carva\\OneDrive\\Documentos\\dadosmono”)*
- *Dir()*

Para realizar a análise foram necessárias algumas determinadas ferramentas. Nesse sentido, os pacotes “fPortfolio” e “timeSeries” foram instalados utilizando-se o código “install.packages”. Em sequência, os dois pacotes foram carregados utilizando a função “library”.

Os códigos usados no R-Studio para instalar e carregar os pacotes se marcaram por:

- *Install.packages(“fPortfolio”)*
- *Install.packages(“timeSeries”)*
- *Library(fPortfolio)*
- *Library(timeSeries)*

A leitura do banco de dados ocorreu no R-Studio por meio da função “read.csv2”. Nesse banco, observou-se a existência de 58 observações – que

correspondiam aos valores dos retornos esperados atrelados aos meses observados – e 12 variáveis – que representavam as ações.

Figura 2 – Banco de dados obtido no R-Studio

Data	
dados	58 obs. of 13 variables

Fonte: Elaboração Própria com dados retirados em:

<https://www.quantumaxis.com.br/webaxis/>

Utilizou-se o seguinte código para ler o banco de dados:

- `Dados = read.csv2("retornos.csv", header = TRUE)]`

O banco de dados pode ser convertido em uma série temporal utilizando-se a função “`as.timeSeries`”. Entende-se, nesse contexto série temporal como um conjunto de dados, no caso retornos esperados mensais, que é organizado em ordem cronológica, onde as observações são registradas em intervalos regulares ao longo do tempo. Assim, cada dado dentro de uma série temporal está condicionado a um específico momento dentro do tempo, o que possibilita a realização de uma análise de como uma certa variável evolui ao longo de certos períodos.

Ao converter, possibilita-se calcular algumas estatísticas temporais fundamentais como a média móvel e a autocorrelação, que propiciam observar certas especificidades quanto comportamentos passados referentes a ativos, o que pode auxiliar a modelar e estabelecer riscos e retornos futuros.

O código usado para converter o banco de dados em uma série temporal corresponde a:

- `Data = as.timeSeries(dados)`

Através do uso da função “`colMeans`” propiciou-se a realização do cálculo das médias dos retornos esperados ao longo do tempo para cada ativo individual do portfólio. Esses valores encontrados possibilitam a identificação de uma alocação de ativos ideal ou mesmo maximizadora.

Abaixo apresenta-se o código utilizado para realizar a média dos retornos esperados:

- *ret.esperados = colMeans(data)*

Os retornos esperados encontrados para cada ativo estão representados pela imagem abaixo:

Imagem 3 – Retornos esperados encontrados no R-Studio:

```
> ret.esperados
      WEGE3      GGBR3      JBSS3      VALE3      BBSA3      CMIG3      KLBN3
0.029603190 0.023902466 0.019244500 0.012706086 0.019177103 0.035837000 -0.002238948
      HAPV3      ECOR3      CSMG3      BBSE3      PETR3
0.008462121 0.005824103 0.017612552 0.013338586 0.029143603
```

Fonte: Elaboração Própria com dados retirados em:

<https://www.quantumaxis.com.br/webaxis/>

No caso, para o período, apenas KLBN3 obteve um retorno negativo para o período. Demais ativos obtiveram tendência crescente nesse experimento.

Obtidas as médias de retorno esperado para o período, foi buscado criar a matriz de covariância dos ativos, que se trata de uma representação matemática capaz de descrever a relação entre variáveis dentro de conjunto de dados multivariados, muitas vezes, é utilizada em análises financeiras no intuito de mensurar como duas ou mais variáveis se movem juntas, ou mesmo covariam. Ou seja, busca demonstrar para as variáveis como seus valores observados variam em relação uns aos outros e a eles mesmos durante todo o período analisado.

A função capaz de computar a matriz de covariância entre as ações com base nos retornos da série temporal se caracteriza pela seguinte função:

- *mat.cov = cov(data)*

A matriz de covariância está representada pela figura 3 abaixo:

Figura 3 – Matriz de covariância encontrada no R-studio

```

> mat.cov
      WEGE3      GGBR3      JBSS3      VALE3      BBSA3      CMIG3
WEGE3  0.0093565962  0.004107830 -0.0001979265  0.0017835832  0.0009007864  0.0018615580
GGBR3  0.0041078303  0.009398258  0.0011941511  0.0053287604  0.0037134302  0.0040845879
JBSS3 -0.0001979265  0.001194151  0.0074792202  0.0006830629  0.0006392621  0.0019186134
VALE3  0.0017835832  0.005328760  0.0006830629  0.0073726717  0.0017014918  0.0017519930
BBSA3  0.0009007864  0.003713430  0.0006392621  0.0017014918  0.0086849282  0.0082430525
CMIG3  0.0018615580  0.004084588  0.0019186134  0.0017519930  0.0082430525  0.0130935490
KLBN3  0.0038899004  0.004423499  0.0006800456  0.0027993213  0.0005699664 -0.0005841151
HAPV3  0.0029271808  0.001992415  0.0030327608  0.0004860021  0.0047703510  0.0038147129
ECOR3  0.0024304051  0.004192059  0.0022780624  0.0013675243  0.0064144475  0.0074943590
CSMG3  0.0016947390  0.003268208  0.0016874816  0.0020845639  0.0052415352  0.0066394601
BBSE3  0.0016376512  0.001949987  0.0006790199  0.0010100733  0.0039983763  0.0042234752
PETR3  0.0011399917  0.004592488  0.0014228039  0.0034298281  0.0084710137  0.0070945418

      KLBN3      HAPV3      ECOR3      CSMG3      BBSE3      PETR3
WEGE3  0.0038899004  0.0029271808  0.002430405  0.001694739  0.0016376512  0.001139992
GGBR3  0.0044234995  0.0019924154  0.004192059  0.003268208  0.0019499866  0.004592488
JBSS3  0.0006800456  0.0030327608  0.002278062  0.001687482  0.0006790199  0.001422804
VALE3  0.0027993213  0.0004860021  0.001367524  0.002084564  0.0010100733  0.003429828
BBSA3  0.0005699664  0.0047703510  0.006414447  0.005241535  0.0039983763  0.008471014
CMIG3 -0.0005841151  0.0038147129  0.007494359  0.006639460  0.0042234752  0.007094542
KLBN3  0.0089025159  0.0030847785  0.002166213  0.001245430 -0.0004213118  0.003104133
HAPV3  0.0030847785  0.0178906266  0.005462971  0.004386157  0.0022099608  0.005739120
ECOR3  0.0021662125  0.0054629713  0.011231904  0.005973980  0.0033780672  0.006019410
CSMG3  0.0012454299  0.0043861574  0.005973980  0.007338879  0.0027629665  0.006090911
BBSE3 -0.0004213118  0.0022099608  0.003378067  0.002762967  0.0043822788  0.003489353
PETR3  0.0031041330  0.0057391195  0.006019410  0.006090911  0.0034893528  0.013080933
>

```

Fonte: Elaboração Própria com dados retirados em:

<https://www.quantumaxis.com.br/webaxis/>

4.3 Realização da Fronteira Eficiente

4.3.1 Portfólio com Maior Relação Risco/Retorno – Portfólio de Sharpe/Portfólio de Tangência

O portfólio de Sharpe demarca o ponto dentro da fronteira eficiente em que o retorno é maximizado para um dado nível de risco, marcado pela volatilidade. Ele permite a identificação a respeito de qual alocação de ativos é capaz de oferecer o melhor equilíbrio entre retorno e risco. Ou seja, mostra como otimizar a relação entre potenciais ganhos e exposição ao risco. Devido a essa capacidade, este portfólio serve como base para diversas estratégias de investimentos.

Na presente pesquisa, na intenção de encontrar o Portfólio de Sharpe, a função “tangencyPortfolio”, foi utilizada. Com o código correspondendo a:

- $p1 = \text{tangencyPortfolio}(\text{data}, \text{spec} = \text{portfolioSpec}(\), \text{constraints} = \text{“LongOnly”})$

onde:

- spec trata-se de um argumento que especifica as características do portfólio calculado.
- portfolioSpec() criará um objeto de especificação de portfólio padrão, que incluirá detalhes a respeito dos retornos dos ativos e outros parâmetros necessários para a otimização do portfólio.
- Constraints se de um argumento capaz de definir as restrições aplicadas a este portfólio.
- “LongOnly” trata-se de uma restrição, que estabelece ao portfólio só conter posições longas, ou seja, possuir investimentos comprados. Isso impede que o portfólio inclua posições curtas, que envolvem vender ativos que você não possui.

A figura 4 abaixo representa os dados obtidos para esse portfólio:

Figura 4 – Indicadores do Portfólio de Sharpe

```

Title:
MV Tangency Portfolio
Estimator:      covEstimator
Solver:         solveRquadprog
Optimize:      minRisk
Constraints:    LongOnly

Portfolio Weights:
WEGE3  GGBR3  JBSS3  VALE3  BBSA3  CMIG3  KLBN3  HAPV3  ECOR3  CSMG3  BBSE3  PETR3
0.3770 0.0000 0.2814 0.0097 0.0000 0.2086 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1233

Covariance Risk Budgets:
WEGE3  GGBR3  JBSS3  VALE3  BBSA3  CMIG3  KLBN3  HAPV3  ECOR3  CSMG3  BBSE3  PETR3
0.4020 0.0000 0.1950 0.0045 0.0000 0.2692 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.0000 0.1294

Target Returns and Risks:
mean   Cov   CVaR   VaR
0.0278 0.0614 0.1337 0.0638

```

Fonte: Elaboração Própria com dados retirados em:

<https://www.quantumaxis.com.br/webaxis/>

4.3.2 Portfólio com Risco Mínimo:

Este portfólio representa o ponto onde o nível de risco, ou mesmo, a volatilidade, é minimizado para um dado nível específico de retorno. Dessa forma, disponibiliza a opção de investimento mais conservadora para aqueles que desejam se resguardar ao risco, buscando, ainda assim, específicos retornos.

A fim de representar a carteira que proporciona o menor risco possível, dado o conjunto de ativos disponíveis nessa pesquisa a função “minvariancePortfolio” foi utilizada. Com o código utilizado seguindo o seguinte padrão:

- $p2 = \text{minvariancePortfolio}(\text{data}, \text{spec} = \text{portfolioSpec}(), \text{constraints} = \text{"LongOnly"})$

Ressalta-se que os mesmos argumentos e restrições estabelecidos no Portfólio de Sharpe foram usados para o portfólio de variância mínima.

A figura 5 abaixo representa os dados obtidos para esse portfólio:

Figura 5 – Indicadores do portfólio de mínima variância

```
> p2
Title:
MV Minimum Variance Portfolio
Estimator:      covEstimator
Solver:         solveRquadprog
Optimize:       minRisk
Constraints:     LongOnly

Portfolio Weights:
WEGE3  GGBR3  JBSS3  VALE3  BBSA3  CMIG3  KLBN3  HAPV3  ECOR3  CSMG3  BBSE3  PETR3
0.0624 0.0000 0.2200 0.1297 0.0000 0.0000 0.1728 0.0000 0.0000 0.0032 0.4120 0.0000

Covariance Risk Budgets:
WEGE3  GGBR3  JBSS3  VALE3  BBSA3  CMIG3  KLBN3  HAPV3  ECOR3  CSMG3  BBSE3  PETR3
0.0624 0.0000 0.2200 0.1297 0.0000 0.0000 0.1728 0.0000 0.0000 0.0032 0.4120 0.0000

Target Returns and Risks:
  mean  Cov  CVaR  VaR
0.0129 0.0461 0.0987 0.0409
```

Fonte: Elaboração Própria com dados retirados em:
<https://www.quantumaxis.com.br/webaxis/>

4.3.3 Cálculo da Fronteira Eficiente:

A fim de calcular os valores necessários para formar a fronteira eficiente, nesse estudo, foi utilizada a função “portfolioFrontier” no R-Studio. O código utilizado foi marcado por:

- $\text{Frontier} = \text{portfolioFrontier}(\text{data})$

A figura 6 abaixo representa os dados obtidos na construção da fronteira eficiente:

Figura 6 – Indicadores da Fronteira Eficiente

Portfolio Weights:												
	WEGE3	GGBR3	JBSS3	VALE3	BBSA3	CMIG3	KLBN3	HAPV3	ECOR3	CSMG3	BBSE3	PETR3
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9036	0.0000	0.0964	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.0000	0.1023	0.0546	0.0000	0.0000	0.3876	0.0000	0.0009	0.0000	0.4545	0.0000
25	0.1776	0.0000	0.2635	0.1443	0.0569	0.0000	0.0548	0.0000	0.0000	0.0041	0.2988	0.0000
37	0.3509	0.0000	0.2926	0.0571	0.0000	0.1799	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0102	0.1092
49	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Covariance Risk Budgets:												
	WEGE3	GGBR3	JBSS3	VALE3	BBSA3	CMIG3	KLBN3	HAPV3	ECOR3	CSMG3	BBSE3	PETR3
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9622	0.0000	0.0378	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.0000	0.0000	0.0565	0.0442	0.0000	0.0000	0.5417	0.0000	0.0010	0.0000	0.3566	0.0000
25	0.2069	0.0000	0.2707	0.1358	0.0584	0.0000	0.0407	0.0000	0.0000	0.0041	0.2835	0.0000
37	0.3853	0.0000	0.2252	0.0321	0.0000	0.2331	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0059	0.1183
49	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Target Returns and Risks:				
	mean	Cov	CVaR	VaR
1	-0.0015	0.0880	0.1823	0.1633
13	0.0079	0.0499	0.1091	0.0578
25	0.0172	0.0475	0.1029	0.0367
37	0.0265	0.0589	0.1281	0.0532
49	0.0358	0.1144	0.1896	0.0828

Fonte: Elaboração Própria com dados retirados em:

<https://www.quantumaxis.com.br/webaxis/>

4.3.4 Simulações de Monte-Carlo

A simulação de Monte-Carlo foi criada em 1940 por Stanislaw Ulam e John von Neumann. Essa simulação trata-se de uma técnica estatística que realiza a geração de números aleatórios para analisar sistemas complexos e também incertos.

É muito utilizada no ramo de finanças e análise de investimentos pois permite a análise do comportamento de ativos financeiros e possíveis portfólios em cenários futuros. Essa técnica é ainda mais valiosa quando não é possível calcular soluções devido à grande complexidade do problema ou quando existe uma falta de informações necessárias.

Essa técnica foi incorporada nesse estudo porque possibilita avaliar o potencial desempenho de distintos portfólios em um dado ambiente financeiro

incerto. Esse fato é reiterado pelo fato de que o ambiente financeiro para o período que engloba a pesquisa foi muito incerto. Durante o período de 2018 a 2023, o Brasil passou por trocas de governos, cujos direcionamentos políticos, econômicos e sociais foram completamente antagônicos, além disso, foi ressaltado escândalos de corrupções, catástrofes ambientais e crises mundiais, como o COVID-19.

Dessa forma, o uso das simulações de Monte-Carlo se marca crucial pois os retornos dos ativos financeiros são intrinsecamente incertos, podendo ser influenciados por fatores macroeconômicos e imprevisíveis eventos. Assim, ao simular é permitido explorar uma ampla gama de possíveis cenários, observando como os diferentes portfólios se comportariam em diferentes contextos de mercado.

Na presente pesquisa, realizou-se 10.000 simulações de Monte-Carlo. Um número grande de simulações, que permite a obtenção de uma robusta estimativa das estatísticas de interesse, no caso, os retornos esperados e as volatilidades (covariâncias) de um portfólio, considerando a incerteza presente no mercado financeiro.

A definição das 10.000 simulações foi definida no R-Studio através do código abaixo:

- *num_simulations = 10.000*

Para realizar as simulações de Monte-Carlo, foram gerados dois vetores, que são conjuntos de valores ordenados representantes de diversas informações estatísticas/matemáticas, marcados por sequências de números organizados em uma estrutura única.

O primeiro vetor se tratou do `simulated_returns`, esse vetor foi criado para armazenar possíveis resultados de retornos dos portfólios. Para isso a função `numeric(num_simulations)` foi usada. Ressalta-se que cada elemento presente nesse vetor conterá um retorno simulado de um portfólio em um dado cenário específico.

O código utilizado para definir o vetor de retornos simulados é representado abaixo:

- `simulated_returns = numeric(num_simulations)`

O segundo vetor se tratou do `simulated_volatilities`, esse vetor foi criado a fim de armazenar os resultados simulados a respeito das volatilidades dos portfólios. Da mesma forma, a função “`numeric(num_simulations)`” foi usada. Assim, cada elemento desse vetor contém uma volatilidade simulada para um dado portfólio em um cenário de mercado incerto.

O código utilizado para definir o vetor de volatilidades simuladas é representado abaixo:

- `simulated_volatilities = numeric(num_simulations)`

Após serem criados os vetores que armazenam os resultados das simulações, foi definida uma semente, marcada por ser um número inicial usado para iniciar a sequência de números aleatórios gerados pelas simulações. Para isso utilizou-se o seguinte código:

- `set.seed(123)`

Definida a semente foi criado um loop de simulação, controlado pela variável `i`, que varia de 1 a 10.000, realizando simulações individuais de portfólios. Dentro do loop, as seguintes funções foram usadas:

- `weights = runif(length(ret.esperados))`: Função capaz de gerar números aleatórios seguindo uma distribuição uniforme. Os valores gerados por essa função foram utilizados como pesos para as ações no portfólio simulado.
- `weights1 = weights/sum(weights)`: Os pesos gerados foram normalizados para garantir que ao somar todos obtenha-se o valor 1.

- `simulated_return = sum(weights1*ret.esperados)`: Foi calculado o retorno simulado do portfólio como a soma dos produtos dos pesos já normalizados e os retornos médios esperados das ações. Isso representará, portanto, o retorno esperado do portfólio simulado.
- `Simulated_volatility = sqrt(t(weights1) %*% mat.cov %*% weights1)`: A volatilidade simulada do portfólio foi calculada usando a raiz quadrada da matriz transposta dos pesos normalizados multiplicada pela matriz de covariância dos retornos das ações e pelos pesos já normalizados. Isso representará, portanto, a volatilidade do portfólio simulado.

O código usado para realizar esse loop no R-Studio está representado abaixo:

- ```
for (i in 1: num_simulations) {
 weights = runif(length(ret.esperados))
 weights1 = weights/ sum(weights)
 simulated_return = sum(weights1*ret.esperados)
 simulated_volatility = sqrt(t(weights1) %*% mat.cov %*% weights1)
}
```

Dada essas condições obteve-se os seguintes valores, representados pela figura 7 abaixo:

**Figura 7 – Valores obtidos dos pesos atribuídos e dos retornos e volatilidades simuladas**

```
> weights
[1] 0.5724014 0.5102394 0.7591541 0.8782187 0.0464306 0.5166146 0.9349664 0.3354160
[9] 0.9085457 0.1109020 0.6332794 0.3940865
> weights1
[1] 0.086724131 0.077306009 0.115018909 0.133058307 0.007034668 0.078271925 0.141656107
[8] 0.050818642 0.137653123 0.016802690 0.095947718 0.059707770
> simulated_return
[1] 0.01548961
> simulated_volatility
 [,1]
[1,] 0.05700108
```

Fonte: Elaboração Própria com dados retirados em: <https://www.quantumaxis.com.br/webaxis/>

Após a conclusão de todas as simulações foi criado um dataframe, que consiste em uma estrutura de dados tabular que é capaz de organizar os resultados obtidos, assemelhando-se a uma tabela padrão. Neste caso, o dataframe armazenou os resultados de todas as simulações, que incluem os retornos e volatilidades simulados para 10.000 diferentes portfólios em 10.000 situações de mercados aleatórios.

Para criar o dataframe a função “data.frame” foi utilizada. O código inserido para a criação da estrutura tabular marca-se por:

- *simulated\_data = data.frame(Return = simulated\_returns, Volatility = simulated\_volatilities)*

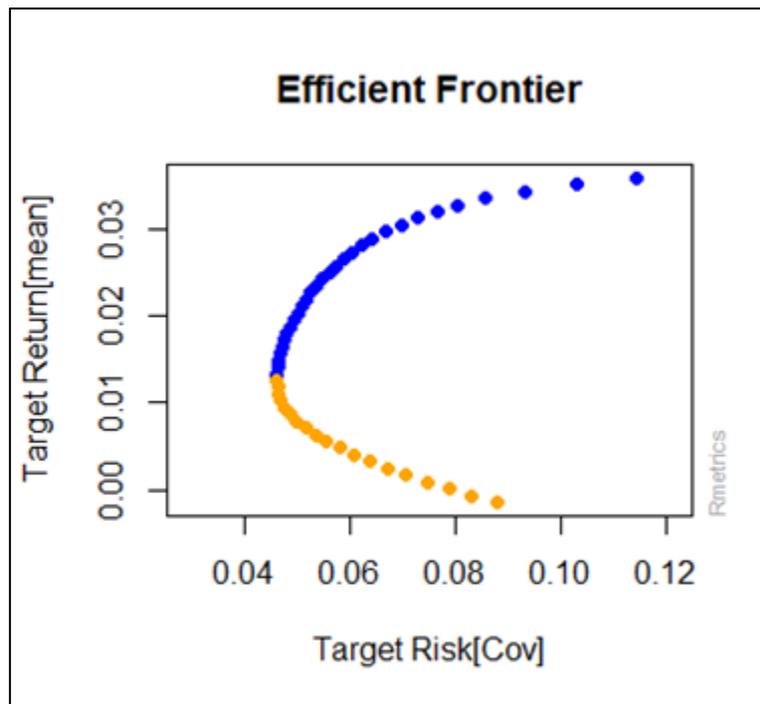
Após a criação do dataframe, com os resultados das simulações já organizados, foi gerado um gráfico que representava a Fronteira eficiente para os dados em questão. A geração do gráfico foi possível ser feita no R-Studio ao utilizar a função “frontierPlot”. Essa função possibilita a visualização de uma curva que apresenta todas as combinações disponíveis entre risco e retorno que podem ser alcançadas com certos ativos em uma carteira de investimento.

Segue abaixo o código utilizado na pesquisa a fim de gerar a fronteira eficiente:

- *frontierPlot(Frontier, col = c(“blue”, “orange”), pch = 19)*

O gráfico 3 situado abaixo representa a fronteira eficiente para essa pesquisa:

### **Gráfico 3 – Fronteira Eficiente**



Fonte: Elaboração própria, com dados retirados em: <https://www.quantumaxis.com.br/webaxis/login.jsp>

A fronteira eficiente é representada pela curva situada acima, onde cada ponto ao longo do gráfico representa um portfólio com um determinado nível de risco e retorno. Na figura em questão observam-se dois eixos, o eixo X (horizontal) e o eixo Y (vertical).

O eixo X é nomeado como Target Return Mean, que representa o retorno esperado médio referente a seleção de um determinado portfólio. O eixo Y é nomeado como Target Risk (Cov), que representa o risco esperado, medido pela covariância, que se estima ao selecionar um específico portfólio.

Assim, portfólios situados mais à direita no Eixo X representam maiores níveis de covariância e, portanto, maiores níveis de risco, caracterizando assim, carteiras mais agressivas e dispostas a correr riscos. Por outro lado, portfólios situados mais à esquerda representam níveis de covariância menores, o que acarreta em menores níveis de riscos, caracterizando assim, carteiras mais moderadas, pouco dispostas a correr riscos. Quanto ao eixo Y, portfólios situados mais abaixo, representam portfólios com baixo retorno esperado, já portfólios situados mais acima, caracterizam portfólios com elevado retorno esperado.

Além disso, vale-se ressaltar que carteiras com alto retorno e alto risco não são ideais, pois não otimizam, ao mesmo tempo, o nível de risco e retorno para o conjunto de ativos.

Ao aplicar o conceito da fronteira eficiente, observou-se uma consistência da teoria acadêmica com a modelagem empírica para os dados utilizados. Observou-se na análise que os portfólios ideais que, ao mesmo tempo, minimizam o risco e maximizam o retorno, situam-se no canto superior esquerdo do gráfico, indicados por ponto pontos próximos a extremidade esquerda do eixo X e na extremidade superior no eixo Y. Por outro lado, carteiras com alto risco e baixo retorno, para os ativos em questão, situam-se no canto inferior direito, sendo indicados por ponto pontos próximos a extremidade direita do eixo X e na extremidade inferior no eixo Y.

No estudo, a fronteira eficiente variou significativamente. Identificou-se dentre as possibilidades de montagem de portfólios, a possibilidade de um nível de aproximadamente 9% de covariância, que indica um alto risco, capaz de retornar 0% de retorno esperado no eixo Y, algo extremamente indesejado, uma vez que não é devolvido nenhum retorno para uma exposição ao risco de 9%.

Observou-se também a possibilidade de se encontrar um nível próximo a 12% de covariância no eixo X, que indica um risco muito alto, que retorna 4% no eixo Y, um retorno caracterizado como razoável. Isso não pode ser concebido como algo otimizador, portanto, é indesejado. No caso, existe muita exposição ao risco para um retorno atrativo.

Seguindo a lógica estabelecida por Markowitz, buscando otimizar o retorno e risco conjuntamente, a área que mais otimiza os portfólios, de acordo com os dados da pesquisa se compreende por carteiras que seguem um padrão de 1 a 2,5% para o nível de retorno esperado e assumam entre 5 a 8% de exposição a volatilidade.

Com a fronteira eficiente já criada e visualizada, pontos de Monte-Carlo foram adicionados ao gráfico, com cada ponto representando um resultado de uma dada simulação que combinou um determinado nível de risco e retorno para

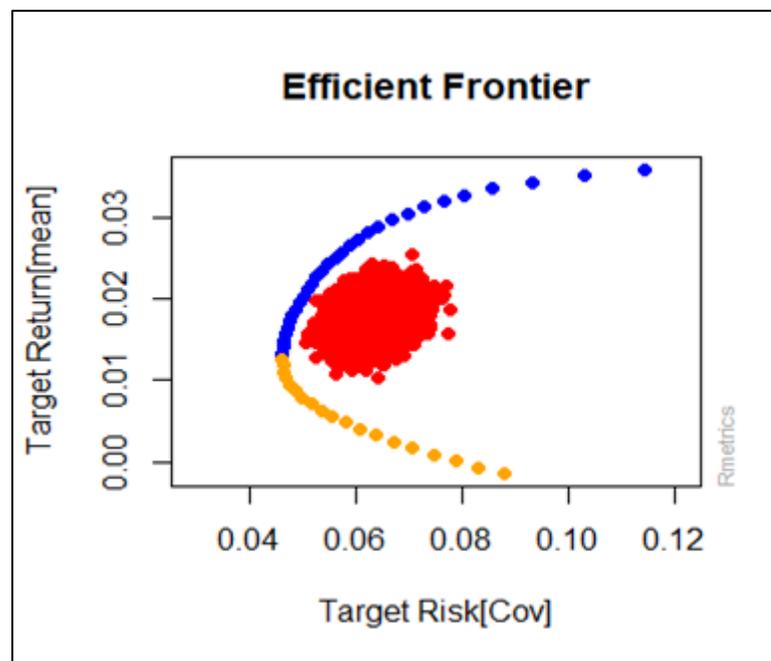
uma carteira de investimento. Assim, cada ponto representa uma carteira simulada.

A função “points” foi utilizada para agregar as simulações ao gráfico. O código utilizado para criar o gráfico que contém as 10.000 simulações está apresentado abaixo:

- `points(simulated_data$Volatility, simulated_data$Return, pch = 19, col = "red")`

O gráfico 4, situado abaixo, refere-se a inclusão das simulações de Monte-Carlo na fronteira eficiente apresentada anteriormente.

**Gráfico 4 – Simulações de Monte-Carlo agregadas à Fronteira Eficiente:**



Fonte: Fonte: Elaboração própria, com dados retirados em: <https://www.quantumaxis.com.br/webaxis/login.jsp>

Os pontos se encontram nesse intervalo devido à distribuição dos resultados das simulações. As simulações mostram como a maioria dos portfólios eficientes se encontram, em termos de risco e retorno, para o conjunto de ativos disponibilizados para essa pesquisa.

Da mesma maneira do que foi visto para a fronteira eficiente, simulações localizadas mais abaixo no eixo Y, indicam simulações de portfólios com níveis

de retornos menores, entretanto, simulações situadas mais acima indicam carteiras com retornos maiores.

Quanto ao eixo X, simulações localizadas mais à esquerda indicam níveis de volatilidade menores uma vez que as covariâncias simuladas para esses portfólios são reduzidas. Já simulações situadas mais à direita indicam níveis de volatilidade maiores, dado que as covariâncias observadas são maiores nesses casos.

Visto isso, as carteiras ideais, capazes de mais otimizar, deveriam se localizar em um nível mínimo de risco e máximo de retorno. Devendo, portanto, estar localizadas o mais à esquerda possível no eixo X e o mais acima possível no eixo Y, uma vez que demonstram pouco risco para muito retorno. Por outro lado, as carteiras que não são desejadas de forma alguma, se situariam o mais à direita possível no eixo X e o mais abaixo possível no eixo Y, uma vez que demonstram muito risco para baixo retorno.

Ao agregar as simulações de Monte-Carlo na fronteira eficiente também se observou uma consistência da teoria acadêmica com a modelagem empírica para os dados utilizados. Foi observada uma correlação entre o comportamento da fronteira eficiente e das simulações, no caso as simulações tenderam a acompanhar o que preza Markowitz em sua teoria.

Nesse sentido, a maioria das simulações observadas se concentrou entre 0.01 e 0.025 no eixo Y, ou seja, a maioria das carteiras simuladas tenderam a ter um retorno esperado médio compreendido entre 1 a 2,5% para o período de análise.

Quanto ao risco, nota-se que a maioria das simulações se encontraram entre 0.05 e 0.08 no eixo X, assim, a maioria das simulações assumem-se a uma covariância entre 5 a 8%.

Os pontos simulados estão mais à esquerda da Fronteira Eficiente, ao invés da direita. Isso indica que, na maioria das simulações, os portfólios eficientes apresentaram menor risco com o mesmo nível de retorno. Assim, a alocação de ativos que minimiza o risco foi preferida na maioria das simulações,

em conformidade com a teoria de Markowitz, que busca maximizar o retorno com um nível de risco aceitável.

## 5. Análise dos Resultados

Em um dado cenário rodeado de incerteza, como foi o período compreendido no Brasil entre 2018 e 2023, observa-se que simulações que buscam retornar portfólios eficientes e assumam essas condições e restrições adotadas, na grande maioria das vezes, tendem a se expor a menores níveis de risco, buscando assim, manter baixo os níveis de covariância entre os ativos.

Além disso, mesmo que seja possível, como demonstrou a fronteira de Markowitz, conseguir, para o período, um retorno maior que traz juntamente maior exposição ao risco, as simulações não optaram por seguir esse caminho, preferiram no caso, seguir a teoria acadêmica e criar portfólios equilibrados, que retornam um ganho moderado e uma exposição ao risco também moderada.

Essas percepções foram importantes pois, através de uma análise prática, verificou-se a grande valia da teoria econômica e financeira no intuito de auxiliar investidores a tomarem suas decisões em um dado cenário econômico incerto. No caso, seguir a doutrina de buscar alcançar um equilíbrio ótimo entre risco e retorno será muito eficaz.

Assim, este estudo acabou por reforçar, com sua metodologia própria, a importância da diversificação eficaz e da exposição cuidadosa ao risco ao construir carteiras de investimentos. Sendo assim, em cenários incertos, é importante sempre possuir uma grande variação de ativos em seu portfólio e optar, na maioria das situações, escolher aqueles que tendam a ter volatilidades equilibradas, não tão muito altas pra cima ou para baixo. Ressalta-se, portanto, que possuir diversas empresas, de setores diferentes, com poder de monopólio pode ser muito eficaz.

Por outro lado, possuir apenas uma empresa, ou poucas empresas de um mesmo ramo não se trata de uma boa prática no intuito de otimizar carteiras de investimentos. Por fim, observa-se que portfólios com muita volatilidade podem trazer retornos formidáveis, porém, simulações que tentam gerar

portfólios eficientes não optam por essa medida, assim, investir em empresas Small Caps – marcadas pela alta volatilidade – pode gerar retornos impactantes, porém em períodos incertos não se tratam de estratégias otimizadoras e recomendadas e utilizadas na maioria das vezes.

## 6. Considerações Finais

A pesquisa em questão forneceu uma análise que permitiu a exploração das teorias, modelos e práticas que norteiam o complexo mundo do mercado financeiro. Ao observar as bases da teoria dos mercados eficientes, finanças comportamentais, anomalias de mercado e tantas outras foi possível observar as várias doutrinas de cunho financeiro capazes de influenciar as decisões de investimentos.

Ressalta-se que uma das conclusões mais impactantes dessa pesquisa foi a constatação da contínua relevância da Teoria Moderna do Portfólio, desenvolvida por Markowitz. Portanto, a estratégia voltada pela diversificação, continua se destacando como uma prática preponderante no intuito de mitigar riscos e fornecer retornos satisfatórios para investidores. Dessa forma, o presente estudo acaba por não apenas confirmar a validade teórica desses princípios como também confirmar sua aplicabilidade em cenários incertos.

Também foi observado que, ao realizar as simulações de Monte-Carlo, houve uma consistência entre a teoria acadêmica e as práticas empíricas. Isso se marcou pelo fato de que os portfólios eficientes tenderam a minimizar o risco, mantendo um nível aceitável de retorno. Essa percepção é muito importante para investidores, pois, em períodos marcados pela volatilidade e imprevisibilidade, foi preferido, segundo as simulações, optar por portfólios equilibrados, sem riscos excessivos, voltando-se na adoção de estratégias sensatas e prudentes.

Dessa forma, o estudo reforçou a importância do equilíbrio ao investir. Buscar por retornos muito acima da normalidade geram por consequência uma elevação altíssima nos riscos. E essa situação deve ser compreendida pelos investidores quando decidem buscar por maiores ganhos. Assim, em um cenário econômico rodeado pela incerteza, a cautela e prudência permanecem como uma base para otimizar portfólios e alcançar o sucesso em mercados financeiros.

Foi denotada a importância da criteriosa seleção de ativos no processo de diversificação, onde deve-se evitar a concentração de recursos alocados em poucos e específicos setores e empresas. Sendo assim, a diversificação não deve ser apenas horizontal, abrangendo diferentes setores, mas como também vertical, agregando na seleção de portfólio empresas de tamanhos diferentes com níveis de volatilidade distintos.

Por fim, foi ressaltada a riqueza do conhecimento teórico adjunto ao empírico no intuito de orientar decisões de investimentos. No caso, essa junção se mostrou capaz de gerar estratégias sólidas e fundamentadas. Ficando evidente, no projeto, a capacidade de resistência da teoria presente nas aplicações práticas dos dias atuais.

## 6.1 Limitações do Estudo

Marca-se fundamental reconhecer as limitações desse estudo para contextualizar os resultados obtidos. Primeiramente, destaca-se que a pesquisa se baseou em preços de fechamento de 12 ações no período entre setembro de 2018 e junho de 2023, nesse sentido, a escolha específica desse conjunto de ações e esse período de tempo selecionada podem não refletir totalmente o mercado financeiro, o que pode limitar a generalização dos resultados para outros períodos ou cenários.

Alguma falha pode ter ocorrido durante a fase de coleta, modelagem e organização dos dados o que, certamente, influenciaria na percepção final dos resultados. Além disso, o ainda escasso conhecimento do pesquisador a respeito de linguagem de programação na plataforma do R-Studio poderia influenciar nas observações. Caso houvesse um melhor entendimento a respeito da plataforma, melhores resultados, ou mesmo percepções novas poderiam ser obtidas.

Existiu na metodologia prática uma ausência de incorporação de variáveis macroeconômicas, políticas ou de eventos de mercado que poderiam impactar significativamente os preços das ações. Também não se levou em consideração determinadas flutuações monetárias ou mudanças de regulação capazes de interferir nos investimentos.

O estudo, em sua metodologia, concentrou-se principalmente em dados e em técnicas de cunho quantitativo. Sendo assim, nota-se uma ausência de uma avaliação qualitativa, que poderiam propiciar informações especiais sobre o desempenho das ações analisadas.

A pesquisa se enfatizou no mercado financeiro brasileiro, em específico, com um conjunto definido e específico de ações, o que limita os resultados a um alcance geográfico e setorial. Possivelmente, em outros setores e mercados internacionais, percepções diferentes poderiam ser observadas.

Uma vez que o estudo englobou o período impactado pela crise do COVID-19, não fica claro em qual parâmetro a pandemia foi capaz de interferir nos dados analisados. Significativas mudanças nos padrões de investimentos ocorridas durante esse período poderiam influenciar nos resultados.

No caso, pesquisas futuras poderiam integrar em suas análises certos fatores macroeconômicos - como taxas de inflação, taxas de juros e indicadores de crescimento econômicos- no intuito de entender como esses fatores podem impactar o mercado de ações. Também seria interessante a realização de uma análise setorial mais detalhada, investigações sobre setores específicos poderiam fornecer percepções interessantes para investidores, gestores e pesquisadores.

A ampliação do escopo da pesquisa, incluindo uma variedade mais ampla de ativos, como títulos, commodities e moedas estrangeiras, também poderia ser de grande valia, uma vez que no caso desse trabalho o foco limitou-se apenas a ações.

## 7. Referências Bibliográficas

FAMA, E. (1970) "Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work", *Journal of Finance*, vol. 25, nº 2: 383-417

FAMA, E. (1991) "Efficient Capital Markets II", *Journal of Finance*, 46: 1.575-1.617.

Jensen, Michael C. 1978. *Some Anomalous Evidence Regarding Market Efficiency*. *Journal of Financial Economics*, 6, 95–101.

Hillier, D., Ross, S., Westerfield, R., Jaffe, J., & Jordan, B. (2019). *EBOOK: Corporate Finance, 4e*. McGraw Hill.

Sharpe, William F. "Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk." *The journal of finance* 19.3 (1964): 425-442.

Shiller, Robert J. "From efficient markets theory to behavioral finance." *Journal of economic perspectives* 17.1 (2003): 83-104.

Markowitz, H. (1952) *Portfolio Selection*. *The Journal of Finance*, Vol. 7, No. 1, pp. 77-91. March. 1952.

Bodie, Zvi, Alex Kane, and Alan Marcus. *Fundamentos de investimentos*. AMGH Editora, 2014.

Benartzi, Shlomo, and Richard H. Thaler. "Risk aversion or myopia? Choices in repeated gambles and retirement investments." *Management science* 45.3 (1999): 364-381.

Swensen, D. F. (2009). *Pioneering portfolio management: An unconventional approach to institutional investment, fully revised and updated*. Simon and Schuster.

Ibbotson, Roger G., and Paul D. Kaplan. "Does asset allocation policy explain 40, 90, or 100 percent of performance?." *Financial Analysts Journal* 56.1 (2000): 26-33.

Ross, Stephen A. "The current status of the capital asset pricing model (CAPM)." *The Journal of Finance* 33.3 (1978): 885-901.

Fama, E. y French, K. (1992). "The Cross-Section of Expected Stock Returns". *Journal of Finance*, Vol. 47, Blackwell Publishing, Oxford.

Brealey, Richard A., Stewart C. Myers, Franklin Allen. 2014. *Principles of Corporate Finance: Global Edition, 11/e*. McGraw-Hill.

KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. *Judgment under uncertainty: heuristics and biases*. *Science*, v. 185 n. 4157, Sep. 1974, p. 1124-1131.

Barberis, Nicholas, and Richard Thaler. "A survey of behavioral finance." *Handbook of the Economics of Finance* 1 (2003): 1053-1128.

Fama, Eugene F. "Market efficiency, long-term returns, and behavioral finance." *Journal of financial economics* 49.3 (1998): 283-306.

Jegadeesh, Narasimhan, and Sheridan Titman. "Profitability of momentum strategies: An evaluation of alternative explanations." *The Journal of finance* 56.2 (2001): 699-720.

Malkiel, Burton G. "Returns from investing in equity mutual funds 1971 to 1991." *The Journal of finance* 50.2 (1995): 549-572.

Fama, Eugene F., and Kenneth R. French. "Multifactor explanations of asset pricing anomalies." *The journal of finance* 51.1 (1996): 55-84.

- Kindleberger, Charles P. "Bubbles." *the World of Economics* (1991): 20-22.
- Shiller, Robert J. "Bubbles, human judgment, and expert opinion." *Financial Analysts Journal* 58.3 (2002): 18-26.
- Goldfarb, Brent, and David A. Kirsch. *Bubbles and crashes: The boom and bust of technological innovation*. Stanford University Press, 2019.
- Malkiel, Burton G. "Bubbles in asset prices." *The Oxford Handbook of Capitalism*. 2010.
- Malkiel, E., and R. E. Mayle. "Transition in a separation bubble." (1996): 752-759.
- Silveira, A. D. M. D., Perobelli, F. F. C., & Barros, L. A. B. D. C. (2008). *Governança corporativa e os determinantes da estrutura de capital: evidências empíricas no Brasil*. *Revista de Administração Contemporânea*, 12, 763-788.
- Carhart, Mark M. "On persistence in mutual fund performance." *The Journal of finance* 52.1 (1997): 57-82.
- Cochrane, John H. "Presidential address: Discount rates." *The Journal of finance* 66.4 (2011): 1047-1108.
- Mandelbrot, Benoit B., Adlai J. Fisher, and Laurent E. Calvet. "A multifractal model of asset returns." (1997).
- Alves, Mauro Halfeld Ferrari, Luiz Antonio Fernandes da Silva, and Akihiko Sato. "Análise de estilos de investimentos em ações no mercado da América Latina." *Revista de Administração da Universidade de São Paulo* 36.1 (2001).
- Bodie, Zvi, Alex Kane, and Alan Marcus. *Ebook: Essentials of investments: Global edition*. McGraw Hill, 2013.
- Ackermann, F., Pohl, W., & Schmedders, K. (2016). *Optimal and naive diversification in currency markets*. *Management Science*, 63(10), 3347-3360.
- <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.2016.2497>. Al Janabi, M. A. M. (2014). *Optimal and investable portfolios: an empirical analysis with scenario optimization algorithms under crisis market prospects*. *Economic Modelling*, 40, 369-381.
- <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2013.11.021>. Algarvio, H., Lopes, F., Sousa, J., & Lagarto, J. (2017). *Multi-agent electricity markets: retailer portfolio optimization using Markowitz theory*. *Electric Power Systems Research*, 148, 282-294.
- Ayub, U., Shah, S. Z. A., & Abbas, Q. (2015). *Robust analysis for downside risk in portfolio management for a volatile stock market*. *Economic Modelling*, 44, 86-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.econmod.2014.10.001>.
- Babaei, S., Sepehri, M. M., & Babaei, E. (2015). *Multi-objective portfolio optimization considering the dependence structure of asset returns*. *European Journal of Operational Research*, 244(2), 525-539. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.01.025>.

*Behr, P., Guettler, A., & Miebs, F. (2013). On portfolio optimization: imposing the right constraints. Journal of Banking & Finance, 37(4), 1232-1242. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbankfin.2012.11.020>.*

*Benati, S. (2015). Using medians in portfolio optimization. The Journal of the Operational Research Society, 66(5), 720-731. [http:// dx.doi.org/10.1057/jors.2014.57](http://dx.doi.org/10.1057/jors.2014.57).*