

APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE REDES “GRAU MÉDIO PONDERADO” PARA OTIMIZAÇÃO DE INVESTIMENTOS NO MERCADO ACIONÁRIO BRASILEIRO

THE “WEIGHTED AVERAGE GRADE” NETWORK INDEX TO OPTIMIZE INVESTMENTS IN THE BRAZILIAN STOCK MARKET

APLICACIÓN DEL ÍNDICE DE RED “GRADO PROMEDIO PONDERADO” PARA OPTIMIZAR LAS INVERSIONES EN EL MERCADO DE VALORES BRASILEÑO

Recebido em: 17/09/2023. Aprovado em: 08/01/2024

*Tatiana Gargur dos Santos.¹
Utilan Coroa²*

RESUMO: Selecionar ações de empresas e identificar métodos eficientes para compor carteiras de investimentos têm se tornado um desafio, nos tempos atuais, devido principalmente à presença de novas variáveis que interferem nos resultados das empresas e afetam, conseqüentemente, o mercado financeiro e de capitais. Esta pesquisa tem como objetivo analisar a possibilidade de se auferir retornos acima do índice de sustentabilidade ICO2, em períodos de alta volatilidade devido a riscos sistêmicos e não sistêmicos. A métrica de redes Grau Ponderado Médio foi empregada como método de seleção de ações e, para validar a eficácia dessa estratégia, as ações selecionadas foram inseridas no modelo matemático de otimização de carteiras de Harry Markowitz (1952). Os resultados encontrados apontaram para performances superiores das ações selecionadas em relação à carteira teórica do ICO2 assim como em relação à taxa Selic, no mercado de ações brasileiro no período estudado.

PALAVRAS-CHAVE: Redes; Grau Médio Ponderado; Mercado de Capitais; Markowitz.

ABSTRACT: Nowadays, selecting companies shares and identifying efficient methods to compose investment portfolios have become a challenge, mainly due to the presence of new variables that affect companies' results and, consequently, the financial and stock markets. This research aims to analyze the possibility to get earns above the ICO2 sustainability index, in high volatility periods, in systemic and non-systemic risks scenarios. The Average Weighted Degree network metric was used as a stock selection method and, to validate the effectiveness of this strategy, the selected stocks were

¹ Doutora em Difusão do Conhecimento. Professora de Economia, Macroeconomia, Microeconomia, Gestão Financeira, Finanças Corporativas, Controladoria e Mercado Financeiro. Email: tgargur40@gmail.com

² Doutor em Difusão do Conhecimento. Email: ucoroea@uol.com.br

included into Harry Markowitz's (1952) mathematical portfolio optimization model. As a result, superior performances were detected for the selected shares, at Brazilian stock market, for the period analyzed.

KEY-WORDS: Networks; Weighted Average Degree; Capital Markets; Markowitz.

RESUMEN: Seleccionar acciones de empresas e identificar métodos eficientes para componer portafolios de inversión se ha convertido en un desafío en los tiempos actuales, principalmente por la presencia de nuevas variables que interfieren en los resultados de las empresas y, en consecuencia, afectan los mercados financieros y de capitales. Esta pesquisa tiene como objetivo analizar la posibilidad de obtener rentabilidades superiores al índice de sostenibilidad ICO2, en periodos de alta volatilidad por riesgos sistémicos y no sistémicos. Se utilizó la métrica de red de Grado Promedio Ponderado como método de selección de acciones y, para validar la efectividad de esta estrategia, las acciones seleccionadas fueron insertadas en el modelo matemático de optimización de cartera de Harry Markowitz (1952). Los resultados encontrados mostraron desempeños superiores de las acciones seleccionadas, en el mercado de capital brasileño, en el período estudiado.

PALABRAS CLAVE: Redes; Grado Ponderado Promedio; Mercados de Capitales; Markowitz.

INTRODUÇÃO

Estudos acadêmicos em Mercado de Capitais têm incitado, nestas últimas décadas, a criação e desenvolvimento de metodologias diferenciadas com o objetivo de se elevar ao máximo os retornos e minimizar as perdas em cenários de riscos, visto que esses riscos são os responsáveis pelas oscilações dos mercados ao longo do tempo.

A análise dos ativos financeiros visando montar carteiras de investimentos otimizadas, ou seja, a carteira que maximiza o retorno esperado para determinado nível de risco, não é uma matéria recente. Podemos apontar como um dos estudos seminais o *Portfolio Selection* desenvolvido por Markowitz (1952), que propôs que o comportamento dos retornos dos ativos, calculados em termos de coeficientes de correlação, poderia reduzir o risco total de uma carteira de investimentos gerando uma carteira eficiente.

Conforme Famá e Pereira (2003), a redução de risco é evidenciada tendo em vista que os movimentos desses retornos poderão assumir direções contrárias em certos momentos e reduzir a volatilidade conjunta, medida em termos de variância. Logo, uma carteira com um número de ações inversamente correlacionadas poderá apresentar menor

risco do que a soma dos riscos individuais dessas ações, com possibilidades de se obter maiores retornos.

Este trabalho justifica-se por proporcionar, aos profissionais da área de investimentos e ao meio acadêmico, formas diferenciadas de selecionar ações de empresas no mercado acionário brasileiro, através da Teoria de Redes, visando aumentar a probabilidade de se auferir retornos acima da média do mercado em cenários de instabilidade econômica, como a vivenciada pelo Mercado Financeiro e de Capitais entre janeiro de 2020 a junho de 2022, que se destacou pelo predomínio da pandemia do Covid-19 e afetou a maior parte dos setores econômicos do Brasil.

Dessa forma, visando ampliar a compreensão da interação de variáveis que influenciam os resultados das carteiras, esta pesquisa objetivou analisar a possibilidade de se auferir maiores retornos em relação ao índice ICO2, em períodos de alta variabilidade de cotações das ações devido a riscos sistêmicos e não sistêmicos. Para atender a esse objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram colocados em prática:

- a) calcular o índice de rede grau ponderado médio;
- b) analisar a eficiência de carteiras de investimentos de ações pertencentes ao ICO2 através da metodologia de montagem de Carteiras de ações de Markowitz.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO:

MARKOWITZ E NOVAS TENDÊNCIAS

Uma das pesquisas iniciais que utilizou técnicas para seleção de carteiras de investimentos foi o trabalho de Graham e Dodd (1934), cuja influência avançou através das décadas seguintes por meio do livro *Security Analysis*, que foi considerado a Bíblia dos investidores da época. Mas, de acordo com Graham e Dodd (1934), o futuro não pode ser previsto, afirmativa que diverge da linha de pesquisa matemática seguida por Markowitz (1952), que afirma ser possível estimar retornos futuros com base em tendências passadas.

A otimização de carteiras de investimento em ações envolve três variáveis principais: a rentabilidade ou retorno, o risco e a liquidez, que exigem cada vez mais senso

crítico e conhecimento por parte dos profissionais de finanças de forma a se obter a melhor combinação em determinado período de tempo.

Em 1950 surge a Moderna Teoria de Portfolio oriunda das pesquisas de Harry Markowitz que, como parte da sua tese de doutorado, discorria sobre como construir portfolios de ações com altas expectativas de retorno para determinado nível de risco ou baixas possibilidades de risco para determinadas taxas de retorno esperado. De acordo com seus estudos, a expectativa de retorno para um determinado portfólio de ações corresponde à média dos retornos das próprias ações ponderadas pelo seu percentual de participação.

Já o risco, conforme análise de Markowitz (1952), não depende apenas da volatilidade das rentabilidades das ações, mas, também, da forma com que elas se correlacionam aos pares.

Conforme Brigham et al (2001), é teoricamente possível combinar ações que são arriscadas individualmente quando mensuradas por seus desvios-padrão e elaborar uma carteira de investimento com perfil Livre de Risco.

Risco em finanças pode ser diversificável ou não sistêmico, quando está relacionado ao ativo, ou seja, é inerente à natureza da própria empresa. E pode ser também chamado de não diversificável ou sistêmico, quando é exógeno ao ativo ou à empresa, ou seja, é um risco que afeta um país ou vários países ao mesmo tempo, por exemplo.

Os investidores do mercado financeiro tendem a se comportar de forma cautelosa e atenciosa perante as mudanças e notícias globais tendo em vista que, uma decisão de investimento em uma determinada região pode afetar o valor de mercado dos títulos negociáveis no outro lado do planeta, o que implica em risco sistêmico.

A influência das notícias sobre o mercado financeiro foi objeto de estudo recente de García-Medina et al (2018) com a publicação *Correlations and Flow of Information between The New York Times and Stock Markets*. Os pesquisadores utilizaram a *Random Matrix Theory* (RMT) e a Teoria da Informação, especificamente a Entropia, para analisar as correlações e o fluxo de informações entre 64.939 notícias do jornal *The New York Times* e 40 índices financeiros mundiais durante 10 meses no período 2015-2016. O conjunto de notícias foi quantificado e transformado em séries temporais e seus resultados sugerem uma correlação entre notícias e índices de bolsas, tendo em vista que os

movimentos dos mercados são impulsionados de forma mundial após divulgações, dando novas evidências de que novas variáveis influenciam o mercado financeiro e de capitais.

Segundo McCauley (2006), a Economia mostra uma abordagem fundamentalmente nova ao se utilizar da física como método estatístico. Durante décadas muitos modelos de física estavam sendo utilizados na economia, mas estes foram usados principalmente para a descrição matemática dos fenômenos físicos.

A crise econômica iniciada em 2008 gerou forte debate e questões sobre a capacidade dos economistas em lidar com as diversas variáveis que afetam a realidade financeira, mostrando que o funcionamento dos sistemas e mercados financeiros estava distante do previsto pelos modelos considerados padrões, conforme mencionaram McCauley et al (2006).

Os sistemas financeiros e econômicos são organizações complexas compostas por agentes econômicos interativos cujas interligações com instituições podem gerar padrões inesperados e processos de difusão de informações. Devido a isso, o uso de redes nos mercados financeiros tem sido um dos principais temas de pesquisa da atualidade em finanças. De acordo com Schweitzer et.al. (2009), as redes permitem a análise de dois ou mais ativos interligados num sistema.

Já segundo Battiston et.al. (2012), uma contribuição significativa das redes em finanças é a possibilidade de se mensurar a probabilidade de risco sistêmico, que são decorrentes das interligações e da interdependência entre os agentes de um sistema ou mercado, no qual a insolvência ou falência de uma única entidade ou grupo de entidades pode provocar falências em cadeia.

O ESTUDO DOS GRAFOS (REDES)

Gross e Yellen (1999) definiram Grafos como uma representação matemática formada por dois conjuntos, onde “V” é o conjunto de Vértices (Nós) sendo finito e não vazio e “A”, formada por Arestas (Arcos), que possui uma relação binária com “V”. Cada Aresta possui um conjunto de um ou dois Vértices associados à mesma.

Os primeiros estudos sobre redes, que deram origem à Teoria de Redes (TG), foram realizados pelo matemático Leonhard Euler (1736) através do enigma das sete pontes de Königsberg, cidade da Prússia no século 18 atualmente chamada de

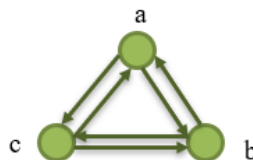
Kaliningrado, que pertence à Rússia. O rio Prególia dividia a cidade de Königsberg em quatro áreas que formavam duas grandes ilhas e, esse complexo, na época, era ligado por sete pontes. Os habitantes de Königsberg queriam saber se havia possibilidade de alguém visitar todas as quatro áreas passando apenas uma vez em cada ponte e, em 1736, Euler resolveu esse enigma ao transformar os caminhos (pontes) em linhas (arestas) e as interseções (áreas de terra separadas por pontes) em nós (vértices), criando, dessa forma o primeiro grafo que se tem registro na história.

Um sistema econômico ou financeiro pode ser representado por partes individuais que se conectam; e dessa forma, modelar esse sistema como uma rede pode fazer com que padrões surjam com o objetivo de explicar seu funcionamento.

O economista Brian Arthur (1999) foi pioneiro ao aplicar os conceitos de redes na economia, que é um sistema onde atuam agentes cujas decisões estão sujeitas a fatores “aleatórios” e nem sempre “racionais”. Como bem exemplificou Nussenzveig (2008), a atual situação das bolsas, num mundo globalizado, mostra que a mera expectativa de uma crise em determinado país pode vir a se tornar uma profecia a ser realizada desencadeando uma crise “prevista”, mostrando a influência dos agentes na formação de uma rede.

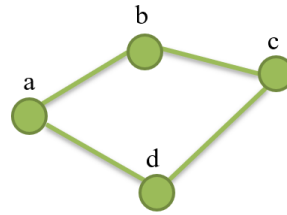
Com relação às suas características, os grafos podem ser direcionados, também chamado de dígrafos ou dirigidos, quando formados por um par ordenado de vértices, sendo que o primeiro vértice do par é a ponta inicial do vértice e, o segundo, a ponta final, conforme exemplificado na Figura 1 a seguir:

Figura 1 - Modelo de grafo dirigido



Fonte: elaboração própria

Um grafo também pode ser considerado como não direcionado ou não dirigido quando, para cada aresta c-d qualquer existe uma aresta da forma d-c. A ponta inicial de “c” coincide com a ponta final de “d” e a ponta final de “c” coincide com a ponta inicial de “d”, conforme Figura 2 a seguir:

Figura 2 - Modelo de grafo não dirigido

Fonte: elaboração própria

Um dos primeiros estudos registrados envolvendo redes e mercados financeiros foi realizado por Mantegna (1999), que aplicou o método *Minimum Spanning Tree* (árvore de extensão mínima) no período de julho de 1989 a outubro de 1995 utilizando empresas listadas na Bolsa de Valores de Nova Iorque, momento em que pôde constatar que as séries temporais poderiam passar informações valiosas para o mercado de capitais. Dessa forma, esse estudo de Mantegna (1999) revoluciona a forma sobre como são percebidas as relações entre as ações ou ativos financeiros dentro de uma bolsa de valores ou entre bolsas, formando redes.

Bekiros et al (2017) analisou os vínculos causais dinâmicos entre o mercado de valores mobiliários dos EUA e os mercados futuros de commodities através do emprego da Teoria de Redes, elaborando estimativas móveis de matrizes extensas e topologias de rede que variam no tempo para revelar a dimensão temporal das relações de correlação e entropia. Seus resultados permitiram mapear de forma robusta a influência da rede e os efeitos de contágio, ao mesmo tempo em que incorporou as expectativas dos agentes financeiros, fato esse que evidencia a existência de novas variáveis que podem ser identificadas através de novos padrões estatístico-matemáticos até então não usualmente aplicados em finanças, facultando, dessa forma, a possibilidade de novos estudos diante do vasto campo a ser explorado.

O ÍNDICE ICO2 E A RESPONSABILIDADE SOCIAL

As empresas estão se reorganizando ao revisar seus conceitos e suas práticas para poder enfrentar com ética e transparência os desafios de um mercado cada vez mais competitivo e, ao mesmo tempo, atender às crescentes demandas da sociedade.

O conceito amplo de desenvolvimento sustentável vem substituindo o tradicional enfoque econômico restrito do lucro, onde as metas de crescimento estão associadas aos esforços de redução dos efeitos danosos ao meio ambiente.

Conforme Fischer (2002), o conceito de Responsabilidade Social abrange o relacionamento ético e responsável das empresas com todos os grupos de interesses, que influenciam ou são influenciados por sua performance, dando atenção às questões ambientais e gerando investimentos em ações sociais, compatibilizando, dessa forma, os interesses e exigências das organizações e dos stakeholders.

Dessa forma, com o objetivo de compreender as constantes mudanças do funcionamento do mercado financeiro, as teorias de finanças avançam incorporando novas variáveis aos seus estudos de forma a acompanhar as inúmeras transformações que as empresas têm vivenciado.

O plano da criação de um índice brasileiro de responsabilidade social teve início em 1º de agosto de 2004 e visava atender à crescente tendência mundial de investidores à procura de empresas socialmente responsáveis, sustentáveis e rentáveis para aplicar seus recursos. Dessa forma, foi criado o ISE (Índice de Sustentabilidade Empresarial) que tinha como objetivo ser um referencial (*benchmark*) para os investimentos socialmente responsáveis no mercado de ações brasileiro.

O ICO2 (Índice Carbono Eficiente) foi desenvolvido em 2010 pela B3, à época chamada de Bolsa de Valores, Mercadorias e Futuros de São Paulo (BM&FBOVESPA), e pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) com o objetivo de incentivar as empresas pertencentes ao índice IBrX50 a adotarem práticas transparentes com relação às emissões de Gases Efeito Estufa (GEE), ao aferir, divulgar e monitorar essas emissões visando preparar essas empresas para atuarem em uma economia chamada de “baixo carbono”.

Identificar empresas com práticas socialmente responsáveis e com sustentabilidade no longo prazo é a tendência natural dos investidores que se identificam com esse método de gestão, ao mesmo tempo em que a sociedade aponta esse direcionamento como o caminho ético e sustentável, ambiental e economicamente viável, a partir deste século.

METODOLOGIA

O presente trabalho se utilizou da pesquisa positivista de natureza descritiva cuja construção foi pautada em fontes bibliográficas e coletas de dados históricos de ações, visando, com isso, aplicar métodos para mensuração de variáveis que possam aumentar a probabilidade de se reduzir riscos e aumentar os retornos de carteiras de ações.

De acordo com Martins (2000) as pesquisas positivistas descritivas buscam a descrição das características de determinada população ou fenômeno, bem como o estabelecimento de relações entre variáveis e fatos.

Dessa forma, a pesquisa foi composta pelos seguintes elementos formativos:

REDES

Neste trabalho, os nós ou vértices são as ações de empresas listadas na bolsa de valores do Brasil, a B3, e as arestas correspondem às ligações dessas ações ao índice de sustentabilidade ICO2 (Índice de Carbono Eficiente), ou seja, quando determinada ação esteve presente no ICO2 em determinado período de tempo.

O ICO2 segue a tendência internacional de atrelar o crescimento econômico das empresas listadas nas bolsas a um desenvolvimento sustentável, com menos impactos negativos para o planeta, motivo pelo qual ICO2 foi escolhido, neste trabalho, como indicador médio do mercado de ações por representar empresas responsáveis socialmente com o meio ambiente, em vez do uso do índice Ibovespa, que tradicionalmente e largamente é utilizado em pesquisas no Brasil sobre mercado de capitais.

As redes podem ser topologicamente identificadas e mensuradas através de diversas medidas. A questão sobre quantos ou quais indicadores deve-se utilizar em um estudo envolvendo redes é ainda uma incógnita, uma vez que não há registros na literatura definindo o uso de índices para pesquisas em Mercado de Capitais. Dessa forma, de acordo com a topologia de rede formada com base nos dados extraídos, pôde-se verificar e analisar as seguintes medidas de redes:

a) Tamanho e Ordem: segundo Figueiredo (2011), a mais simples propriedade de uma rede é seu tamanho, ou seja, o número de objetos e o número de relacionamentos existentes. O número total de arestas, ou seja, a quantidade de ações que

se ligaram ao fazer parte do índice ICO2 caracteriza o tamanho de uma rede e, a sua ordem N , é dada pelo número total de vértices, ou seja, as ações que fizeram parte do ICO2;

b) Grau Médio Ponderado: representa o número de conexões ponderadas que, em média, os nós de uma rede possuem. É a métrica que utiliza a variável “peso” das conexões entre os nós, ou seja, o grau ponderado médio não avalia apenas se há conexão entre eles, mas sim a intensidade dessa conexão.

As redes podem ser classificadas como não ponderadas e ponderadas. Nas redes não ponderadas as arestas representam uma relação simples entre os nós. Já nas redes ponderadas a magnitude das relações é evidenciada através da relação entre os nós que se transformam em pesos ponderando as conexões entre fortes e fracas.

Segundo Abbasi e Altmann (2011), o grau ponderado médio é a soma de todos os pesos das arestas ligadas a um nó. Neste trabalho, o grau ponderado médio expõe o peso que corresponde à quantidade de vezes que a mesma ação fez conexão com o ICO2 em determinado período de tempo.

Com relação à visualização das redes formadas, esse campo de pesquisa tem se apresentado de forma dinâmica pois vem recebendo novas contribuições, como o trabalho de Nascimento e Melo-Minardi (2015), que procurou apresentar uma metodologia de visualização de grandes redes em um ambiente web através do uso de diferentes algoritmos de layout e agrupamentos hierárquicos. Os pesquisadores verificaram que a combinação de algoritmos gera uma variada gama de abordagens possíveis e o modelo proposto apresentou-se apto a tratar as redes com diferentes topologias.

A visualização da rede formada neste trabalho se dará através da execução do algoritmo de força chamado Fruchterman-Reingold.

De acordo com Fruchterman e Reingold (1991), o funcionamento do algoritmo criado por eles tem como principais objetivos a distribuição dos vértices de forma igualitária no espaço disponível, a minimização do cruzamento de arestas e a uniformização de seu tamanho, além de proporcionar a simetria ao grafo.

O problema essencial de cada algoritmo é propor uma maneira de exibir os nós e as arestas de forma sintética objetivando facilitar a visualização da rede através de um padrão de organização promovendo a compreensão do grafo como um todo.

Um algoritmo de força usa a força das relações da rede como base para aproximar ou afastar os nós, e há várias formas possíveis de se utilizar a força das relações. A força pode ser a quantidade de vínculos que dois nós possuem ou um valor de atributo qualquer que define o peso de uma relação.

O algoritmo Fruchterman-Reingold pode ser encontrado no sistema Gephi®, que é uma plataforma interativa de visualização e exploração de redes e grafos dinâmicos, e que se utiliza de dois parâmetros:

- a) área: que representa a dimensão total de área para exibir a imagem da rede;
- e
- b) gravidade: que corresponde à força de atração para o centro da imagem e dos nós entre si ou a repulsão para afastar os nós.

POPULAÇÃO, AMOSTRA E COLETA DOS DADOS

A população para montagem da rede e cálculos dos Graus Ponderados médios foi composta por ações presentes na B3 no período de setembro de 2010 a dezembro de 2019.

A população para elaboração das carteiras de Markowitz foi composta por ações que estavam registradas na B3 no período de dezembro de 2018 a junho de 2022, período necessário para estimativas estatísticas passadas e apuração dos resultados dos investimentos.

A amostra para criação da rede e para a mensuração dos cálculos dos Graus Ponderados Médios foi composta pelo histórico de presença das ações da B3 nas carteiras teóricas do ICO2, onde foram identificadas 3476 conexões entre as ações e o índice ICO2, de 66 empresas diferentes da bolsa no período delimitado. A coleta dos dados foi feita no próprio site da bolsa B3 e transpostos para a planilha eletrônica Excel® da Microsoft®.

Já a amostra para elaboração das carteiras de Markowitz foi composta pelas Cotações mensais das 20 ações que estavam registradas na B3 no período de janeiro de 2019 a junho de 2022, e que apresentaram maiores graus ponderados médios após a elaboração da rede no sistema Gephi®.

As cotações são dados necessários para os cálculos dos Retornos, que são variações percentuais entre duas cotações de ações, conforme a representação matemática a seguir:

$$R = \left(\frac{Cotação_t}{Cotação_{t-1}} \right) - 1$$

Onde: $Cotação_t$ refere-se à cotação de uma ação em um momento t ; e

$Cotação_{t-1}$ refere-se à cotação de uma ação em um momento imediatamente anterior.

Os retornos das ações selecionadas foram calculados com base nas cotações mensais de fechamento da bolsa. Foram utilizadas cotações mensais e não diárias devido à alta quantidade de *outliers* identificada na base de dados que teriam que ser analisadas individualmente e extraídas para evitar distorções nos resultados.

Dessa forma, foram utilizados os retornos percentuais dos últimos dias úteis de cada mês coletados da base de dados eletrônica <https://finance.yahoo.com/> e exportados para a planilha eletrônica Excel®. Assim, foram calculados 720 retornos de ações para mensuração das estatísticas fundamentais necessárias para aplicação do método de otimização de carteiras e 246 retornos foram calculados para a análise da rentabilidade das carteiras após a otimização realizada.

PROCESSAMENTO, ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS DADOS

MONTAGEM DA REDE E CÁLCULO DO GRAU MÉDIO PONDERADO

Os dados extraídos da base de dados da B3 foram exportados para o Excel® e configurados conforme o padrão de montagem de redes para uso no sistema Gephi®. Logo em seguida, a estatística Grau Médio Ponderado foi calculada para as 3476 conexões identificadas entre as ações e o índice ICO2, das 66 empresas que estiveram presentes na carteira teórica do índice ICO2 de setembro de 2010 a dezembro de 2019, gerando, como resultado, a representação gráfica da rede na Figura 3 a seguir:

Figura 3 - Rede das ações pertencentes ao ICO2 de set/2010 a dez/2019 – visão geral da rede com a aplicação da estatística de Grau Médio Ponderado através do layout de Fruchterman-Reingold

empresas socialmente responsáveis possam apresentar performances superiores em relação às ações de empresas tradicionais.

Dessa forma, foram selecionadas as 20 empresas, de um total de 66, que participaram do ICO2 ao longo do tempo estudado, que corresponde a 30,30% da população das empresas desse estudo. A Tabela 1 a seguir exibe as 20 ações com maiores Graus Ponderados Médios individuais e que superam o Grau Ponderado Médio de toda a rede, que é de 51,88.

Tabela 1 - 20 ações com maiores Graus Ponderados Médios

Ação	Grau Médio Ponderado	Ação	Grau Médio Ponderado
BRF SA	76	CCR AS	104
BRADSPAR	80	BRADESCO	112
VALE	80	BRASIL	112
ULTRAPAR	80	CEMIG	112
KLABIN S/A	84	CIELO	112
BR MALLS PAR	88	ITAUSA	112
TELEF BRASIL	96	ITAUUNIBANCO	112
BRASKEM	100	JBS	112
MRV	104	LOJAS AMERIC	112
P.ACUCAR-CBD	104	LOJAS RENNER	112

Fonte: elaboração própria

MONTAGEM DA CERTEIRA DE MARKOWITZ

Com o objetivo de verificar se as ações que possuíam maiores Graus Médios Ponderados realmente apresentavam performances superiores à média do mercado, representado neste estudo como as rentabilidades do índice ICO2, a carteira de Markowitz foi elaborada. Através do modelo de dados históricos foram utilizados dados passados para elaboração das carteiras e apuração das rentabilidades.

Foi formada a primeira carteira com os dados dos retornos das vinte ações com maiores graus médios ponderados no período de janeiro de 2019 a dezembro de 2019. Para a otimização das carteiras utilizou-se a planilha eletrônica Microsoft Excel® dotada da ferramenta solver para a análise de dados, devidamente parametrizada para apresentar, como resultado, o percentual de participação de cada ação na carteira de mínimo risco da fronteira eficiente, conforme Markowitz (1952). Esta primeira carteira montada foi considerada como ideal, segundo o modelo, para investir no ano de 2020, e sua rentabilidade foi calculada de acordo com o percentual sugerido para investimento em cada ativo. Seus respectivos retornos dessa primeira carteira estão apresentados na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Análise da Rentabilidade do Modelo Markowitz - 2020

AÇÃO	% part. Carteira	2020 - RENTABILIDADE DA CERTEIRA (%) - ALTO Grau Pond Médio - ICO2												Acumulado
		jan-20	fev-20	mar-20	abr-20	mai-20	jun-20	jul-20	ago-20	set-20	out-20	nov-20	dez-20	
JBSS3.SA	0,79%	0,1%	-0,1%	-0,1%	0,2%	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,1%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%
ITSA4.SA	23,81%	-2,1%	-1,2%	-6,4%	0,6%	-0,4%	2,0%	2,7%	-2,7%	-1,5%	0,8%	3,9%	2,9%	-1,4%
CMIG4.SA	7,47%	0,6%	-0,5%	-2,7%	0,5%	1,0%	0,2%	0,7%	-0,5%	-0,3%	0,1%	1,7%	1,1%	2,0%
BRFS3.SA	6,43%	-0,8%	-0,7%	-2,8%	1,8%	1,2%	-0,5%	-0,2%	-0,3%	-0,4%	-0,6%	2,0%	0,0%	-1,3%
VALE3.SA	13,28%	-0,8%	-1,6%	-0,3%	0,5%	2,4%	0,7%	1,1%	-0,2%	0,4%	0,3%	3,8%	1,6%	8,1%
KLBN4.SA	4,66%	0,7%	-0,2%	-0,8%	0,4%	0,5%	0,2%	0,0%	1,1%	-0,3%	0,0%	0,2%	0,2%	2,1%
VIVT3.SA	43,55%	3,7%	-3,1%	1,9%	-2,6%	1,3%	1,5%	4,2%	-3,4%	-3,6%	-1,4%	2,4%	2,6%	3,4%
Carteira Markowitz	100,00%	1,4%	-7,5%	-11,2%	1,5%	6,0%	4,1%	8,6%	-6,0%	-5,8%	-0,8%	14,2%	8,4%	12,9%
ICO2 - Brasil		-1,7%	-6,6%	-31,1%	10,6%	7,4%	9,2%	8,9%	-5,3%	-5,6%	-1,9%	15,1%	9,0%	8,1%
Selic tx efetiva mês		0,4%	0,4%	0,3%	0,3%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	2,9%

Fonte: elaboração própria

Percebe-se, ao analisar a Tabela 2, que a carteira otimizada pelo método de Markowitz composta por ações que fizeram parte do ICO2, apresenta desempenho superior à própria carteira teórica durante o ano de 2020, sendo a ação VALE3, da

empresa VALE, a que apresentou retorno mais representativo, destacando-se das demais. Vale destacar que o período de apuração dos resultados da carteira corresponde ao período de início da pandemia do COVID-19, momento de muita instabilidade no mercado financeiro e de capitais em todo o mundo.

Para elaboração da segunda carteira o processo anterior foi repetido, tendo, como base de dados histórica, o período de janeiro/2020 a dezembro/2020. Após execução dos cálculos, o modelo sugeriu novas ações que deveriam se fazer presentes na carteira a ser investida no ano de 2021. As rentabilidades dessa nova carteira também foram apuradas, conforme a Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Análise da Rentabilidade do Modelo Markowitz - 2021

AÇÃO	% part. Carteira	2021 - RENTABILIDADE DA CARTEIRA (%) - ALTO Grau Pond Médio - ICO2												Acumulado
		jan-21	fev-21	mar-21	abr-21	mai-21	jun-21	jul-21	ago-21	set-21	out-21	nov-21	dez-21	
ITUB4.SA	1,2%	-0,1%	-0,1%	0,1%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	-0,1%	-0,2%	0,0%	-0,1%	-0,4%
VALE3.SA	5,5%	0,0%	0,4%	0,5%	0,6%	0,3%	0,0%	-0,2%	-0,5%	-0,8%	-0,3%	-0,1%	0,6%	0,5%
KLBN4.SA	27,2%	1,3%	2,1%	-1,9%	0,1%	-1,8%	-0,7%	-1,8%	1,9%	-2,4%	-1,3%	1,1%	3,4%	0,1%
VIVT3.SA	61,6%	-1,7%	-1,6%	0,4%	0,1%	1,7%	-3,1%	-0,6%	3,8%	-1,2%	4,4%	6,5%	-0,9%	7,6%
PCAR3.SA	4,5%	0,0%	0,4%	9,0%	1,0%	0,1%	-0,1%	-0,9%	-0,4%	-0,4%	0,0%	-0,5%	-0,1%	8,1%
Carteira Markowitz	100,0%	-0,5%	1,2%	8,2%	1,9%	0,3%	-3,8%	-3,5%	4,8%	-5,0%	2,4%	6,9%	3,0%	15,9%
ICO2 - Brasil		-4,5%	-5,8%	5,7%	-0,3%	5,4%	-0,4%	-3,6%	-2,7%	-6,6%	-6,5%	-1,4%	0,0%	-20,8%
Selic tx efetiva mês		0,2%	0,2%	0,1%	0,2%	0,2%	0,3%	0,3%	0,4%	0,4%	0,4%	0,5%	0,6%	3,7%

Fonte: elaboração própria

De acordo com a Tabela 3, o resultado da carteira otimizada pelo método de Markowitz no ano de 2021 apresentou desempenho superior à carteira teórica do ICO2, quando obteve 15,9% de ganho e a carteira teórica do ICO2 apresentou prejuízo de 20,8%.

As ações das empresas Pão de Açúcar (PCAR3) e Telefônica Brasil (VIVT) se destacaram por apresentar retornos superiores, sendo responsáveis por 99% do resultado da carteira otimizada pelo método de Markowitz em 2021. O impacto do Covid-19 sobre o mercado financeiro e de capitais em 2021 foi maior do que o choque do período anterior fazendo com que o índice ICO2 fechasse o ano com prejuízo de 20,8%.

Processo similar às duas carteiras anteriores foi realizado, tendo, como base de dados histórica, o período de janeiro/2021 a dezembro/2021. Após os cálculos matemáticos realizados conforme o modelo de Markowitz, foram sugeridas novas ações que deveriam fazer parte na carteira a ser investida no ano de 2022. As rentabilidades

dessa nova carteira também foram apuradas até o mês de corte para elaboração deste trabalho, conforme a Tabela 4 a seguir:

Tabela 4 - Análise da Rentabilidade do Modelo Markowitz – janeiro a junho de 2022

AÇÃO	% part. Carteira	2022 - RENTABILIDADE DA CARTEIRA (%) - ALTO Grau Pond Médio - ICO2						
		jan-22	fev-22	mar-22	abr-22	mai-22	jun-22	Acumulado
JBSS3.SA	26,6%	-2,0%	0,6%	1,0%	0,4%	-0,9%	-3,0%	-3,8%
ITSA4.SA	19,0%	3,0%	-0,3%	1,7%	-2,7%	0,8%	-2,4%	0,0%
AMER3.SA	11,5%	0,0%	-0,2%	0,8%	-3,1%	-1,9%	-3,8%	-8,1%
BRFS3.SA	0,6%	0,0%	-0,2%	0,1%	-0,2%	0,1%	-0,1%	-0,3%
BRAP4.SA	6,3%	0,5%	0,8%	0,6%	-0,7%	0,2%	-0,7%	0,6%
KLBN4.SA	10,1%	-0,5%	-0,5%	0,5%	-1,5%	1,1%	-0,7%	-1,7%
VIVT3.SA	25,8%	0,8%	0,3%	1,9%	0,4%	-1,0%	-2,0%	0,3%
Carteira Markowitz	100,0%	1,7%	0,5%	6,5%	-7,3%	-1,6%	-12,8%	-13,0%
ICO2 - Brasil		7,3%	-2,8%	6,7%	-10,0%	3,0%	-11,7%	-7,4%
Selic tx efetiva mês		0,8%	0,7%	0,8%	0,9%	0,8%	1,0%	5,1%

Fonte: elaboração própria

De acordo com a Tabela 4, o resultado da carteira otimizada pelo método de Markowitz no 1º semestre de 2022 apresentou desempenho inferior à carteira teórica do ICO2. A empresa Americanas (AMER3) puxou a queda representando mais de 62% de perda da carteira.

Como o resultado do ano de 2021 da empresa Americanas foi favorável conforme avaliação estatística do modelo aplicado, houve sugestão de sua inclusão como alternativa de investimento em 2022. Em situações análogas, considerando alto risco não sistemático apresentado pela empresa Americanas, cabe ao investidor realizar uma análise fundamentalista detalhada como complemento ao modelo aplicado para avaliar possibilidade de exclusão da referida empresa da carteira elaborada para o ano de 2022. Uma análise fundamentalista caracteriza-se por ser um modelo que avalia empresas a partir de métricas econômicas e financeiras que têm como base as demonstrações financeiras geradas e publicadas pelas contabilidades das empresas.

Ainda assim, analisando o período sugerido pelo modelo de janeiro de 2020 a junho de 2022 de forma acumulada, pôde-se verificar que os investimentos nas ações propostas pelo método de Markowitz apresentaram resultados superiores à carteira teórica ICO2 utilizada como *benchmark* para este estudo, conforme apresentado na Tabela 5 a seguir:

Tabela 5 - Análise comparativa acumulada das rentabilidades do período jan.2020 a jun.2022

Carteiras	2020	2021	2022	Acumulado
Markowitz	12,91%	15,92%	-12,98%	15,85%
Índice ICO2	8,06%	-20,79%	-7,42%	-20,15%
SELIC	2,93%	3,74%	5,05%	11,72%

Fonte: elaboração própria

A taxa Selic se fez presente na análise como forma de comparar os investimentos sugeridos pelo modelo de Markowitz em renda variável, característica natural das ações, com investimentos em renda fixa, que normalmente são balizadas pela taxa Selic, que é considerada a taxa básica de juros no Brasil.

A taxa Selic apresenta retornos positivos ao longo desse período, mas, devido ao momento caracterizado por grandes perdas financeiras e baixa produtividade econômica, o COPOM (Comitê de Política Monetária do Banco Central) manteve a taxa Selic baixa com o objetivo de tentar reduzir os custos financeiros da sociedade diante do cenário pandêmico do Covid-19.

CONCLUSÃO

Este trabalho objetivou analisar a possibilidade de se auferir maiores retornos, em relação ao índice ICO2, em períodos de alta variabilidade das cotações das ações devido a riscos sistêmicos e não sistêmicos, como o ocorrido entre janeiro de 2020 a junho de 2022 durante a pandemia do Covid-19, através do uso do índice de rede grau ponderado médio, utilizado como medida para selecionar ações para investimentos através do modelo de montagem de Carteiras de Markowitz.

As ações que faziam parte do índice ICO2 entre setembro de 2010 a dezembro de 2019 compuseram uma rede de relacionamentos onde os pesos das arestas formadas representavam a quantidade de vezes que uma determinada ação fez parte do índice ICO2. Esse parâmetro foi crucial como método para selecionar ações tendo em vista que possibilitou segregar as que possuíam maiores graus ponderados médios e posteriormente incluí-las no modelo matemático para otimização de carteiras de ações de Markowitz.

O modelo de construção das carteiras apresentou resultados acima do esperado, para o período estudado, tendo em vista que os portfólios sugeridos para investimentos obtiveram melhores desempenhos que a carteira teórica do ICO2. A carteira composta por ações sugeridas pelo modelo de Markowitz apresentou, entre 2020 e 2022, retorno acumulado de 15,85%, a carteira teórica do ICO2 apresentou prejuízo de 20,15% e a taxa Selic obteve 11,72% de retorno positivo no mesmo período.

Considerando que o método apresentou resultados superiores ao *benchmark* em período de alta volatilidade e incertezas, sugere-se que o modelo seja hábil em minimizar os riscos das ações reduzindo os prejuízos com base na análise estatística de dados históricos.

Caso determinada empresa ou ação apresente comportamento isolado de um padrão sistêmico, como o apresentado pela companhia Americanas, uma análise fundamentalista sobre a empresa pode ser uma alternativa para verificação de perspectivas futuras, para análise da causa raiz do problema que esteja prejudicando sua performance no mercado e, se for o caso, pode-se refazer a carteira durante o ano em curso substituindo ou retirando a ação do portfólio de forma a minimizar riscos futuros.

REFERÊNCIAS

ABBASI, A., ALTMANN, J. On the correlation between research performance and social network analysis measures applied to research collaboration networks. In Hawaii International Conference on System Sciences. **Proceedings of the 41st Annual**. Waikoloa, 2011.

ARTHUR, Brian. W. Complexity and the Economy. **Science**, v. 284, p. 107-109, 1999.

BATTISTON S., *et al.* Liaisons Dangereuses: Increasing Connectivity, Risk Sharing, and Systemic Risk. **Journal Economic Dynamics and Control**, 36, p. 1121-1141, 2012.

BEKIROS S., *et al.* Information diffusion, cluster formation and entropy-based network dynamics in equity and commodity markets, In: **European Journal of Operational Research**, v.256, p. 945-961, 2017.

BRIGHAM, E. et al. **Administração Financeira: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2001.

EULER, L. Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis. **Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae**, v. 8, p. 128-140, 1736.

FAMÁ, Rubens; PEREIRA, Leonel Molero. Diversificação internacional de portfólios e a integração dos mercados em desenvolvimento na América Latina e Estados Unidos. **VI Semead FEA/USP**. São Paulo: USP, 2003.

FIGUEIREDO, Daniel Ratton. Introdução a redes complexas. **Atualizações em Informática**, p. 303-358, 2011.

FISCHER, Rosa M. A responsabilidade da cidadania organizacional. In: FLEURY, Maria T.L. (Coord.). **As pessoas na organização**. São Paulo: Editora Gente, 2002.

FRUCHTERMAN, T. M., REINGOLD, E. M. **Graph drawing by force-directed placement**. Software: Practice and experience, 1991.

GARCÍA-MEDINA, Andrés et al. Correlations and flow of information between the New York Times and stock markets. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**. Elsevier, vol. 502(C), pag. 403-415, 2018.

GRAHAM, B.; DODD, D. **Security analysis**. McGraw Hill Professional, 1934.

GROSS, Jonathan, YELLEN, Jay. **Graph Theory and its Applications**. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 1999.

ÍNDICE CARBONO EFICIENTE (ICO2). **ICO2 B3, o Índice**. Disponível em: <https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-de-sustentabilidade/indice-carbono-eficiente-ico2-b3.htm>. Acesso em: 29 de jun. 2022.

MANTEGNA, Rosario N. Hierarchical structure in financial markets. **The European Physical Journal B**, v.11, p.193-197, 1999.

MARKOWITZ, Harry. Portfolio Selection. **The journal of finance**. Vol. 7, nº 1, p. 77-91, Mar. 1952.

MARTINS, Gilberto de Andrade. **Manual para elaboração de monografias e dissertações**. São Paulo: Atlas, 2000.

MCCAULEY, Joseph. Response to worrying trends in econophysics. **Physica A**, 371, p. 601, 2006.

NASCIMENTO, Felipe; MELO-MINARDI, Raquel. Visualização de grandes redes em ambiente web. In: BRAZILIAN WORKSHOP ON SOCIAL NETWORK ANALYSIS AND MINING (BRASNAM), 2015, Recife. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2015. ISSN 2595-6094. DOI: <https://doi.org/10.5753/brasnam.2015.6797>.

NUSSENZVEIG, H. M.. **Complexidade e Caos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ/Copea, 2008.

SCHWEITZER, Frank, *et al.* Economic Networks: The New Challenges. **Science**, p. 422-425, 2009.

YAHOO FINANCE. **Cotações de ações**. Disponível em: <<https://finance.yahoo.com/>>. Acesso em: 28 de jun. 2022.