

## EFICIÊNCIA DE UMA CARTEIRA DE MÍNIMA VARIÂNCIA EM AMBIENTES DE CRISE FINANCEIRA

EFFICIENCY OF A MINIMUM VARIANCE PORTFOLIO IN FINANCIAL CRISIS  
ENVIRONMENTS

EFICIENCIA DE UNA CARTERA DE MÍNIMA VARIANZA EN ENTORNOS DE  
CRISIS FINANCIERA

Klevean Machado de Oliveira<sup>1</sup>, Everton da Silveira Farias<sup>2</sup>, Marco Antônio dos Santos Martins<sup>3</sup>

DOI: 10.54899/dcs.v23i92.6338

Recibido: 26/06/2026 | Aceptado: 20/07/2026 | Publicación en línea: 27/07/2026.

### RESUMO

Este artigo tem como objetivo avaliar a eficiência de uma carteira de mínima variância composta por ativos do IBRX-100 durante períodos de crise financeira, considerando seu desempenho em termos de retorno ajustado ao risco em comparação aos *benchmarks* Ibovespa, CDI e dólar norte-americano. Metodologicamente, a pesquisa caracteriza-se como quantitativa, descritiva e documental, utilizando séries históricas diárias de ativos do mercado acionário brasileiro entre 2000 e 2024. A amostra final foi composta por 40 ativos selecionados a partir de critérios relacionados à cobertura histórica, liquidez e estabilidade estatística. A carteira de mínima variância foi estimada com base no modelo de Markowitz (1952), utilizando otimização quadrática e o estimador *shrinkage* de Ledoit e Wolf (2004) para construção da matriz de covariâncias. Os resultados demonstraram que a carteira otimizada apresentou desempenho superior ao Ibovespa em termos de retorno ajustado ao risco, com menor volatilidade, maiores Índices de Sharpe e Sortino e maior capacidade de preservação de capital durante períodos de crise sistêmica, especialmente no *Subprime* de 2008 e na pandemia da COVID-19. Além disso, verificou-se que a redução do risco agregado ocorreu principalmente pela combinação eficiente entre ativos com baixa correlação estrutural, e não apenas pela seleção de ativos individualmente menos voláteis. O estudo contribui para ampliar as evidências empíricas sobre estratégias de mínima variância no mercado brasileiro, fornecendo subsídios acadêmicos e práticos para a gestão de risco em ambientes de elevada instabilidade financeira.

**Palavras-chave:** Carteira de Mínima Variância. Fronteira Eficiente. Diversificação. Crises Financeiras.

<sup>1</sup> Graduada em Ciências Contábeis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: kleveanmo@gmail.com

<sup>2</sup> Doutor em Ciências Contábeis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: farias@ufrgs.br

<sup>3</sup> Doutor em Ciências Contábeis, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: mmartins@ufrgs.br

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the efficiency of a minimum variance portfolio composed of IBrX-100 assets during periods of financial crisis, considering its risk-adjusted performance in comparison with the Ibovespa, CDI, and U.S. dollar benchmarks. Methodologically, the research is classified as quantitative, descriptive, and documentary, using daily historical data from the Brazilian stock market between 2000 and 2024. The final sample consisted of 40 assets selected according to criteria related to historical coverage, liquidity, and statistical stability. The minimum variance portfolio was estimated based on the Markowitz (1952) model, using quadratic optimization and the Ledoit and Wolf (2004) shrinkage estimator to construct the covariance matrix. The results showed that the optimized portfolio outperformed the Ibovespa in terms of risk-adjusted return, presenting lower volatility, higher Sharpe and Sortino ratios, and greater capital preservation during periods of systemic crisis, especially during the 2008 Subprime crisis and the COVID-19 pandemic. Furthermore, the findings indicated that the reduction of aggregate risk resulted mainly from the efficient combination of assets with low structural correlation rather than simply selecting individually less volatile assets. The study contributes to expanding the empirical evidence on minimum variance strategies in the Brazilian market, providing academic and practical insights for risk management in environments of high financial instability.

**Keywords:** Minimum Variance Portfolio. Efficient Frontier. Diversification. Financial Crises.

## RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia de una cartera de mínima varianza compuesta por activos del IBrX-100 durante periodos de crisis financiera, considerando su desempeño en términos de rentabilidad ajustada al riesgo en comparación con los índices de referencia Ibovespa, CDI y el dólar estadounidense. Metodológicamente, la investigación se caracteriza por ser cuantitativa, descriptiva y documental, utilizando series históricas diarias de activos del mercado bursátil brasileño entre 2000 y 2024. La muestra final consistió en 40 activos seleccionados con base en criterios relacionados con la cobertura histórica, la liquidez y la estabilidad estadística. La cartera de mínima varianza se estimó con base en el modelo de Markowitz (1952), utilizando optimización cuadrática y el estimador de contracción de Ledoit y Wolf (2004) para construir la matriz de covarianza. Los resultados demostraron que la cartera optimizada superó a la Ibovespa en términos de rentabilidad ajustada al riesgo, con menor volatilidad, mayores ratios de Sharpe y Sortino, y mayor capacidad de preservación de capital durante periodos de crisis sistémica, especialmente la crisis de las hipotecas subprime de 2008 y la pandemia de COVID-19. Además, se constató que la reducción del riesgo agregado se produjo principalmente mediante la combinación eficiente de activos con baja correlación estructural, y no únicamente mediante la selección de activos individualmente menos volátiles. Este estudio contribuye a ampliar la evidencia empírica sobre estrategias de mínima varianza en el mercado brasileño, proporcionando apoyo académico y práctico para la gestión de riesgos en entornos de alta inestabilidad financiera.

**Palabras clave:** Cartera de Mínima Varianza. Frontera Eficiente. Diversificación. Crisis Financieras.



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución- NoComercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

## INTRODUÇÃO

A crescente integração dos mercados financeiros internacionais, impulsionada pelos avanços tecnológicos e pela intensificação dos fluxos de capitais, ampliou a interdependência entre economias, favorecendo a rápida transmissão de choques econômicos e financeiros e elevando a exposição dos investidores ao risco sistêmico e à volatilidade dos mercados (Cetorelli; Goldberg, 2012; Ehrmann; Fratzscher, 2009). Embora a globalização financeira amplie oportunidades de diversificação, períodos de elevada turbulência nos mercados tendem a reduzir os benefícios da diversificação tradicional, dificultando a construção de carteiras eficientes para controle do risco (Forbes; Rigobon, 2002). Dessa forma, a gestão de risco e a construção de carteiras resilientes tornaram-se temas relevantes para investidores e gestores financeiros (Fabozzi; Focardi; Kolm, 2006).

As crises financeiras caracterizam-se pela perda de liquidez, aumento da volatilidade e deterioração da confiança dos agentes econômicos (Gorton, 2018). Além disso, Estrella e Mishkin (1998) destacam que variáveis financeiras, como o comportamento do mercado acionário e da curva de juros, podem atuar como indicadores antecedentes de recessões econômicas. Em economias emergentes, esse cenário torna-se ainda mais sensível devido à influência da volatilidade cambial e dos fluxos internacionais de capital sobre os mercados domésticos (Calvo; Reinhart, 2002; Edwards, 2001). Em momentos de crise, investidores tendem a adotar estratégias mais conservadoras, priorizando mecanismos voltados à preservação patrimonial e à redução das perdas potenciais (Tversky; Kahneman, 1991).

Nesse contexto, a teoria moderna de portfólios proposta por Markowitz (1952) representa um dos principais referenciais para a gestão de investimentos ao introduzir a relação entre risco e retorno como elemento fundamental na composição de carteiras. O autor demonstrou que a combinação eficiente de ativos, considerando variância e covariância, permite reduzir o risco por meio da diversificação estatisticamente otimizada. A partir desse modelo, surgem conceitos centrais como a fronteira eficiente e a carteira de mínima variância, caracterizada pela menor exposição ao risco entre as combinações possíveis de ativos (Markowitz, 1952). Contudo, em períodos de crise financeira, o aumento das correlações entre ativos pode reduzir os benefícios da diversificação, tornando relevante analisar o comportamento dessas carteiras em cenários de

elevada instabilidade (Forbes; Rigobon, 2002).

No mercado brasileiro, o índice IBrX-100 reúne ações representativas da bolsa de valores, refletindo a dinâmica setorial e macroeconômica do país (Brasil, Bolsa, Balcão, 2020). Estudos anteriores indicam que carteiras de mínima variância podem apresentar desempenho ajustado ao risco superior aos *benchmarks* tradicionais em cenários de normalidade, embora fatores como erros de estimação da matriz de covariância possam limitar sua eficiência (Rubesam; Beltrame, 2013). Apesar disso, ainda são limitadas as evidências sobre o comportamento dessas carteiras em períodos de crise financeira no contexto brasileiro. Diante desse contexto, a questão problema deste estudo é: *como carteiras de mínima variância compostas por ativos do IBrX-100 se comportam em períodos de crise financeira?*

Com o propósito de responder à questão proposta, o objetivo geral deste estudo é avaliar a eficiência de uma carteira de mínima variância composta por ativos do IBrX-100 durante períodos de crise financeira, em termos de retorno ajustado ao risco, comparativamente aos *benchmarks* de mercado Ibovespa, CDI e dólar norte-americano. Para atingir esse objetivo, foram definidos os seguintes objetivos específicos: (i) identificar os padrões de retorno, volatilidade e correlação observados nos períodos de crise financeira selecionados; (ii) estimar a carteira de mínima variância por meio dos modelos de otimização de Markowitz (1952), gerando a fronteira eficiente e os indicadores de desempenho ajustado ao risco; e (iii) comparar o desempenho da carteira em relação aos *benchmarks* de mercado (Ibovespa, CDI e dólar), produzindo evidências sobre a eficiência dessa estratégia em cenários de instabilidade financeira.

A relevância deste estudo justifica-se pela necessidade de aprofundar as discussões sobre gestão de risco e eficiência da diversificação em períodos de crise financeira. Embora a teoria moderna de portfólios proposta por Markowitz (1952) seja amplamente consolidada na literatura financeira, ainda existem limitações relacionadas à aplicação empírica de carteiras de mínima variância em cenários de elevada volatilidade, especialmente no mercado brasileiro (Ziegelmann; Borges; Caldeira, 2015). Nesse contexto, a pesquisa busca analisar a robustez da fronteira eficiente em ambientes adversos, considerando ativos representativos do mercado acionário nacional. Consequentemente, espera-se que os resultados contribuam tanto para o desenvolvimento acadêmico acerca das estratégias quantitativas de alocação quanto para decisões práticas de investidores e gestores financeiros em contextos de instabilidade econômica.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os fundamentos conceituais da teoria moderna de portfólios, as medidas estatísticas de risco, a fronteira eficiente e a carteira de mínima variância, além de conceitos relacionados às crises financeiras e ao risco sistêmico.

### Teoria Moderna de Portfólios e Fronteira Eficiente

A Teoria Moderna de Portfólios, desenvolvida por Markowitz (1952), estabeleceu os fundamentos quantitativos da relação entre risco e retorno ao demonstrar que a eficiência de uma carteira depende não apenas do desempenho individual dos ativos, mas também da interação entre seus retornos. Ao incorporar a diversificação como elemento central do processo de investimento, o autor argumenta que o risco de um portfólio deve ser analisado de forma conjunta, considerando tanto a volatilidade dos ativos quanto a forma como seus retornos se relacionam entre si. Nesse contexto, a variância passou a ser utilizada como medida do risco total, enquanto a covariância e o coeficiente de correlação tornaram-se instrumentos fundamentais para compreender o comportamento conjunto dos ativos (Markowitz, 1952).

A importância dessas medidas decorre do fato de que o risco de uma carteira não é determinado exclusivamente pela volatilidade individual dos ativos que a compõem. Conforme demonstrado por Markowitz (1952), a combinação de ativos com diferentes padrões de comportamento pode reduzir o risco agregado do portfólio sem necessariamente comprometer o retorno esperado. Dessa forma, a covariância e a correlação permitem mensurar os benefícios da diversificação ao indicar o grau de associação entre os retornos dos ativos. Quanto menor essa associação, maior tende a ser a capacidade de redução do risco não sistemático, tornando essas métricas essenciais para a construção de carteiras mais eficientes (Markowitz, 1952). Em períodos de instabilidade financeira, contudo, a literatura evidencia que a volatilidade e a movimentação conjunta dos ativos tendem a aumentar, reduzindo parcialmente os benefícios da diversificação e exigindo maior atenção à gestão do risco (Longin; Solnik, 2001; Ang; Chen; Xing, 2006).

#### Equação 1 – Variância

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}$$

**Onde:**

$S^2$  = variância amostral  
 $x_i$  = valor de uma observação (índice  $i$ )  
 $\bar{x}$  = média de todas as observações  
 $n$  = número de observações  
 $i$  = índice da observação ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

Fonte: adaptada de Bodie, Kane e Marcus (2014)

#### Equação 2 – Covariância entre pares

$$COV_{A.B} = \frac{\sum_{k=1}^N (R_A - \bar{R}_A) \times (R_B - \bar{R}_B)}{n}$$

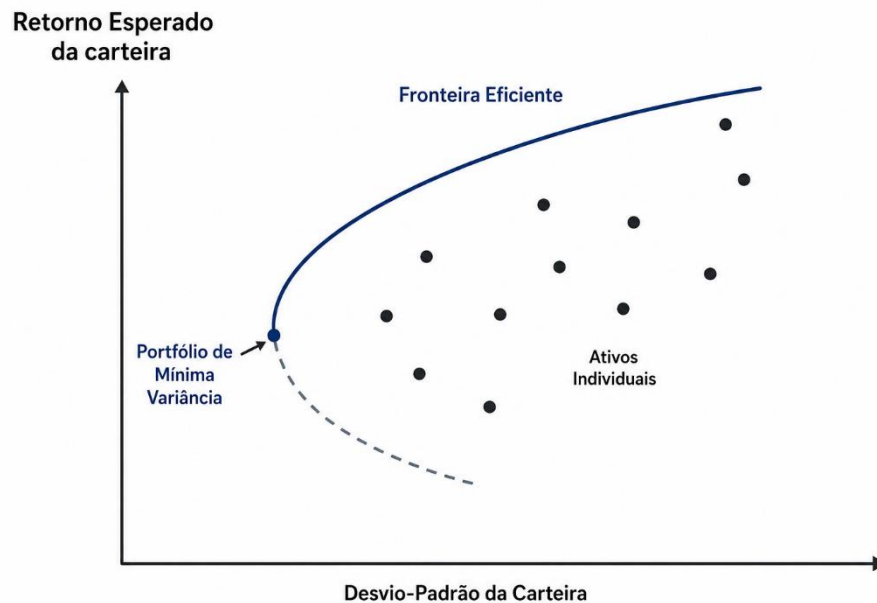
**Onde:**

$COV_{A.B}$  = covariância entre os pares A e B  
 $R_A$  = valor da variável A em uma observação  
 $\bar{R}_A$  = média dos valores da variável A  
 $R_B$  = valor da variável B em uma observação  
 $\bar{R}_B$  = média dos valores da variável B  
 $k$  = índice da observação ( $k = 1, 2, \dots, N$ )  
 $N$  = número total de observações  
 $n$  = número de observações

Fonte: adaptada de Markowitz (1952)

A partir desses fundamentos, Markowitz (1952) demonstrou que diferentes combinações de ativos geram distintas relações entre risco e retorno, dando origem ao conceito de fronteira eficiente. Essa fronteira é representada pelo conjunto de carteiras capazes de oferecer o maior retorno esperado para cada nível de risco assumido. Entre as carteiras localizadas nessa região, destaca-se a Carteira de Mínima Variância, definida como o portfólio que apresenta o menor risco possível dentre todas as combinações viáveis de ativos. Assaf Neto (2021) ressalta que a compreensão da volatilidade e das relações estatísticas entre os ativos é indispensável para decisões de investimento mais eficientes, especialmente em ambientes caracterizados por elevada incerteza econômica.

Figura 1 – Fronteira eficiente e MVP



Fonte: adaptada de Markowitz (1952)

Complementarmente, o Índice de Sharpe, desenvolvido por Sharpe (1966), possibilita avaliar o desempenho ajustado ao risco ao relacionar o retorno excedente obtido com a volatilidade da carteira. Sua ampla utilização decorre da capacidade de sintetizar, em uma única medida, a relação entre risco e retorno, permitindo comparações consistentes entre diferentes estratégias de investimento. Em períodos de crise, quando as oscilações dos retornos se intensificam, esse indicador contribui para verificar se os ganhos obtidos compensam adequadamente o risco assumido pelos investidores (Bodie; Kane; Marcus, 2014).

Equação 3 –Índice de Sharpe

$$S = \left( \frac{R_p - R_f}{\sigma_p} \right)$$

**Onde:**

- $S$  = índice de Sharpe
- $R_p$  = retorno da carteira (ou do portfólio)
- $R_f$  = taxa livre de risco
- $\sigma_p$  = desvio padrão do retorno da carteira (volatilidade)

Fonte: adaptada de Sharpe (1966)

## **Crises Financeiras e Risco Sistêmico**

As crises financeiras representam períodos de forte deterioração das condições econômicas e financeiras, caracterizados pela perda de liquidez, aumento da volatilidade e retração do crédito (Reinhart; Rogoff, 2009). Esses episódios costumam estar associados a crises bancárias, desvalorizações cambiais e colapsos nos preços dos ativos, afetando diretamente a estabilidade dos mercados. Kindleberger e Aliber (2011) destacam que crises geralmente surgem após períodos de expansão excessiva do crédito e valorização dos ativos, seguidos por reversões abruptas das expectativas dos investidores. Em economias emergentes, esses efeitos tendem a ser mais intensos devido à elevada dependência de capitais externos e à sensibilidade às oscilações cambiais (Calvo; Izquierdo; Talvi, 2006).

Nesse contexto, Estrella e Mishkin (1998) demonstram que variáveis financeiras, especialmente a estrutura a termo das taxas de juros, possuem capacidade preditiva sobre recessões econômicas. Segundo os autores, a inclinação da curva de juros reflete as expectativas dos agentes em relação ao comportamento futuro da economia e da política monetária, funcionando como um importante indicador antecedente de crises (Estrella; Mishkin, 1998). Além disso, Mishkin (1996) argumenta que períodos de instabilidade comprometem a eficiência do sistema financeiro ao dificultar a alocação eficiente de recursos e reduzir o fluxo de crédito para a economia.

A literatura também evidencia que crises financeiras alteram significativamente o comportamento dos ativos financeiros. Longin e Solnik (2001) observam que, em momentos de elevada volatilidade, as correlações entre ativos tendem a aumentar, reduzindo os benefícios da diversificação tradicional. Esse comportamento afeta diretamente a matriz de covariâncias utilizada na otimização de carteiras, impactando estratégias baseadas na relação risco-retorno. Adrian e Brunnermeier (2016) complementam que o risco sistêmico decorre da elevada interconexão entre mercados e instituições financeiras, permitindo que choques individuais sejam rapidamente propagados para todo o sistema econômico.

## **Estudos Relacionados**

Jagannathan e Ma (2003) investigaram os efeitos das restrições de não negatividade na otimização de portfólios, buscando avaliar a estabilidade das carteiras em ambientes de elevada

incerteza. Os autores analisaram dados do mercado acionário norte-americano e concluíram que restrições sobre os pesos dos ativos funcionam como mecanismo implícito de controle dos erros de estimação da matriz de covariâncias. Os resultados evidenciaram que carteiras restritas apresentaram melhor desempenho ajustado ao risco em comparação às carteiras sem restrições, especialmente em períodos de maior volatilidade. O estudo conclui que abordagens robustas de otimização podem aumentar a eficiência de portfólios em cenários de instabilidade financeira.

Clarke, De Silva e Thorley (2006) analisaram estratégias de baixa volatilidade no mercado norte-americano, com o objetivo de verificar se carteiras compostas por ativos menos voláteis poderiam superar os *benchmarks* tradicionais em termos de desempenho ajustado ao risco. A pesquisa utilizou técnicas de otimização de portfólios e análise histórica de retornos para avaliar estratégias de mínima variância. Os autores identificaram que carteiras de baixa volatilidade apresentaram desempenho consistente e menor exposição ao risco em comparação ao mercado amplo. O estudo conclui que estratégias defensivas podem gerar retornos competitivos mesmo em ambientes de elevada instabilidade.

Blitz e Van Vliet (2007) analisaram o desempenho de estratégias de baixa volatilidade em mercados desenvolvidos, avaliando se ações menos arriscadas poderiam superar carteiras tradicionais em termos de retorno ajustado ao risco. Utilizando dados históricos internacionais, os autores observaram que carteiras compostas por ativos de menor volatilidade apresentaram desempenho superior ao mercado, combinado com menor exposição ao risco total. O estudo conclui que estratégias de mínima variância e baixa volatilidade representam alternativas robustas para investidores que buscam proteção em períodos de turbulência econômica.

Thomé Neto, Leal e Almeida (2011) examinaram o desempenho de carteiras de mínima variância no mercado acionário brasileiro entre 1998 e 2008, período que inclui a crise financeira global. O objetivo do estudo foi comparar carteiras com e sem restrições de peso utilizando a metodologia proposta por Markowitz (1952). Os resultados demonstraram que a imposição de limites de concentração melhorou o equilíbrio entre risco e retorno, permitindo desempenho superior ao Ibovespa em períodos de elevada volatilidade. Os autores concluem que a estratégia de mínima variância pode atuar como importante mecanismo defensivo no mercado brasileiro.

Baker, Bradley e Wurgler (2011) investigaram o comportamento de ações de baixa volatilidade nos mercados financeiros, buscando compreender por que ativos menos arriscados frequentemente apresentam desempenho superior ajustado ao risco. O estudo analisou diferentes mercados acionários e identificou que carteiras compostas por ativos de baixa volatilidade tendem

a gerar retornos consistentes com menor exposição ao risco sistêmico. Os autores concluem que restrições de alavancagem e vieses comportamentais contribuem para a persistência da chamada “anomalia da baixa volatilidade”, especialmente em períodos de instabilidade financeira.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo caracteriza-se, quanto à abordagem do problema, como uma pesquisa de natureza quantitativa, uma vez que utiliza dados numéricos, variáveis mensuráveis e técnicas estatísticas aplicadas à análise de carteiras de investimento (Raupp; Beuren, 2006). Conforme Sampieri, Collado e Lucio (2013), pesquisas quantitativas fundamentam-se em medições objetivas e métodos estatísticos que permitem identificar padrões, relações e regularidades entre variáveis. Essa abordagem se mostra adequada ao estudo de séries financeiras e de carteiras de investimento, pois possibilita o tratamento sistemático de grandes volumes de dados históricos, assim como a aplicação de métodos de otimização e testes inferenciais, indispensáveis para compreender o comportamento dos ativos em períodos de instabilidade.

Quanto aos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como descritiva, pois busca observar, registrar e analisar o comportamento das carteiras de mínima variância em diferentes períodos de crise financeira. Segundo Gil (2019), estudos descritivos têm por finalidade apresentar detalhadamente a forma como os fenômenos se manifestam na realidade, sem manipulação das variáveis analisadas. Nesse sentido, o estudo procura descrever como a relação risco-retorno das carteiras se comporta em cenários de estresse econômico, considerando variáveis como retorno dos ativos, volatilidade, correlação e desempenho ajustado ao risco. A escolha dessas variáveis decorre de sua relevância para a Teoria Moderna de Portfólios, especialmente na avaliação da eficiência da diversificação em ambientes de elevada volatilidade.

No que se refere aos procedimentos técnicos, a pesquisa é classificada como documental, pois utiliza dados secundários obtidos em bases eletrônicas e institucionais, como Brasil, Bolsa, Balcão (B3), Yahoo Finance e Banco Central do Brasil. Conforme Fachin (2017), pesquisas documentais utilizam materiais já registrados e sistematizados, permitindo análise científica a partir de informações previamente disponíveis. A coleta dos dados ocorreu entre março e abril de 2026, enquanto o tratamento e a análise das informações foram realizados entre abril e maio de 2026. Os dados contemplam séries históricas diárias de preços ajustados dos ativos integrantes do IBrX-100, além dos *benchmarks* Ibovespa, CDI e dólar, no período de 2000 a 2024. O período

inicial foi definido por representar o primeiro ciclo completo após a adoção do regime de câmbio flutuante no Brasil, em 1999, permitindo maior comparabilidade e estabilidade das séries históricas utilizadas na análise das crises financeiras.

A população do estudo corresponde ao conjunto de ativos integrantes do IBrX-100 no período de 2000 a 2024, e a amostra é não probabilística, formada pelos ativos efetivamente disponíveis no intervalo temporal, respeitando a composição histórica do índice durante o período de crise selecionado. As crises analisadas contemplam diferentes regimes de estresse financeiro: a crise global do *subprime* (2008–2009), a recessão brasileira (2014–2016), o período de incerteza política associado às eleições e à greve dos caminhoneiros (2018) e a crise sanitária provocada pela COVID-19 (2020). A seleção dessas janelas permite avaliar o comportamento da carteira de mínima variância em choques externos, recessões domésticas prolongadas e eventos de elevada volatilidade sistêmica e política.

Quadro 1 – Janelas de crise financeira analisadas

| Período   | Evento                                 | Característica predominante                |
|-----------|----------------------------------------|--------------------------------------------|
| 2008–2009 | Crise do <i>Subprime</i>               | Crise sistêmica global e choque externo    |
| 2014–2016 | Recessão Brasileira                    | Recessão doméstica prolongada              |
| 2018      | Eleição 2018 e greve dos caminhoneiros | Instabilidade política e econômica         |
| 2020      | COVID-19                               | Crise sanitária global e choque de mercado |

Fonte: elaborado a partir dos dados obtidos na pesquisa (2026).

Os dados coletados foram tratados por meio da conversão dos preços ajustados em retornos logarítmicos diários, variável utilizada por permitir a mensuração padronizada do desempenho dos ativos e facilitar comparações ao longo do tempo. Em seguida, foram aplicados filtros relacionados à liquidez, disponibilidade histórica e consistência das informações. A partir dessas séries, foram construídas as matrizes de correlação e covariância. A correlação foi incluída por representar o grau de associação entre os retornos dos ativos, sendo fundamental para avaliar os benefícios da diversificação. A covariância, por sua vez, representa um dos principais insumos do modelo de Markowitz (1952), pois permite mensurar como os ativos variam conjuntamente e de que forma essa relação pode influenciar o risco total da carteira.

Posteriormente, foi estimada a Carteira de Mínima Variância por meio de técnicas de otimização quadrática baseadas no modelo de Markowitz (1952) e no estimador de covariância de Ledoit e Wolf (2004). Para avaliar seu desempenho, foram utilizadas métricas de risco e retorno ajustado ao risco. A volatilidade foi empregada como medida de risco total da carteira,

enquanto os índices de Sharpe e Sortino permitiram avaliar a eficiência dos retornos obtidos, considerando, respectivamente, o risco total e o risco de perdas. O *drawdown* foi utilizado para mensurar a magnitude das perdas acumuladas ao longo do período. Em conjunto, esses indicadores possibilitam avaliar a capacidade da carteira de preservar capital e manter desempenho consistente em cenários de crise financeira.

## ANÁLISE DOS DADOS

Nesta seção, são apresentadas as análises dos resultados obtidos a partir da construção da carteira de mínima variância (MVP) com ativos do IBrX-100 no período de 2000 a 2024, conforme os procedimentos metodológicos definidos na Seção 3. O estudo analisa a estrutura de risco e correlação dos ativos, bem como o desempenho da MVP em comparação aos *benchmarks* Ibovespa, CDI e dólar, com ênfase nos períodos de crise financeira.

### Construção da Carteira de Mínima Variância

A aplicação dos critérios metodológicos sobre o universo histórico de ativos pertencentes ao IBrX-100 entre 2000 e 2024 resultou em uma amostra final composta por 40 ativos elegíveis para o processo de otimização. O tratamento preliminar das séries históricas teve como finalidade garantir estabilidade estatística, comparabilidade temporal e consistência documental das informações utilizadas nos modelos quantitativos. Para isso, foram excluídos ativos com baixa cobertura histórica, elevada ocorrência de retornos extremos, baixa liquidez e descontinuidade relevante de negociação. Conforme Martins e Theóphilo (2016), a qualidade das bases documentais constitui elemento fundamental para a confiabilidade de pesquisas quantitativas aplicadas ao mercado financeiro.

Antes da otimização, todas as séries foram convertidas em retornos logarítmicos diários calculados a partir dos preços de fechamento ajustados, os quais incorporam dividendos, juros sobre capital próprio, desdobramentos e bonificações. A utilização de retornos logarítmicos mostrou-se adequada devido à sua aditividade temporal e melhor aproximação à distribuição normal, características relevantes para os modelos de Markowitz (1952) e para os testes estatísticos posteriores. Além disso, todas as séries — ativos, Ibovespa, CDI e dólar — passaram pelo mesmo procedimento metodológico, permitindo comparabilidade entre os *benchmarks*

utilizados ao longo da análise.

Quadro 2 – Critérios documentais aplicados e respectivo impacto

| <b>Etapas</b> | <b>Critério</b>                           | <b>Ativos remanescentes</b> |
|---------------|-------------------------------------------|-----------------------------|
| 0             | Universo histórico IBRX-100               | 210                         |
| 1             | Cobertura $\geq 90\%$ dos pregões         | 53                          |
| 2             | Volatilidade anualizada $\leq 80\%$       | 49                          |
| 3             | Retornos extremos $\leq 0,5\%$ dos dias   | 47                          |
| 4             | Liquidez mediana $\geq$ R\$ 5 milhões/dia | 42                          |
| 5             | Ausência de gaps $> 60$ pregões           | 40                          |
| 6             | Amostra final consolidada                 | 40                          |

Fonte: elaborado a partir dos dados obtidos na pesquisa (2026).

Os filtros aplicados demonstraram impacto significativo sobre a composição final da amostra. A principal redução ocorreu na exigência de cobertura mínima das séries históricas, eliminando ativos com baixa representatividade temporal ou histórico incompleto. Em seguida, os filtros relacionados à volatilidade extrema e à presença de retornos anômalos removeram ativos sujeitos a distorções estatísticas capazes de comprometer a estimação das matrizes de correlação e covariância. Esse procedimento mostrou-se particularmente relevante considerando a presença recorrente de choques econômicos e mudanças estruturais no mercado brasileiro ao longo das últimas duas décadas.

Após a aplicação dos filtros e da otimização quadrática baseada na Teoria Moderna de Portfólios, obteve-se a composição final da carteira de mínima variância (MVP). Os resultados evidenciam predominância de ativos defensivos e de baixa correlação estrutural com o mercado agregado, característica coerente com os pressupostos de Markowitz (1952), segundo os quais a redução do risco depende principalmente da estrutura de covariância entre os ativos.

Tabela 1 — Composição completa da Carteira de Mínima Variância (MVP)

| <b>Ranking</b> | <b>Ticker</b> | <b>Peso MVP (%)</b> | <b>Vol. anual (%)</b> | <b>Correlação média</b> |
|----------------|---------------|---------------------|-----------------------|-------------------------|
| 1              | VIVT3         | 12,875              | 30,7                  | 0,187                   |
| 2              | PNVL3         | 10,573              | 66,7                  | 0,065                   |
| 3              | ABEV3         | 9,396               | 29,1                  | 0,216                   |
| 4              | ITSA3         | 6,845               | 32,8                  | 0,203                   |
| 5              | PCAR3         | 6,783               | 49,1                  | 0,046                   |
| 6              | WEGE3         | 6,388               | 32,5                  | 0,184                   |
| 7              | RADL3         | 6,339               | 47,0                  | 0,113                   |
| 8              | ISAE4         | 5,788               | 39,1                  | 0,199                   |
| 9              | EGIE3         | 5,684               | 33,1                  | 0,219                   |
| 10             | LEVE3         | 5,319               | 47,5                  | 0,083                   |
| 11             | FESA4         | 3,953               | 39,0                  | 0,192                   |
| 12             | KEPL3         | 3,009               | 55,1                  | 0,099                   |
| 13             | UNIP6         | 1,881               | 78,2                  | 0,119                   |

|    |       |       |      |       |
|----|-------|-------|------|-------|
| 14 | EMBJ3 | 1,435 | 40,9 | 0,210 |
| 15 | ROMI3 | 0,915 | 46,7 | 0,158 |
| 16 | CPFE3 | 0,820 | 74,6 | 0,091 |
| 17 | CPLE6 | 0,500 | 37,8 | 0,271 |
| 18 | ITUB3 | 0,500 | 31,2 | 0,290 |
| 19 | CPLE3 | 0,500 | 37,8 | 0,271 |
| 20 | LIGT3 | 0,500 | 50,7 | 0,239 |
| 21 | BRAP4 | 0,500 | 42,7 | 0,287 |
| 22 | GOAU3 | 0,500 | 58,8 | 0,199 |
| 23 | GGBR3 | 0,500 | 48,2 | 0,235 |
| 24 | ITUB4 | 0,500 | 34,5 | 0,367 |
| 25 | ITSA4 | 0,500 | 39,7 | 0,298 |
| 26 | RAPT4 | 0,500 | 43,0 | 0,256 |
| 27 | SBSP3 | 0,500 | 38,5 | 0,281 |
| 28 | BBDC3 | 0,500 | 35,2 | 0,335 |
| 29 | CMIG3 | 0,500 | 42,1 | 0,265 |
| 30 | BHIA3 | 0,500 | 68,3 | 0,110 |
| 31 | BBAS3 | 0,500 | 41,7 | 0,332 |
| 32 | ELET3 | 0,500 | 48,5 | 0,284 |
| 33 | CYRE3 | 0,500 | 48,5 | 0,261 |
| 34 | CSNA3 | 0,500 | 52,7 | 0,303 |
| 35 | POMO4 | 0,500 | 40,1 | 0,239 |
| 36 | PETR3 | 0,500 | 42,9 | 0,316 |
| 37 | PETR4 | 0,500 | 42,0 | 0,317 |
| 38 | VALE3 | 0,500 | 39,7 | 0,276 |
| 39 | USIM3 | 0,500 | 52,9 | 0,232 |
| 40 | USIM5 | 0,500 | 52,2 | 0,308 |

Fonte: elaborada a partir dos dados obtidos na pesquisa (2026).

Os pesos da carteira de mínima variância (MVP) foram definidos a partir das análises estatísticas e dos procedimentos de otimização executados em *Python*, considerando principalmente a matriz de covariância, os níveis de correlação e a volatilidade histórica dos ativos integrantes da amostra. A aplicação do modelo demonstrou que os maiores pesos foram atribuídos a ações com menor correlação média em relação ao conjunto da carteira, mesmo quando apresentavam volatilidade individual relativamente elevada. Esse resultado evidencia que a redução do risco agregado do portfólio depende da capacidade de diversificação proporcionada pelos ativos e não apenas da escolha daqueles com menor oscilação individual.

Quadro 3 – Relação entre correlação média e alocação na MVP

| Faixa de alocação      | Característica predominante      |
|------------------------|----------------------------------|
| Ativos com peso > 0,5% | Correlação média abaixo de ~0,22 |
| Ativos no piso mínimo  | Correlação média acima de ~0,25  |

Fonte: elaborado a partir dos dados da pesquisa (2026).

Em contrapartida, empresas fortemente sincronizadas com os movimentos agregados do mercado brasileiro, como PETR4, VALE3, ITUB4 e BBAS3, permaneceram próximas ao limite

mínimo de alocação definido pelo modelo de otimização. Embora esses ativos apresentem elevada representatividade no Ibovespa e forte participação no mercado acionário nacional, suas correlações médias superiores ampliariam significativamente o risco sistêmico da carteira. Dessa forma, os resultados observados corroboram os fundamentos da Teoria Moderna de Portfólios de Markowitz (1952), segundo os quais a eficiência da diversificação está associada principalmente à interação estatística entre os ativos e à redução conjunta da variabilidade do portfólio.

## Estrutura de Risco e Correlação dos Ativos

A análise descritiva das séries históricas revelou características típicas de mercados emergentes, marcados por elevada volatilidade, assimetria negativa e ocorrência relativamente frequente de eventos extremos. A volatilidade anualizada média da amostra aproximou-se de 38% ao ano, enquanto a curtose excedente média permaneceu elevada, indicando presença de caudas pesadas e maior probabilidade de oscilações extremas. Segundo Mandelbrot e Hudson (2004), retornos financeiros apresentam comportamento não linear e distribuição distinta da normalidade clássica, especialmente em economias sujeitas a crises recorrentes e elevada instabilidade macroeconômica.

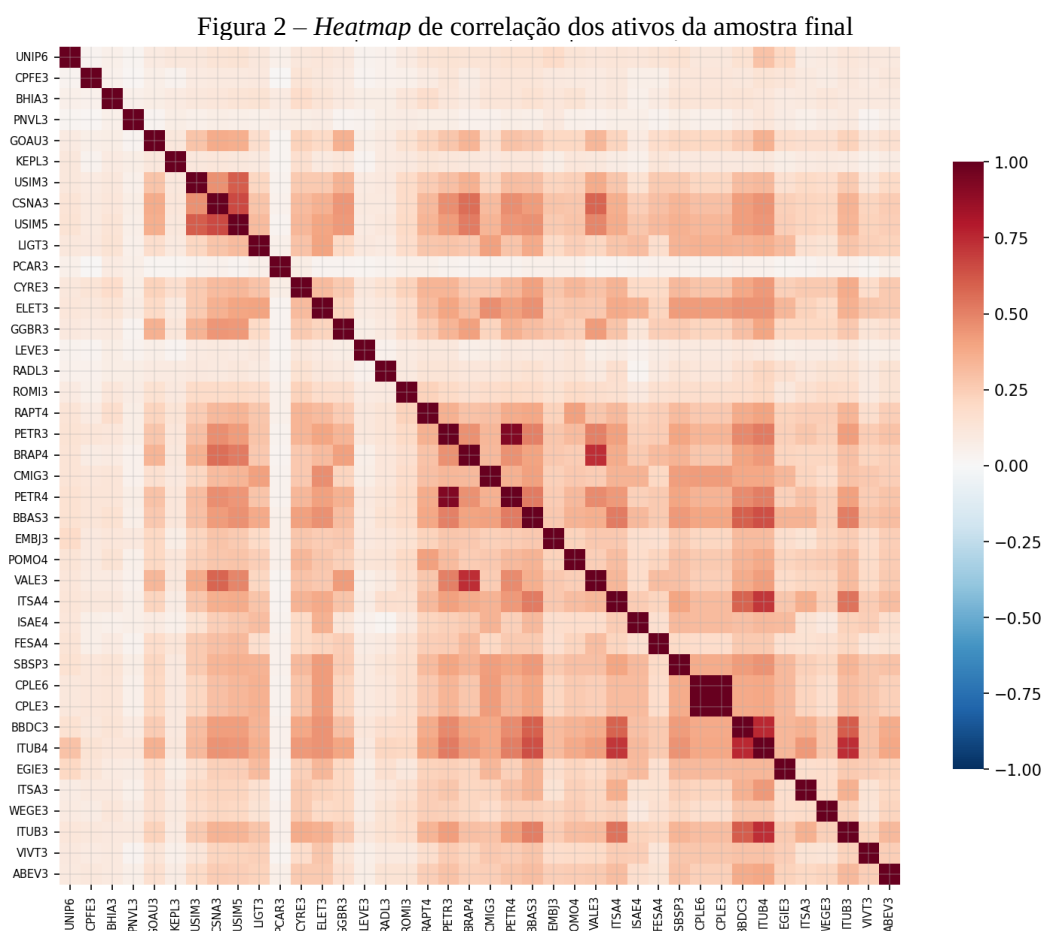
Tabela 2 – Estatísticas descritivas globais da amostra (2000–2024)

| Métrica                    | Valor |
|----------------------------|-------|
| Número de ativos finais    | 40    |
| Número de pregões          | 6.180 |
| Volatilidade anual média   | 38%   |
| Volatilidade anual mediana | 35%   |
| Assimetria média           | -0,15 |
| Curtose excessiva média    | 6,2   |
| Índice de Sharpe médio     | 0,30  |

Fonte: elaborada a partir dos dados da pesquisa (2026).

A distribuição da volatilidade demonstrou elevada heterogeneidade entre os ativos analisados. Empresas ligadas aos setores de telecomunicações, utilities e consumo essencial apresentaram volatilidade substancialmente inferior à observada em empresas cíclicas e dependentes do mercado de commodities. Entretanto, os resultados evidenciaram que a composição da carteira de mínima variância (MVP) não privilegiou exclusivamente ações individualmente menos voláteis. Em diversos casos, ativos com volatilidade relativamente elevada receberam participação relevante devido à baixa correlação estrutural em relação ao restante da carteira.

Para compreender a estrutura de dependência estatística entre os ativos selecionados, foi construída a matriz de correlação da amostra final. A Figura 2 apresenta o *heatmap* de correlação dos 40 ativos integrantes da carteira de mínima variância (MVP), permitindo visualizar os agrupamentos setoriais e os padrões de sincronização dos retornos.



O *heatmap* evidencia predominância de correlações positivas moderadas entre os ativos, especialmente em empresas de elevada representatividade no mercado acionário brasileiro. Observa-se maior sincronização entre PETR3, PETR4, VALE3, ITUB4 e BBDC3, indicando forte exposição ao fator sistêmico de mercado e aos movimentos agregados do Ibovespa. Em contrapartida, empresas como PNVL3, RADL3, PCAR3 e LEVE3 apresentaram correlação estruturalmente inferior ao restante da amostra, justificando seus maiores pesos na carteira de mínima variância (MVP), uma vez que contribuíram para redução da covariância total do portfólio.

Esses resultados reforçam empiricamente a lógica central da Teoria Moderna de

Portfólios, segundo a qual os ganhos de diversificação decorrem principalmente da combinação entre ativos com baixa correlação estrutural (Markowitz, 1952). Conforme Bodie, Kane e Marcus (2014), a correlação constitui o principal mecanismo de redução do risco agregado em portfólios diversificados, especialmente em mercados emergentes sujeitos a choques macroeconômicos recorrentes. Dessa forma, a carteira de mínima variância (MVP) privilegiou ativos capazes de reduzir a dependência estatística do portfólio em relação ao comportamento agregado do mercado acionário brasileiro.

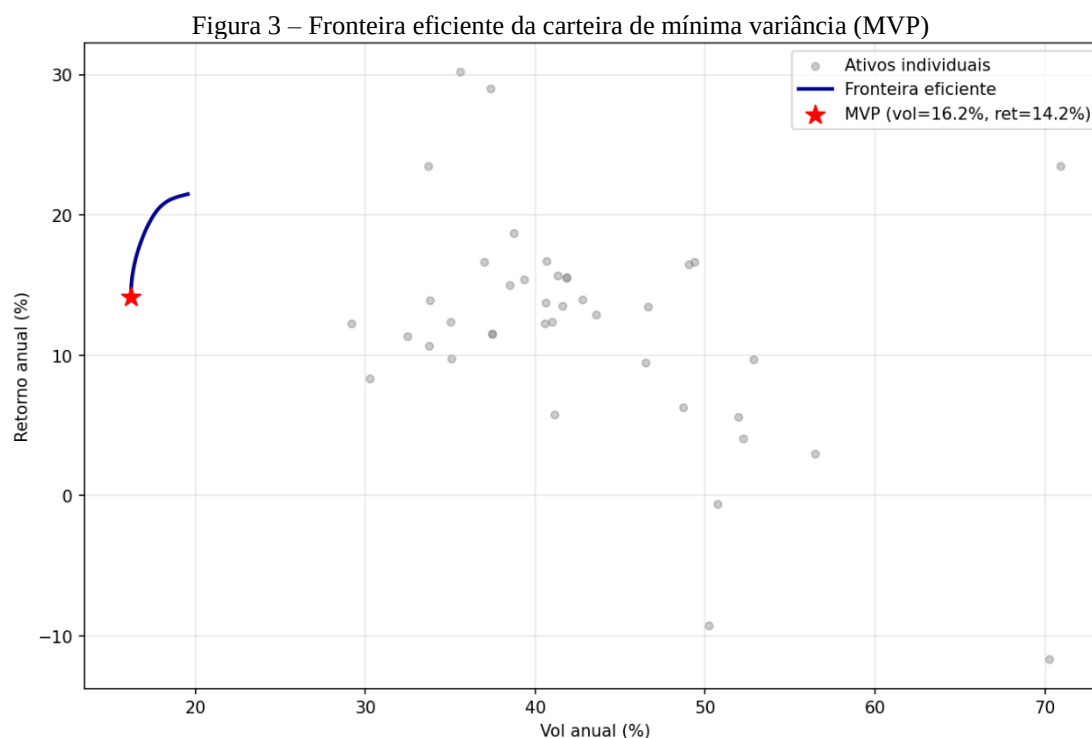
### Otimização da Carteira e Fronteira Eficiente

A construção da carteira de mínima variância (MVP) foi realizada com base na formulação clássica proposta por Markowitz (1952), cuja finalidade consiste em minimizar o risco total do portfólio por meio da combinação eficiente entre os ativos disponíveis. O processo de otimização foi executado em *Python 3* utilizando o algoritmo SLSQP (*Sequential Least Squares Programming*) da biblioteca *SciPy*. Além disso, as bibliotecas *pandas*, *NumPy* e *scikit-learn* foram utilizadas no tratamento das séries históricas, cálculos estatísticos e estimação das matrizes de risco. A utilização dessas ferramentas mostrou-se adequada devido à elevada capacidade de processamento dos dados financeiros e à possibilidade de reprodução integral das análises quantitativas desenvolvidas ao longo do estudo.

A estimação da matriz de covariâncias foi conduzida por meio do estimador *shrinkage* de Ledoit e Wolf (2004), método amplamente utilizado em contextos de elevada dimensionalidade e presença de ruído estatístico. A adoção desse estimador mostrou-se relevante devido à extensão temporal da amostra e à presença de diferentes regimes econômicos entre 2000 e 2024. Conforme Michaud (1989), matrizes amostrais tradicionais tendem a amplificar erros de estimação e produzir carteiras excessivamente instáveis. Nesse contexto, o método *shrinkage* reduz parcialmente essas distorções ao suavizar a matriz amostral em direção a uma estrutura estatisticamente mais estável, aumentando a robustez da otimização da carteira de mínima variância (MVP).

A partir da matriz de covariâncias estimada pelo método *shrinkage* de Ledoit e Wolf (2004), foi construída a fronteira eficiente da amostra final, representando as combinações de ativos capazes de oferecer o maior retorno esperado para cada nível de risco assumido. A Figura 3 apresenta a relação entre risco e retorno dos ativos individuais e das carteiras eficientes obtidas

pelo processo de otimização quadrática. Observa-se que a carteira de mínima variância (MVP) posicionou-se no extremo esquerdo da fronteira eficiente, caracterizando o menor nível de volatilidade possível dentro do conjunto de restrições estabelecidas e evidenciando empiricamente os benefícios da diversificação estatística proposta pela Teoria Moderna de Portfólios.



Fonte: elaborada a partir dos dados da pesquisa (2026).

A Figura 3 demonstra que a carteira de mínima variância (MVP) posicionou-se no extremo esquerdo da fronteira eficiente, apresentando volatilidade anual aproximada de 16,2% e retorno anualizado próximo de 14,2%. O comportamento convexo da curva evidencia o *trade-off* clássico entre risco e retorno descrito por Markowitz (1952), no qual aumentos marginais de retorno exigem elevação progressiva da volatilidade. Além disso, observa-se que a MVP apresentou relação risco-retorno mais eficiente em comparação à maior parte dos ativos individuais da amostra, indicando que a otimização estatística contribuiu para reduzir a variância do portfólio sem comprometer significativamente o retorno esperado. Esse resultado reforça a relevância da Teoria Moderna de Portfólios na construção de estratégias mais eficientes em cenários de incerteza financeira.

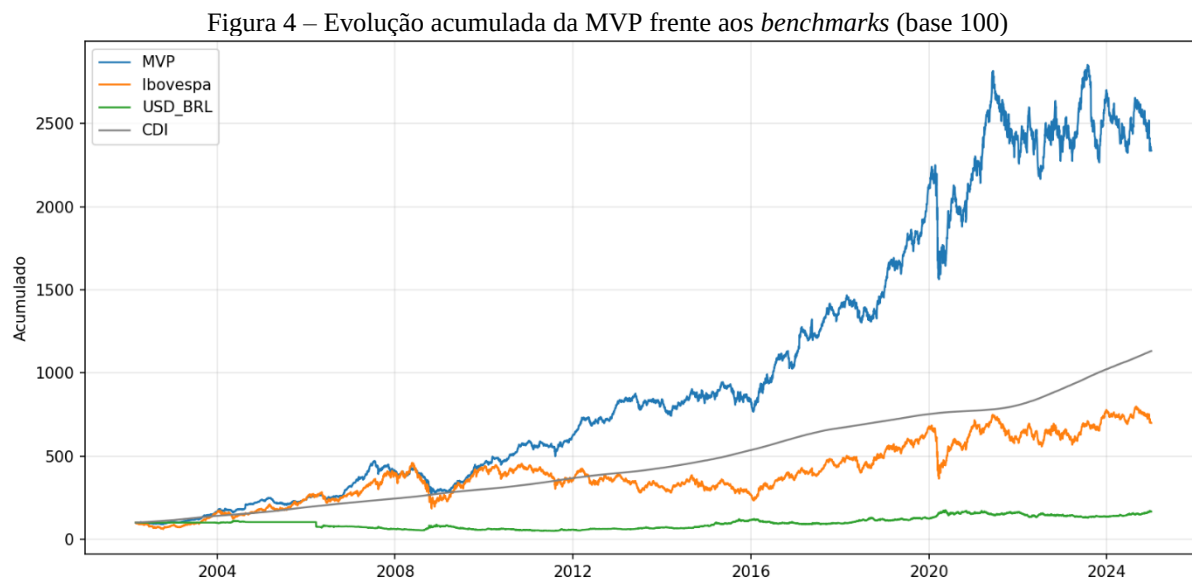
Também se observa que diversos ativos individuais apresentaram volatilidade

substancialmente superior à carteira otimizada, sem compensação proporcional em termos de retorno esperado. Esse resultado demonstra empiricamente a eficiência da diversificação estatística promovida pela carteira de mínima variância (MVP), reforçando que a combinação adequada entre ativos pode reduzir significativamente o risco agregado do portfólio. Verificou-se que a redução do risco não ocorreu apenas pela seleção de ativos menos voláteis, mas principalmente pela combinação entre ativos com diferentes níveis de correlação e sensibilidade aos ciclos econômicos. Dessa forma, os resultados evidenciam que a diversificação eficiente permanece relevante mesmo em mercados emergentes marcados por elevada volatilidade e instabilidade macroeconômica.

### **Desempenho da MVP e Análise das Crises**

Para avaliar o comportamento da carteira de mínima variância (MVP) ao longo do tempo, comparou-se sua evolução acumulada em relação aos *benchmarks* Ibovespa, CDI e dólar norte-americano entre 2000 e 2024. A Figura 4 apresenta a trajetória acumulada da estratégia otimizada em comparação aos principais referenciais do mercado brasileiro, permitindo analisar tanto seu desempenho absoluto quanto sua capacidade de preservação de capital em diferentes regimes econômicos. Observa-se que a MVP apresentou crescimento acumulado superior ao Ibovespa ao longo da série histórica analisada, inclusive em períodos marcados por elevada volatilidade e choques sistêmicos relevantes. Enquanto o *benchmark* acionário registrou oscilações mais intensas e recuperação mais lenta após crises financeiras, a carteira otimizada demonstrou trajetória relativamente mais estável no longo prazo.

O CDI apresentou comportamento praticamente linear durante todo o período, refletindo sua característica de ativo livre de risco *ex-post*. Já o dólar norte-americano apresentou forte valorização em momentos de crise, especialmente durante o *Subprime* de 2008 e a pandemia da COVID-19 em 2020, evidenciando movimentos típicos de *flight-to-quality* em cenários de aversão global ao risco. Esse comportamento reforça a diferença estrutural entre os *benchmarks* analisados e demonstra que a carteira de mínima variância conseguiu manter desempenho consistente mesmo diante de mudanças relevantes nas condições macroeconômicas e financeiras ao longo da amostra.



Fonte: elaborada a partir dos dados da pesquisa (2026).

A superioridade visual observada na evolução acumulada da carteira também se confirmou nos indicadores quantitativos de desempenho ajustado ao risco apresentados na Tabela 3. Os resultados demonstram que a carteira de mínima variância (MVP) apresentou retorno acumulado superior ao Ibovespa com volatilidade substancialmente inferior, indicando maior eficiência na relação risco-retorno ao longo do período analisado. Consequentemente, indicadores ajustados ao risco, especialmente o Índice de Sharpe, apresentaram desempenho superior para a estratégia otimizada, evidenciando maior capacidade de geração de retorno por unidade de risco assumida.

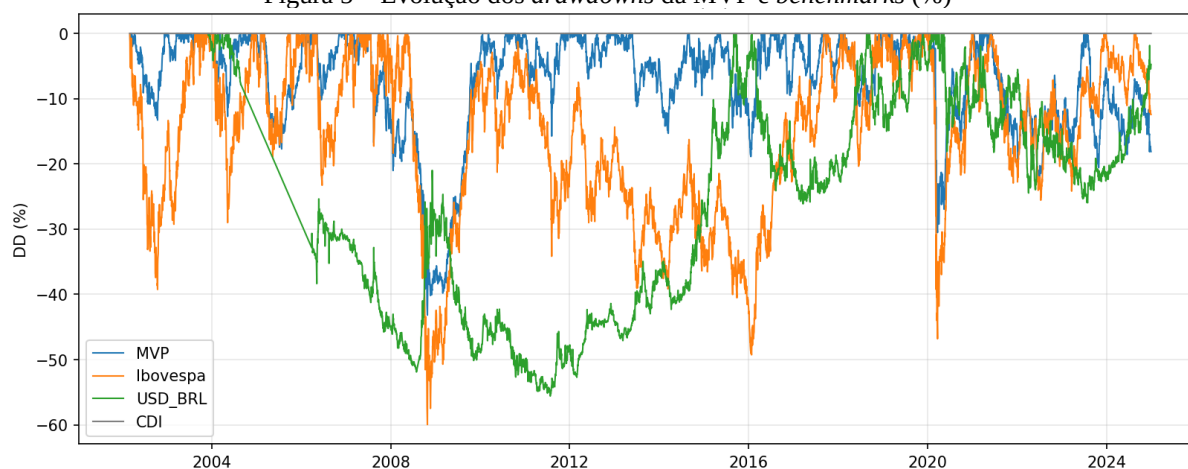
Os resultados obtidos reforçam os fundamentos da Teoria Moderna de Portfólios proposta por Markowitz (1952), evidenciando que a redução do risco agregado não decorreu necessariamente da seleção de ativos individualmente menos voláteis. Verificou-se que ativos com elevada volatilidade isolada puderam contribuir para a redução do risco total da carteira devido à baixa correlação entre seus retornos. Dessa forma, a redução da volatilidade agregada ocorreu principalmente pela combinação eficiente entre ativos com diferentes estruturas de correlação, reforçando empiricamente os benefícios estatísticos da diversificação eficiente em mercados emergentes. Além disso, essa dinâmica se torna ainda mais relevante quando analisada em cenários de instabilidade financeira, nos quais a preservação de capital assume papel central nas decisões de alocação.

Tabela 3 – Comparação de desempenho da MVP frente aos *benchmarks*

| Métrica                     | MVP      | Ibovespa | CDI   | USD/BRL |
|-----------------------------|----------|----------|-------|---------|
| Retorno acumulado (%)       | 1.343,64 | 599,03   | 1.180 | 66,47   |
| Retorno anualizado (%)      | 20,01    | 8,75     | 10,80 | 2,70    |
| Volatilidade anualizada (%) | 19,79    | 26,88    | 0,1   | 19,66   |
| Índice de Sharpe            | 0,607    | 0,325    | –     | 0,137   |
| Índice de Sortino           | 0,761    | 0,437    | –     | 0,164   |
| <i>Drawdown</i> máximo (%)  | -51,39   | -59,96   | 0,00  | -55,60  |

Fonte: elaborada a partir dos dados da pesquisa (2026).

Além da análise de desempenho acumulado, avaliou-se também o comportamento dos *drawdowns* da carteira de mínima variância (MVP) em comparação aos *benchmarks* ao longo da série histórica. A Figura 5 apresenta a evolução temporal das perdas máximas acumuladas observadas em cada ativo entre 2000 e 2024. Observa-se que o Ibovespa apresentou os episódios de perdas mais intensas durante períodos de crise sistêmica, especialmente no *Subprime* de 2008 e na pandemia da COVID-19 em 2020. A MVP, embora também tenha sofrido deterioração nesses períodos, apresentou oscilações relativamente menos severas e recuperação mais consistente ao longo do tempo.

Figura 5 – Evolução dos *drawdowns* da MVP e *benchmarks* (%)

Fonte: elaborada a partir dos dados da pesquisa (2026).

O comportamento apresentado na Figura 5 reforça a capacidade da carteira otimizada em reduzir parcialmente os impactos de choques externos sobre o portfólio. Enquanto o Ibovespa atingiu *drawdowns* próximos de 60% durante a crise do *Subprime*, a MVP apresentou perdas significativamente inferiores no mesmo período. O dólar norte-americano, por sua vez, apresentou comportamento distinto dos ativos domésticos, funcionando como instrumento de proteção em momentos de deterioração das condições financeiras globais. Já o CDI manteve estabilidade praticamente integral durante toda a amostra, refletindo sua baixa exposição ao risco

de mercado.

A análise das janelas de crise também é apresentada de forma consolidada na Tabela 4, que compara os *drawdowns* máximos observados na carteira de mínima variância (MVP) e no Ibovespa entre 2000 e 2024. Os resultados demonstram que a carteira otimizada apresentou perdas inferiores ao *benchmark* acionário em crises sistêmicas, como o *Subprime* de 2008 e a pandemia da COVID-19. No episódio do *Subprime*, a diferença aproximada de 5,5 pontos percentuais no *drawdown* máximo evidencia que a diversificação estatística contribuiu para reduzir parcialmente os impactos do choque global sobre a carteira. Esses resultados sugerem que a combinação eficiente entre ativos com diferentes estruturas de correlação proporcionou maior resiliência à MVP, favorecendo a preservação de capital em períodos de elevada instabilidade financeira.

Tabela 4 – *Drawdown* máximo da MVP e do Ibovespa nas janelas de crise

| Janela          | DD MVP (%) | DD Ibovespa (%) | Diferença (p.p.) |
|-----------------|------------|-----------------|------------------|
| COVID-19        | -44,71     | -45,44          | +0,73            |
| Recessão BR     | -44,61     | -39,42          | -5,19            |
| <i>Subprime</i> | -41,09     | -46,64          | +5,55            |
| Eleições 2018   | -14,70     | -19,32          | +4,62            |

Fonte: elaborada a partir dos dados da pesquisa (2026).

Durante a recessão brasileira entre 2014 e 2016, entretanto, a MVP apresentou desempenho relativamente inferior ao *benchmark* acionário. Esse resultado pode estar associado à elevada participação de empresas ligadas ao mercado doméstico e setores defensivos na composição da carteira otimizada, os quais sofreram fortemente os efeitos da desaceleração econômica prolongada e do aumento da incerteza fiscal no período. Além disso, a literatura destaca que estratégias de mínima variância podem apresentar limitações quando choques persistentes afetam simultaneamente grande parte dos ativos do mercado, reduzindo os benefícios da diversificação decorrentes da estrutura de correlações (Markowitz, 1952; Forbes; Rigobon, 2002).

Ainda assim, considerando o conjunto dos cenários analisados, a carteira demonstrou maior capacidade de controle do risco e preservação de capital, especialmente nos episódios de maior estresse financeiro. Os resultados sustentam empiricamente a hipótese central deste estudo, indicando que a carteira de mínima variância construída a partir dos ativos do IBrX-100 apresentou desempenho superior em termos de risco-retorno quando comparada aos principais *benchmarks* do mercado brasileiro. Em conjunto, as evidências sugerem que os benefícios da

otimização baseada na estrutura de covariâncias prevaleceram mesmo diante de períodos específicos em que a estratégia apresentou desempenho relativamente inferior, reforçando sua relevância como instrumento de gestão de risco em ambientes caracterizados por elevada instabilidade financeira.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de uma carteira de mínima variância composta por ativos do IBrX-100 durante períodos de crise financeira, considerando seu desempenho em termos de retorno ajustado ao risco em comparação aos *benchmarks* Ibovespa, CDI e dólar norte-americano. Para isso, foram aplicados modelos de otimização baseados na Teoria Moderna de Portfólios proposta por Markowitz (1952), utilizando técnicas quantitativas de análise de risco, correlação e otimização quadrática sobre séries históricas do mercado acionário brasileiro entre 2000 e 2024. A pesquisa buscou verificar se estratégias fundamentadas na diversificação estatisticamente eficiente seriam capazes de apresentar maior resiliência em cenários de elevada instabilidade financeira.

Os resultados obtidos demonstraram que a carteira de mínima variância (MVP) apresentou desempenho superior ao Ibovespa em termos de retorno ajustado ao risco ao longo da amostra analisada. A estratégia otimizada apresentou volatilidade substancialmente inferior ao *benchmark* acionário, mantendo retorno acumulado superior durante o período estudado. Os indicadores de desempenho, especialmente o Índice de Sharpe e o Índice de Sortino, também evidenciaram maior eficiência da MVP na relação entre risco e retorno. Além disso, a análise da fronteira eficiente confirmou que a carteira se posicionou próxima ao menor nível de risco possível dentro do conjunto de ativos selecionados, corroborando empiricamente os fundamentos da Teoria Moderna de Portfólios.

Os resultados também evidenciaram que a principal fonte de redução do risco agregado não decorreu exclusivamente da seleção de ativos individualmente menos voláteis, mas principalmente da combinação eficiente entre ativos com diferentes estruturas de correlação. Verificou-se que alguns ativos com volatilidade relativamente elevada receberam participação relevante na carteira devido à sua baixa correlação média em relação ao restante do portfólio. Esse comportamento reforça empiricamente a importância da covariância e da diversificação estatística no processo de otimização de carteiras, especialmente em mercados emergentes

marcados por elevada volatilidade e recorrência de choques macroeconômicos.

A análise das crises financeiras demonstrou que a carteira de mínima variância apresentou maior capacidade de preservação de capital em períodos de estresse sistêmico, especialmente durante a crise do *Subprime* de 2008 e a pandemia da COVID-19 em 2020. Os *drawdowns* observados na MVP foram inferiores aos registrados pelo Ibovespa na maior parte das janelas de crise analisadas, indicando maior resiliência da estratégia otimizada em cenários adversos. Entretanto, durante a recessão brasileira entre 2014 e 2016, a carteira apresentou desempenho relativamente inferior ao *benchmark* acionário, resultado possivelmente associado à elevada participação de empresas ligadas ao mercado doméstico e setores defensivos em sua composição.

A principal contribuição deste estudo consiste em ampliar as evidências empíricas sobre o comportamento de carteiras de mínima variância no mercado brasileiro durante períodos de crise financeira, temática ainda pouco explorada na literatura nacional. Os resultados indicam que a eficiência da diversificação está associada não apenas à seleção de ativos individualmente menos arriscados, mas principalmente à combinação eficiente entre ativos com diferentes estruturas de correlação. Nesse sentido, a pesquisa contribui para o avanço do conhecimento sobre gestão quantitativa de portfólios e oferece subsídios práticos para investidores e gestores interessados em estratégias de preservação de capital e controle de risco em ambientes de elevada instabilidade econômica.

Apesar das contribuições apresentadas, os resultados devem ser interpretados à luz de algumas limitações. A análise foi restrita aos ativos pertencentes ao IBrX-100, não contemplando outras classes de ativos potencialmente relevantes para estratégias de diversificação. Além disso, não foram considerados custos de transação, tributação ou eventuais restrições operacionais enfrentadas pelos investidores. Por fim, os resultados refletem as características específicas do período analisado, podendo ser influenciados pelas condições econômicas e financeiras observadas entre 2000 e 2024.

Diante dessas limitações, estudos futuros podem ampliar a investigação para outros mercados, classes alternativas de investimento e estratégias de alocação distintas da carteira de mínima variância. Também se recomenda avaliar modelos com rebalanceamento dinâmico, restrições setoriais e diferentes estimadores da matriz de covariância, buscando verificar a robustez dos resultados em diferentes regimes econômicos. Adicionalmente, a incorporação de técnicas de aprendizado de máquina e modelos avançados de previsão de volatilidade pode contribuir para aprofundar a compreensão sobre a eficiência da diversificação em mercados

financeiros contemporâneos.

## REFERÊNCIAS

ADRIAN, T.; BRUNNERMEIER, M. K. CoVaR. **American Economic Review**, v. 106, n. 7, p. 1705-1741, 2016.

ANG, A.; CHEN, J.; XING, Y. Downside risk. **Review of Financial Studies**, v. 19, n. 4, p. 1191-1239, 2006.

ASSAF NETO, A. **Mercado financeiro**. 15. ed. São Paulo: Atlas, 2021.

BAKER, M.; BRADLEY, B.; WURGLER, J. Benchmarks as limits to arbitrage: understanding the low-volatility anomaly. **Financial Analysts Journal**, Charlottesville, v. 67, n. 1, p. 40-54, jan. /fev. 2011.

BLITZ, D. C.; VAN VLIET, P. The volatility effect: lower risk without lower return. **The Journal of Portfolio Management**, New York, v. 34, n. 1, p. 102-113, 2007. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=980865>. Acesso em: 21 abr. 2026.

BODIE, Z.; KANE, A.; MARCUS, A. J. **Investimentos**. 10. ed. Porto Alegre: AMGH, 2014. BRASIL. Bolsa, Balcão – B3. **Índice Brasil 100 (IBrX-100): metodologia**. São Paulo: B3, 2020. Disponível em: [https://www.b3.com.br/data/files/CA/41/5A/43/96D947102255C247AC094EA8/IBXX-Metodologia-pt-br\\_\\_Modelo\\_Novo\\_.pdf](https://www.b3.com.br/data/files/CA/41/5A/43/96D947102255C247AC094EA8/IBXX-Metodologia-pt-br__Modelo_Novo_.pdf). Acesso em: 17 abr. 2026.

CALVO, G. A.; IZQUIERDO, A.; TALVI, E. Sudden stops and phoenix miracles in emerging markets. **American Economic Review**, v. 96, n. 2, p. 405-410, 2006.

CALVO, G. A.; REINHART, C. M. Fear of floating. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 117, n. 2, p. 379-408, 2002.

CETORELLI, N.; GOLDBERG, L. S. Banking globalization and monetary transmission. **The Journal of Finance**, v. 67, n. 5, p. 1811-1843, 2012.

CLARKE, R.; DE SILVA, H.; THORLEY, S. Minimum-variance portfolios in the U.S. equity market. **The Journal of Portfolio Management**, v. 33, n. 1, p. 10-24, 2006.

EDWARDS, S. Exchange rate regimes, capital flows and crisis prevention. **NBER Working Paper**, n. 8529, 2001.

EHRMANN, M.; FRATZSCHER, M. Global financial transmission of monetary policy shocks. **Oxford Bulletin of Economics and Statistics**, v. 71, n. 6, p. 739-759, 2009.

ESTRELLA, A.; MISHKIN, F. S. Predicting U.S. recessions: financial variables as leading indicators. **Review of Economics and Statistics**, v. 80, n. 1, p. 45-61, 1998.

FABOZZI, F. J.; FOCARDI, S. M.; KOLM, P. N. **Financial modeling of the equity market: from CAPM to cointegration**. Hoboken: Wiley, 2006.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologia: noções básicas em pesquisa científica**. 6. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

FORBES, K.; RIGOBON, R. No contagion, only interdependence: measuring stock market comovements. **The Journal of Finance**, v. 57, n. 5, p. 2223-2261, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GORTON, G. Financial crises. **Annual Review of Financial Economics**, v. 10, p. 43-59, 2018.

JAGANNATHAN, R.; MA, T. Risk reduction in large portfolios: why imposing the wrong constraints helps. **The Journal of Finance**, v. 58, n. 4, p. 1651-1684, 2003.

KINDLEBERGER, C. P.; ALIBER, R. Z. **Manias, panics, and crashes: a history of financial crises**. 6. ed. New York: Palgrave Macmillan, 2011.

LEDOIT, O.; WOLF, M. A well-conditioned estimator for large-dimensional covariance matrices. **Journal of Multivariate Analysis**, v. 88, n. 2, p. 365-411, 2004.

LONGIN, F.; SOLNIK, B. Extreme correlation of international equity markets. **The Journal of Finance**, v. 56, n. 2, p. 649-676, 2001.

MANDELBROT, B.; HUDSON, R. L. **The (mis)behavior of markets: a fractal view of financial turbulence**. New York: Basic Books, 2004.

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

MARTINS, G. A.; THEÓPHILO, C. R. **Metodologia da investigação científica para ciências sociais aplicadas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2016.

MICHAUD, R. O. The Markowitz optimization enigma: is “optimized” optimal? **Financial Analysts Journal**, v. 45, n. 1, p. 31-42, 1989.

MISHKIN, F. S. Understanding financial crises: a developing country perspective. **Annual World Bank Conference on Development Economics**, Washington, p. 29-62, 1996.

RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. Metodologia da pesquisa aplicável às ciências sociais. In: BEUREN, I. M. (Org.). **Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2006. p. 76-97.

REINHART, C. M.; ROGOFF, K. S. **This time is different: eight centuries of financial folly**. Princeton: Princeton University Press, 2009.

RUBESAM, A.; BELTRAME, M. Minimum variance portfolios in Brazil: an empirical analysis. **Revista Brasileira de Finanças**, v. 11, n. 1, p. 5-28, 2013.

SAMPIERI, R. H.; COLLADO, C. F.; LUCIO, M. P. B. **Metodologia de pesquisa**. 5. ed. Porto Alegre: Penso, 2013.

SHARPE, W. F. Mutual fund performance. **The Journal of Business**, Chicago, v. 39, n. 1, p. 119-138, 1966.

THOMÉ NETO, C.; LEAL, R. P. C.; ALMEIDA, V. S. E. Um índice de mínima variância de ações brasileiras. **Economia Aplicada**, v. 15, n. 4, p. 535-557, 2011.

TVERSKY, A.; KAHNEMAN, D. Loss aversion in riskless choice: a reference-dependent model. **The Quarterly Journal of Economics**, v. 106, n. 4, p. 1039-1061, 1991.

ZIEGELMANN, F.; BORGES, F.; CALDEIRA, J. The performance of minimum variance portfolios in the Brazilian stock market. **Economia Aplicada**, v. 19, n. 3, p. 419-446, 2015.