

XIII SEMPAD

Seminário de Pesquisa em Administração UNIFACS

Bitcoin e Eficiência de Portfólios das EFPC: Uma Análise Contrafactual à Luz da Teoria Moderna do Portfólio

Danilo Cesar da Silva
Miguel Angel Rivera-Castro

RESUMO

A gestão dos investimentos das Entidades Fechadas de Previdência Complementar (EFPC) tem se tornado mais complexa diante da volatilidade dos mercados e da busca por equilíbrio atuarial de longo prazo. Nesse contexto, discute-se o papel de novas classes de ativos capazes de ampliar a eficiência dos portfólios, como o Bitcoin, que vem ganhando relevância global como instrumento de diversificação. Este estudo avalia, de forma contrafactual, o impacto hipotético da inclusão do Bitcoin nas carteiras das EFPC, com base na Teoria Moderna do Portfólio (MPT). Utilizando dados históricos de 2010 a 2025, foram simuladas fronteiras eficientes em dois horizontes temporais sob limite máximo de 5% de alocação no ativo digital. As carteiras otimizadas foram avaliadas pelo Índice de Sharpe e pelo Value at Risk (VaR). Os resultados indicam que pequenas alocações — entre 2% e 3% — deslocam positivamente a fronteira eficiente, melhorando o retorno ajustado ao risco sem aumento proporcional da volatilidade. Apesar dos ganhos de eficiência observados, a elevada instabilidade de preços e as incertezas regulatórias reforçam a necessidade de abordagens prudentes e de longo prazo, compatíveis com os princípios fiduciários que orientam a gestão previdenciária.

Palavras-chave: Bitcoin; fundos de pensão; diversificação de portfólios; Teoria Moderna do Portfólio; risco e retorno.

1 INTRODUÇÃO

A gestão dos investimentos das Entidades Fechadas de Previdência Complementar (EFPC) tem se tornado progressivamente mais complexa nos últimos anos, em função das transformações no ambiente macroeconômico, da volatilidade dos mercados financeiros e das crescentes exigências por equilíbrio atuarial e sustentabilidade de longo prazo. Nesse contexto, a busca por alternativas que ampliem a eficiência das carteiras e reduzam a dependência de fatores exclusivamente domésticos tem levado à discussão sobre novas fronteiras de diversificação, incluindo ativos digitais como o Bitcoin.

Embora ainda não sejam permitidos pela regulamentação brasileira — que veda a alocação direta ou indireta em criptoativos —, o debate sobre seu papel potencial nos



portfólios institucionais tem se intensificado, sobretudo diante da expansão da infraestrutura de mercado, da crescente adoção por investidores institucionais e da maior liquidez observada em plataformas reguladas. O Bitcoin, em particular, consolidou-se como o principal ativo do ecossistema cripto, sendo frequentemente analisado sob a ótica de diversificação e reserva de valor em contextos de incerteza econômica e de transformação tecnológica nos mercados de capitais.

Diante desse cenário, este estudo propõe uma análise quantitativa do impacto hipotético da inclusão do Bitcoin nos portfólios das EFPC, com base na Teoria Moderna do Portfólio (MPT) e em métricas de risco-retorno amplamente utilizadas, como o Índice de Sharpe e o Value at Risk (VaR). A partir da construção de fronteiras eficientes em diferentes horizontes temporais e sob premissas de exposição parcimoniosa — limitadas a 5% do portfólio total —, busca-se examinar se a presença do ativo digital poderia, em tese, melhorar a eficiência das carteiras previdenciárias.

Além de contribuir para o debate técnico sobre inovação financeira e diversificação prudente, o estudo oferece evidências empíricas que podem subsidiar discussões futuras sobre o aperfeiçoamento regulatório no âmbito da previdência complementar fechada, especialmente no que diz respeito à incorporação gradual e controlada de novas classes de ativos em consonância com os princípios de segurança, solvência e prudência fiduciária.

2 TEORIAS DE OTIMIZAÇÃO DE PORTFÓLIOS

A Moderna Teoria de Portfólios (MPT), proposta por Markowitz (1952), marcou o início das finanças modernas ao introduzir uma abordagem científica e estruturada para a gestão de investimentos. Fundamentada na Teoria da Utilidade Esperada (Von Neumann e Morgenstern, 1947), parte da racionalidade dos investidores e de sua aversão ao risco para propor que a diversificação entre ativos com correlação imperfeita permite otimizar a relação risco-retorno. Essa lógica dá origem à fronteira eficiente — o conjunto de portfólios que oferece o maior retorno possível para cada nível de risco.

Apesar de seu rigor analítico, a aplicação prática da MPT — também chamada de modelo de média-variância — enfrentou limitações técnicas em suas décadas iniciais, sobretudo devido à complexidade do cálculo das matrizes de covariância. No entanto, o avanço tecnológico permitiu sua consolidação como referência teórica e prática para a



seleção e alocação de ativos. Ao longo das décadas seguintes, diversas teorias foram desenvolvidas com o intuito de aprimorar a MPT ou responder a suas limitações. Tobin (1958) introduziu a Teoria da Separação e a Linha do Mercado de Capitais (CML), ao incorporar um ativo livre de risco à análise, permitindo que investidores ajustem sua alocação conforme a preferência individual por risco. Sharpe (1963) simplificou os cálculos com o Modelo Diagonal, enquanto Sharpe (1964), Lintner (1965) e Mossin (1966) desenvolveram o Capital Asset Pricing Model (CAPM), que introduziu o conceito de risco sistemático (beta) como principal determinante do retorno esperado.

A Hipótese dos Mercados Eficientes (Fama, 1970) reforçou os fundamentos do CAPM ao sustentar que os preços dos ativos incorporam rapidamente toda a informação disponível. Contudo, as críticas não tardaram. Estudos como os de Black e Scholes (1973) e Merton (1973), ao tratarem da precificação de opções, e Ross (1976), com a Teoria de Arbitragem de Preços (APT), passaram a considerar múltiplos fatores de risco além do mercado. Mandelbrot (1963) e, posteriormente, Mandelbrot e Taylor (1967) desafiaram o pressuposto da normalidade dos retornos, apontando para a maior frequência de eventos extremos.

Nos anos seguintes, as Finanças Comportamentais, a partir de Kahneman e Tversky (1979), revelaram que vieses psicológicos e limitações cognitivas afetam as decisões dos investidores, colocando em xeque a racionalidade estrita assumida pela MPT. Críticas como as de Grossman e Stiglitz (1980), Shiller (1981) e Shleifer (1986) questionaram também a eficiência plena dos mercados e a capacidade dos modelos tradicionais de explicar as anomalias observadas.

Em resposta, novas abordagens foram propostas. Fama e French (1992, 1993) criaram o Modelo de Três Fatores, mais tarde expandido para quatro (Carhart, 1997), cinco (Fama e French, 2015) e seis fatores (Fama e French, 2018), incluindo variáveis como tamanho da empresa, valor contábil, lucratividade, investimento e momentum. Rom e Ferguson (1994), por sua vez, desenvolveram a Post-Modern Portfolio Theory (PMPT), substituindo a variância pela semivariância, mais alinhada à aversão a perdas. Sortino e Price (1994) complementaram essa abordagem com o índice Sortino, que considera apenas a volatilidade negativa.

Outros autores, como DeMiguel, Garlappi e Uppal (2009), reacenderam o interesse por modelos mais simples, como a Teoria 1/N, que propõe alocação equitativa de capital entre os ativos. Embora menos sofisticada, essa abordagem mostrou



desempenho competitivo em determinados contextos. Lo (2004), por sua vez, propôs a Hipótese dos Mercados Adaptativos (HMA), integrando os aprendizados das finanças comportamentais e da teoria neoclássica, embora sem alcançar status de paradigma dominante.

Com o avanço do poder computacional, modelos mais complexos e preditivos tornaram-se viáveis, ainda que menos acessíveis a investidores comuns. Apesar disso, nenhum modelo se consolidou como uma solução definitiva para alocação ótima de ativos em todos os contextos. Nesse cenário, apesar da longevidade da MPT, ela mantém sua relevância prática e teórica, pois, conforme observa Rubinstein (2002), continua sendo amplamente utilizada por gestores institucionais e investidores individuais, sendo aplicada tanto na construção quanto na avaliação de carteiras.

Assim, apesar das críticas acumuladas e da evolução dos modelos subsequentes, a MPT permanece como base fundamental da gestão moderna de investimentos, ao oferecer um arcabouço matemático robusto para a otimização do risco e do retorno. Por essa razão, será utilizada como referência metodológica neste estudo, entendendo-se a seleção de portfólio como a busca pela combinação ótima de ativos a partir da variância e da correlação dos retornos.

3 O BITCOIN E A EVOLUÇÃO DO MERCADO DE CRIPTOMOEDAS

Uma das discussões contemporâneas sobre diversificação de portfólios, tanto no meio acadêmico quanto no mercado de capitais, diz respeito à inclusão de ativos virtuais nas carteiras, dado o crescimento e a institucionalização observados nos últimos anos (Cerutti; Chen; Hengge, 2025; Krause, 2024). Nesse contexto, embora o ecossistema cripto tenha se expandido, o Bitcoin permanece como o ativo de maior destaque por liquidez, profundidade e trajetória de adoção.

O Bitcoin emergiu como uma proposta de dinheiro eletrônico ponto a ponto (*peer-to-peer electronic cash*), sem intermediários, que resolve o problema do gasto duplo (*double spending*) por meio de uma cadeia de blocos (*blockchain*) — um registro público e imutável de transações — validada por um mecanismo de prova de trabalho (*proof-of-work*), ancorado em incentivos econômicos aos validadores. Conforme descreveu Nakamoto (2008), trata-se de “*a purely peer-to-peer version of electronic cash*” que dispensa a confiança em instituições financeiras.



No plano financeiro, há evidências de baixa correlação com ativos tradicionais e de ganhos marginais de eficiência quando o Bitcoin é incluído em pequenas parcelas de carteiras bem diversificadas (Liew; Hewlett, 2017; Kajtazi; Moro, 2019). Em termos de dinâmica de retornos, estratégias simples como o time-series momentum sugerem previsibilidade de curto prazo e melhoria no perfil risco-retorno (Hong, 2017).

A entrada de derivativos listados e a possibilidade de realizar operações vendidas (*short selling*) contribuíram para maior eficiência informacional e liquidez (Köchling; Müller; Posch, 2019). Já a difusão dos fundos de investimento listados (*exchange-traded funds – ETFs*) — primeiro baseados em contratos futuros e, depois, no mercado à vista (*spot*) — ampliou o acesso regulado e reconfigurou a base de participantes, com papéis distintos entre *hedge funds* (fundos privados que utilizam estratégias complexas e sofisticadas e emissores diversos (Chen; Xu; Yang, 2025; Krause, 2024).

Esse avanço, contudo, convive com críticas e ressalvas: questionam-se a alta volatilidade, a ausência de lastro e potenciais efeitos distributivos adversos, além de assimetrias informacionais persistentes (Bindseil; Schaaf, 2024). Em paralelo, estudos indicam que o interesse por Bitcoin pode contagiar outros mercados em fases de euforia e, em períodos de estresse, alternar entre comportamento de maior apetite ao risco (*risk-on*) e diversificação parcial (Bazán-Palomino, 2023).

No Brasil, a literatura permanece incipiente e concentrada em aspectos jurídicos e de compliance (Campos, 2024), acompanhada por avanços regulatórios e debates sobre lavagem de dinheiro (PL/COAF), identificação de clientes (KYC/AML) e governança (Romeiro, 2022; Fernandes; Zani, 2024). Há, ainda, evidências de que informação e educação financeira aumentam a propensão à adoção (Gomes; Sant’Anna, 2021), enquanto a discussão sobre reserva de valor se intensifica em ambientes de instabilidade econômica (Silva; Jorge, 2024).

Diante disso, o acompanhamento desse mercado pelos fundos de pensão — atento à governança, à custódia e à regulação — mostra-se pertinente, dado o potencial de diversificação. Tal acompanhamento, no entanto, deve ocorrer com parcimônia, em razão das elevadas volatilidade e incertezas. Em doses modestas, a literatura aponta melhorias no retorno ajustado ao risco sem perda relevante de estabilidade (Soland; Schueffel, 2021), o que pode contribuir para aumentar a resiliência das carteiras diante de choques locais e reforçar o compromisso das entidades de previdência com a preservação e o crescimento sustentável do patrimônio dos participantes.

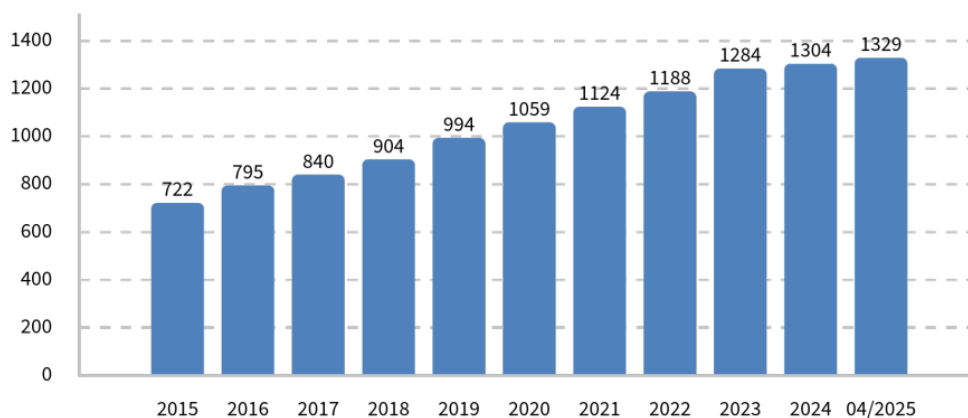


4 FUNDOS DE PENSÃO

Os fundos de pensão exercem papel relevante na economia global, administrando grandes volumes de ativos para garantir segurança financeira de longo prazo a milhões de participantes, além de atuarem como investidores estratégicos em infraestrutura, energia e inovação (Clark, 2016; Fichtner, 2020). Em abril de 2023, os ativos dos 22 maiores mercados de previdência complementar somaram US\$ 55,7 trilhões, equivalentes a 68,7% do PIB desses países (Thinking Ahead Institute, 2024).

No Brasil, as EFPC, regulamentadas em 1977, são fundamentais ao sistema previdenciário complementar. Sem fins lucrativos e voltadas para planos coletivos, essas entidades garantem estabilidade financeira aos participantes. Em abril de 2025, existiam 270 EFPC, com mais de 3,2 milhões de participantes ativos, mais de 600 mil assistidos e mais de 200 mil pensionistas. A evolução do ativo total dessas entidades entre 2015 e abril de 2025 é apresentada na Figura 1, demonstrando crescimento contínuo até atingir R\$ 1,32 trilhão — cerca de 13% do PIB nacional (PREVIC, 2025).

Figura 1 – Evolução temporal ativo total em R\$ bilhões – 2015 a 04/2025



Fonte: PREVIC (2025).

Apesar desse crescimento, a Figura 2 evidencia uma redução gradual na quantidade de EFPC nos últimos anos, reflexo da maturação dos planos, da complexidade regulatória e do movimento de consolidação setorial apontado (Teixeira; Rodrigues, 2021).



Figura 2 – Quantidade de EFPC e ativo total

Patrocínio Predominante	2021		2022		2023		2024		Abril/2025	
	Quantidade EFPC	Ativo Total (R\$ bilhões)	Quantidade EFPC	Ativo Total (R\$ bilhões)	Quantidade EFPC	Ativo Total (R\$ bilhões)	Quantidade EFPC	Ativo Total (R\$ bilhões)	Quantidade EFPC	Ativo Total (R\$ bilhões)
1 - Privado	176	438,26	176	459,6	174	488,96	176	544,75	176	543,33
2 - Público	82	674,35	81	716,63	80	781,21	75	744,63	75	770,81
- Federal	34	597,74	33	635,19	33	693,27	28	654,14	28	678,69
- Estadual	34	73,18	34	77,59	34	84	34	86,07	34	87,40
- Municipal	14	3,43	14	3,85	13	3,94	13	4,42	13	4,72
3 - Instituidor	21	11,18	21	11,87	21	13,38	19	14,78	19	15,39
Total	279	1.123,79	278	1.188,10	275	1.283,55	270	1.304,16	270	1.329,53

Fonte: PREVIC (2025).

Iniciativas como os “planos família”, abertos à adesão sem vínculo empregatício, buscam ampliar a escala das EFPC, mas enfrentam forte concorrência das entidades abertas (EAPC) e das insurtechs, que apresentam maior agilidade comercial. Isso demanda modernização da gestão e estratégias eficientes de investimento para equilibrar risco e retorno em diferentes horizontes temporais (Diniz; Corrar, 2017).

Considerando a relevância das EFPC para o sistema previdenciário e econômico, a discussão sobre ativos digitais passa a integrar o debate contemporâneo sobre diversificação e gestão de longo prazo. Embora as restrições regulatórias atuais impeçam a alocação direta em criptomoedas, o avanço das estruturas de custódia e dos instrumentos regulados, como os ETFs de Bitcoin, sinaliza um movimento global de institucionalização e amadurecimento do mercado (Krause, 2024). Assim, a observação atenta desse fenômeno torna-se essencial para que as entidades compreendam seus impactos potenciais e estejam preparadas para avaliar, no futuro, mecanismos prudentes de exposição indireta, capazes de ampliar oportunidades de diversificação e reforçar a resiliência das reservas previdenciárias diante de choques econômicos e de transformações financeiras estruturais.

4.1 REGULAMENTAÇÃO DE INVESTIMENTOS DAS EFPC

A regulamentação dos investimentos das EFPC no Brasil evoluiu nas últimas décadas visando segurança, rentabilidade e solvência, acompanhando o amadurecimento do setor (Cerqueira *et al.*, 2017). Atualmente, a Resolução CMN nº 4.994/2022 define princípios e limites para aplicação dos recursos dos planos administrados pelas EFPC, destacando critérios como segurança, rentabilidade, liquidez, solvência e adequação às obrigações atuariais, além de reforçar deveres fiduciários como diligência e transparência.



Cada plano das EFPC deve possuir uma política própria de investimentos com horizonte mínimo de cinco anos e revisão anual, alinhada às características e obrigações futuras dos planos. A regulamentação segmenta os investimentos em renda fixa, renda variável, estruturados, imobiliários, operações com participantes e aplicações no exterior.

Apesar da permissão regulatória para ampla diversificação — até 70% em renda variável, 20% em estruturados, 20% em imóveis, 15% em operações com participantes e 10% no exterior — a maioria dos recursos ainda está concentrada na renda fixa (83,24%), refletindo juros historicamente elevados no Brasil e preferência por segurança e liquidez (PREVIC, 2025). Cerca de 12% estão alocados em renda variável, enquanto o restante está distribuído nos demais segmentos.

Para aplicações internacionais, a legislação estabelece critérios rigorosos, incluindo grau de investimento, histórico de performance dos fundos e experiência mínima dos gestores, garantindo prudência. Além disso, embora o limite específico para investimentos no exterior seja de 10%, a regulamentação permite ampliar essa exposição até 20% por meio de instrumentos classificados como renda variável, mas que são lastreados em ativos internacionais, como BDRs níveis II e III e ETFs estrangeiros listados no Brasil.

A legislação brasileira veda expressamente a alocação em ativos virtuais, de qualquer natureza, tanto de forma direta quanto indireta, inclusive por meio de fundos de investimento que detenham tais ativos em suas carteiras. A Resolução CMN nº 5.202/2025, que atualiza o marco prudencial do setor, reforça essa vedação ao proibir investimentos em criptoativos, refletindo a postura conservadora e a ênfase na segurança, rastreabilidade e solvência das reservas previdenciárias.

Embora essa restrição esteja em linha com o princípio da prudência fiduciária, que orienta as EFPC a priorizarem ativos com liquidez comprovada, histórico de desempenho e precificação transparente, ela também evidencia o risco de distanciamento das entidades em relação à evolução dos mercados financeiros globais. À medida que instrumentos regulados, como ETFs de criptoativos, se consolidam no exterior, torna-se relevante o monitoramento contínuo desse movimento para que o sistema previdenciário brasileiro possa avaliar, com base em evidências, formas seguras e graduais de exposição a novas classes de ativos, equilibrando prudência, inovação e sustentabilidade de longo prazo.



5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa quantitativa, aplicada, descritiva, ex post facto e de abordagem empírico-analítica (Martins; Lintz, 2007; Hair et al., 2019; Creswell; Creswell, 2023). Seu objetivo principal é avaliar o efeito potencial da inclusão do Bitcoin sobre a eficiência e o equilíbrio risco-retorno dos portfólios das Entidades Fechadas de Previdência Complementar (EFPC), com base no modelo média-variância da Teoria Moderna do Portfólio (Markowitz, 1952) e no Índice de Sharpe (Sharpe, 1966).

Para tanto, utiliza-se uma amostra representativa das Entidades Fechadas de Previdência Complementar (EFPC) com base nos dados consolidados do Relatório 2025 da Previdência Complementar Fechada (PREVIC, 2025), considerando a posição agregada das entidades em abril de 2025. A metodologia emprega dados históricos de retorno, volatilidade e correlação entre as principais classes de ativos que compõem a carteira consolidada das EFPC e o ativo digital Bitcoin, limitado a 5% da composição total, com o propósito de estimar seu impacto hipotético sobre a fronteira eficiente e a relação risco-retorno dos portfólios.

São consideradas duas janelas temporais distintas: uma de médio prazo (31/12/2020 a 30/04/2025) e outra de longo prazo (31/12/2010 a 30/04/2025), abrangendo o período máximo disponível de dados. Em ambas as janelas, são realizadas duas abordagens complementares de otimização — a primeira voltada à maximização do retorno esperado e a segunda à minimização da volatilidade —, permitindo observar, de forma temporal e comparativa, os *trade-offs* entre risco e retorno.

Como extensão das análises, são simuladas cinco carteiras ótimas distribuídas ao longo da fronteira eficiente, incorporando cenários contrafactuais de alocação em Bitcoin variando de 0% a 5% do portfólio total. O limite máximo de 5% foi adotado para representar uma estratégia parcimoniosa de exposição, condizente com a natureza previdenciária de longo prazo e com o princípio da prudência fiduciária que rege as decisões de investimento das EFPC.

Para garantir robustez e replicabilidade, são utilizados índices financeiros amplamente reconhecidos e padronizados metodologicamente, ajustados para retornos diários uniformes. As simulações e otimizações são executadas na plataforma Quantum Axis, ferramenta consolidada no mercado pela precisão e consistência nos cálculos financeiros.



Por fim, as carteiras otimizadas são avaliadas por meio do Índice de Sharpe e do *Value at Risk* (VaR). O Índice de Sharpe possibilita uma análise objetiva da eficiência ajustada ao risco, ao mensurar o retorno excedente em relação à volatilidade, enquanto o VaR estima a perda potencial máxima esperada para um determinado nível de confiança e horizonte temporal, oferecendo uma medida adicional do risco de cauda e da exposição a eventos extremos. As carteiras resultantes são então comparadas à meta atuarial IPCA + 6% ao ano, parâmetro amplamente utilizado pelas EFPC para assegurar o equilíbrio atuarial entre ativos e passivos (Santana; Da Costa, 2017). Dessa forma, as decisões metodológicas e as etapas do estudo são claramente definidas, garantindo uma análise consistente, transparente e alinhada aos objetivos propostos.

5.1 SELEÇÃO DE ÍNDICES PROXY

Para este estudo, foram selecionados índices de mercado que funcionam como *proxies* representativas dos segmentos analisados. Uma *proxy* de mercado é um indicador estatístico utilizado para representar o comportamento de um grupo específico de ativos ou segmento, servindo como parâmetro para avaliar o desempenho ou risco dessa classe de investimentos (Investopedia, 2024b). A seleção dessas *proxies* levou em conta critérios de representatividade, consistência metodológica e aderência às características dos ativos das carteiras das EFPC, permitindo padronização e robustez nas simulações.

Com base no Relatório 2024 da Previdência Complementar Fechada (PREVIC, 2025), foi possível detalhar a composição das EFPC, atribuindo um índice *proxy* (*benchmark*) para cada segmento, conforme expresso na Figura 3.

Figura 3 – Alocação detalhada das EFPC em abril de 2025 e benchmarks

Segmento	R\$ (Milhões)	% Total	Lim. Legal	Proxy
Renda Fixa	1.040.261	83,24%	100,00%	RF EFPC
Renda Variável	109.328	8,75%	70%	Ibovespa
Investimentos Estruturados	16.099	1,29%	20%	IHFA
Imobiliário	38.601	3,09%	20%	IFIX
Operações com Participantes	26.267	2,10%	15%	IPCA + 8%
Investimentos no Exterior	19.213	1,54%	10%	MSCI World
Total	1.249.769	-	-	-

Fonte: Adaptado de PREVIC (2025).

Para o segmento de renda fixa, a alocação em títulos públicos indexados ao IPCA foi subdividida por maturidade, representada pelos índices IMA-B 5 (vencimentos entre um e cinco anos) e IMA-B 5+ (vencimentos superiores a cinco anos), refletindo



diferenças significativas em termos de *duration* e volatilidade. Os ativos de curto prazo, títulos públicos federais com prazo inferior a um ano e operações compromissadas foram representados pelo índice IMA-S, enquanto títulos privados receberam como *proxy* o índice IDA-Geral. A partir dessas *proxies* individuais foi construído o índice composto "RF EFPC", ponderado pela participação relativa dos ativos, refletindo a alocação efetiva das EFPC, composta a partir de estudos de *Asset Liability Management*, que buscam compatibilizar fluxos futuros entre ativos e passivos.

A Figura 4 apresenta a alocação detalhada do segmento de renda fixa em abril de 2025.

Figura 4 – Alocação detalhada do segmento de renda fixa em abril de 2025

Subsegmento RF	R\$ (Milhões)	% RF	Benchmark	% RF EFPC
Renda Fixa - TPF acima de 5 anos	488.719	46,98%	IMA-B 5+	46,98%
Renda Fixa - TPF entre 3 e 5 anos	124.533	11,97%	IMA-B 5	30,36%
Renda Fixa - TPF entre 1 e 3 anos	191.245	18,38%		
Renda Fixa - TPF inferior a 1 ano	39.237	3,77%	IMA-S	15,26%
Renda Fixa - Op. compromissadas	119.548	11,49%		
Renda Fixa - Título Privado	76.979	7,40%	IDA-Geral	7,40%
Total	1.040.261	-	-	-

Fonte: Adaptado de PREVIC (2025).

Para renda variável, utilizou-se o índice Ibovespa, principal referencial do mercado acionário brasileiro, com metodologia padronizada e composição teórica diversificada, amplamente reconhecido como *benchmark* do segmento (B3, 2024a). No caso dos investimentos estruturados, adotou-se o IHFA, índice que reflete o desempenho médio dos fundos multimercados brasileiros (ANBIMA, 2024). Os fundos de investimento em participações foram excluídos da análise, devido à sua baixa representatividade — por motivos regulatórios e reputacionais (Leal *et al.*, 2018) — e à inexistência de um *benchmark* que represente adequadamente essa subclasse.

No segmento imobiliário, apesar de a maior parte da carteira estar alocada em imóveis físicos, utilizou-se o IFIX, pois novos investimentos diretos estão vedados pela regulação atual. O IFIX representa uma carteira diversificada de fundos imobiliários, incluindo fundos de tijolo, papel e híbridos (B3, 2024b).

Para o segmento de operações com participantes, adotou-se a *proxy* IPCA + 8%, com base na rentabilidade histórica observada (PREVIC, 2025) e em dados das dez maiores EFPC, refletindo o retorno médio real praticado nessas operações.



A exposição atual ao segmento de investimentos no exterior das EFPC foi representada pelo índice MSCI World. Essa escolha se deve à ausência de detalhamento da composição desse segmento no Relatório 2024 da Previdência Complementar Fechada (PREVIC, 2025) e à ampla utilização desse índice como referência global de renda variável em mercados desenvolvidos (Investopedia, 2024c).

Embora o Bitcoin não se enquadre em nenhum dos segmentos de alocação definidos pela regulamentação — uma vez que sua aplicação é vedada às EFPC —, neste estudo ele foi incluído apenas de forma contrafactual, com o objetivo de avaliar seus efeitos hipotéticos sobre a eficiência dos portfólios. Utilizou-se a cotação do Bitcoin em dólares (BTC/USD), por refletir de maneira mais fidedigna a precificação internacional do ativo, cuja negociação e liquidez se concentram majoritariamente em mercados externos.

5.2 MODELO DE OTIMIZAÇÃO E SIMULAÇÕES

A otimização de portfólios neste estudo baseia-se no modelo média-variância proposto por Markowitz (1952).

O retorno esperado ($E(R_p)$) do portfólio é definido como a soma ponderada dos retornos esperados dos ativos constituintes, de acordo com suas proporções no portfólio:

$$E(R_p) = \sum_{i=1}^n x_i E(R_i) \quad (1)$$

em que x_i representa o peso do ativo i no portfólio e $E(R_i)$ é o retorno esperado do ativo i .

O risco, por sua vez, é determinado pela variância dos retornos do portfólio (σ_p^2), que incorpora não apenas os riscos individuais dos ativos, mas também as covariâncias entre eles:

$$\sigma_p^2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_i x_j Cov(R_i, R_j) \quad (2)$$

em que x_i e x_j representam os pesos dos ativos i e j no portfólio, respectivamente, e $Cov(R_i, R_j)$ é a covariância entre os retornos dos ativos i e j , refletindo a inter-relação entre eles.



Essa mesma fórmula pode ser representada de forma matricial, o que facilita o cálculo quando lidamos com múltiplos ativos no portfólio. A variância do portfólio (σ_p^2) é dada por:

$$\sigma_p^2 = x^T Q x \quad (3)$$

em que x^T é o vetor transposto dos pesos dos ativos ($x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$) e Q é a matriz de covariância (Σ), cujos elementos diagonais representam as variâncias individuais (σ_{ii}) e os elementos fora da diagonal representam as covariâncias (σ_{ij}) entre os ativos.

A matriz de covariância (Σ) é composta pelas variâncias dos ativos na diagonal principal e pelas covariâncias entre os retornos dos ativos fora da diagonal, como representado a seguir:

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \cdots & \sigma_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \cdots & \sigma_{nn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

em que σ_{ii} representa a variância do ativo i , e σ_{ij} ($i \neq j$) representa a covariância entre os ativos i e j .

O problema da otimização de portfólios pode ser formulado de duas formas principais. Para minimizar o risco para um retorno esperado mínimo (R_{min}), o modelo resolve a seguinte função:

$$\min_x x^T Q x \quad (5)$$

sujeito as seguintes restrições:

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1$$

ou seja, a soma dos pesos dos ativos no portfólio deve ser igual a 1, garantindo que todos os recursos estejam alocados no portfólio;

$$x_i \geq 0, \forall i$$

os pesos individuais dos ativos (x_i) devem ser não negativos, o que significa que não são permitidas vendas a descoberto;

$$x^T \mu \geq R_{min}$$

o retorno esperado do portfólio ($x^T \mu$) deve ser maior ou igual ao retorno mínimo desejado (R_{min}).

Alternativamente, para maximizar o retorno esperado ($E(R_p)$) dado um risco máximo permitido (σ_{max}^2), resolve-se o seguinte problema de otimização:



$$\max_x x^T \mu \quad (6)$$

sujeito às mesmas restrições do problema anterior, com a adição da seguinte condição:

$$x^T Q x \leq \sigma_{max}^2$$

essa restrição adicional garante que o risco do portfólio não exceda o limite máximo estabelecido, atendendo ao critério de controle de risco.

A eficiência de cada portfólio ao longo da fronteira será mensurada pelo Índice de Sharpe (Sharpe, 1966), que expressa a razão entre o retorno excedente à taxa livre de risco e a volatilidade do portfólio:

$$IS = \frac{E(R_P) - R_f}{\sigma_P} \quad (7)$$

em que $E(R_P) - R_f$ é o prêmio de risco, ou seja, a diferença entre o retorno esperado do portfólio ($E(R_P)$) e a taxa livre de risco (R_f); e (σ_P) representa o risco total do portfólio.

Um índice de Sharpe mais alto indica que o portfólio é mais eficiente, ou seja, oferece um maior retorno para cada unidade de risco assumido.

Do ponto de vista prático, a construção das fronteiras eficientes considerou os limites máximos de alocação por segmento estabelecidos pela legislação vigente. As exceções foram o segmento de operações com participantes, fixado em 2,10%, por refletir sua estabilidade histórica e a dependência da demanda por empréstimos, e o segmento de investimentos no exterior, cujo limite adotado foi de 20%, uma vez que a norma permite ampliar a exposição em até 10% por meio de ativos contabilizados dentro do segmento de renda variável.

Adicionalmente, foi considerada a inclusão contrafactual de até 5% em Bitcoin, conforme premissa de exposição parcimoniosa já descrita na metodologia. Todas essas condições foram incorporadas ao modelo de otimização, de modo a aproximar as simulações das práticas operacionais e dos limites normativos efetivamente observados pelas EFPC.



6 RESULTADOS

6.1 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

Com o intuito de prover uma visão geral da amostra, as tabelas a seguir apresentam os retornos médios mensais e os desvios-padrão dos retornos mensais dos índices utilizados no estudo, considerando os dois períodos de análise.

O Quadro 1 apresenta os retornos médios mensais e os desvios-padrão dos principais índices que representam os segmentos de alocação das EFPC, conforme a carteira consolidada de abril de 2025, além do próprio Bitcoin.

Quadro 1 – Retorno médio mensal e desvio-padrão

Período	Médio prazo		Longo prazo	
	Retorno	D.P.	Retorno	D.P.
Bitcoin (US\$)	3,94%	64,34%	13,55%	173,20%
Ibovespa	0,37%	17,35%	0,58%	21,26%
IDA-GERAL	0,82%	2,62%	0,85%	2,55%
IFIX	0,37%	9,15%	0,76%	10,67%
IHFA	0,67%	3,97%	0,82%	4,13%
IMA-B 5	0,70%	2,62%	0,88%	2,92%
IMA-B 5+	0,24%	7,58%	0,87%	10,40%
IMA-S	0,84%	1,03%	0,76%	1,01%
MSCI World	0,85%	15,28%	1,43%	15,71%
IPCA + 8%	1,17%	1,48%	1,13%	1,28%
RF-EFPC-25	0,51%	4,31%	0,86%	5,71%

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Observa-se que, no médio prazo (2020–2025), o Bitcoin (US\$) apresentou o maior retorno médio (3,94% a.m.), acompanhado da mais elevada volatilidade entre todos os ativos analisados (64,34% a.m.), confirmando sua natureza altamente especulativa e de risco extremo. Em contraste, os ativos tradicionais mantiveram comportamento mais estável: o IDA-Geral e o IMA-S destacaram-se entre os índices de renda fixa, com retornos de 0,82% e 0,84% a.m., respectivamente, e baixas volatilidades (2,62% e 1,03% a.m.). Entre os ativos de renda variável, o Ibovespa e o IFIX apresentaram retornos moderados (0,37% a.m. cada), mas com maior dispersão dos resultados (17,35% e 9,15% a.m., respectivamente).

No longo prazo (2010–2025), a diferença de desempenho entre os ativos torna-se mais pronunciada. O Bitcoin manteve o maior retorno médio (13,55% a.m.) e também o maior desvio-padrão (173,20% a.m.), evidenciando seu comportamento assimétrico e a concentração dos ganhos em períodos específicos de valorização. Entre os ativos



tradicionais, o MSCI World apresentou desempenho expressivo (1,43% a.m.) e risco moderado (15,71% a.m.), reforçando o papel dos investimentos internacionais na ampliação do retorno ajustado ao risco. Já o IMA-B 5+, representante da renda fixa de longo prazo, mostrou retorno de 0,87% a.m., com volatilidade relativamente elevada (10,40% a.m.), associada à sensibilidade dos títulos prefixados de duração longa às oscilações das taxas de juros.

De modo geral, os resultados confirmam que a renda fixa continua sendo a âncora de estabilidade das carteiras previdenciárias, com destaque para o IMA-S e o IDA-Geral, que exibem baixos níveis de risco e retornos consistentes. Por outro lado, os ativos de maior risco — como o Bitcoin e os índices de renda variável — demonstram potencial expressivo de valorização, mas à custa de forte volatilidade.

6.2 MATRIZES DE CORRELAÇÃO

As matrizes de correlação foram elaboradas a partir das séries históricas dos dois períodos analisados, com o propósito de examinar a interdependência entre os ativos e o potencial de diversificação dos portfólios das EFPC. Os coeficientes de correlação, fundamentais para a modelagem da fronteira eficiente, indicam a intensidade e a direção das relações entre os ativos, sendo que valores mais baixos sugerem maior capacidade de mitigação de risco. A comparação entre os períodos permite observar a estabilidade e as variações nos padrões de comovimento, oferecendo uma visão complementar sobre o comportamento conjunto dos mercados e o efeito potencial da inclusão do Bitcoin nas carteiras previdenciárias.

O Quadro 2 apresenta os coeficientes de correlação referentes ao período de 31/12/2020 a 30/04/2025.

Quadro 2 – Matriz de correlação dos retornos de 31/12/2020 a 30/04/2025

		1	2	3	4	5	6
1	Criptomoeda Bitcoin (US\$)	100	22	6	22	25	1
2	Ibovespa	22	100	20	67	10	-7
3	IFIX	6	20	100	20	-2	-4
4	IHFA	22	67	20	100	7	-2
5	MSCI World	25	10	-2	7	100	-1
6	IPCA + 8%	1	-7	-4	-2	-1	100
7	RF-EFPC-25	5	44	15	44	-12	0

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).



A análise da matriz de correlação para o período de médio prazo revela padrões distintos entre os segmentos de alocação das EFPC e o ativo digital Bitcoin. Entre os principais destaques, observa-se correlação muito baixa entre o Bitcoin (US\$) e os demais ativos da amostra, variando de 0,01 a 0,25, o que confirma sua baixa integração com os mercados tradicionais e reforça seu potencial de diversificação. A correlação ligeiramente mais elevada é observada com o MSCI World (0,25) e com o IHFA (0,22), sugerindo que movimentos de liquidez global e ciclos de apetite por risco (risk-on) podem gerar respostas semelhantes em momentos específicos, embora de forma não estrutural.

No mercado doméstico, destacam-se as correlações moderadas e positivas entre os principais índices brasileiros. O Ibovespa apresenta forte associação com o IHFA (0,67) — coerente com a maior participação de fundos multimercado em renda variável — e correlação relevante com a Renda Fixa EFPC-25 (0,44), refletindo o efeito indireto das condições macroeconômicas sobre ambos os segmentos. A correlação entre Ibovespa e IFIX (0,20) e entre IHFA e IFIX (0,20) indica sinergias pontuais entre os mercados de ações, multimercados e fundos imobiliários, ainda que sem sobreposição completa de comportamento.

O MSCI World mantém correlação praticamente nula com a maior parte dos ativos nacionais, e ligeiramente negativa com a Renda Fixa EFPC-25 (-0,12), o que reforça o caráter independente do desempenho internacional em relação ao ciclo doméstico. Já os ativos de renda fixa local e a proxy IPCA + 8% exibem correlações muito baixas entre si e com os demais segmentos, o que é esperado, dado seu papel de estabilidade e previsibilidade dentro das carteiras previdenciárias.

Em síntese, a matriz evidencia que, apesar das interdependências moderadas entre os ativos domésticos, o Bitcoin e os investimentos internacionais apresentam comportamento amplamente desconectado dos demais componentes da carteira, o que reforça seu potencial teórico como instrumentos de diversificação.

O Quadro 3 apresenta os coeficientes de correlação referentes ao período de 02/10/2010 a 30/04/2025.

Quadro 3 – Matriz de correlação dos retornos de 31/12/2010 a 30/04/2025

		1	2	3	4	5	6
1	Criptomoeda Bitcoin (US\$)	100	13	5	13	11	1
2	Ibovespa	13	100	34	60	22	-2
3	IFIX	5	34	100	37	5	-2
4	IHFA	13	60	37	100	22	2



5	MSCI World	11	22	5	22	100	-1
6	IPCA + 8%	1	-2	-2	2	-1	100
7	RF-EFPC-25	4	46	32	52	-7	1

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

No período estendido (2010–2025), os padrões de correlação entre os ativos tornam-se mais consistentes, refletindo relações estruturais mais estáveis ao longo do tempo. A Criptomoeda Bitcoin (US\$) mantém correlações extremamente baixas com todos os demais ativos, variando entre 0,01 e 0,13, confirmando seu comportamento independente e reforçando seu potencial teórico de diversificação mesmo em horizontes mais longos. A associação levemente positiva com o Ibovespa (0,13) e o IHFA (0,13) sugere que, em determinados momentos de liquidez global e apetite por risco (risk-on), o Bitcoin pode reagir de forma semelhante a ativos de maior volatilidade, mas sem estabelecer um padrão de cointegração estável.

Entre os ativos domésticos, observa-se maior integração entre os mercados de renda variável e multimercado, com correlação de 0,60 entre o Ibovespa e o IHFA, e 0,34 entre o Ibovespa e o IFIX, indicando que as oscilações macroeconômicas e de política monetária tendem a afetar de maneira semelhante esses segmentos. A renda fixa representada pela RF-EFPC-25 também mantém correlações moderadas com os mercados domésticos — 0,46 com o Ibovespa e 0,52 com o IHFA —, refletindo a interdependência entre as condições de juros e o desempenho dos ativos de risco no contexto brasileiro.

O MSCI World permanece pouco correlacionado com os ativos nacionais, com coeficientes entre 0,05 e 0,22, o que demonstra que, mesmo em horizontes longos, os movimentos dos mercados globais ainda oferecem oportunidades de diversificação geográfica para as carteiras previdenciárias. Já a proxy IPCA + 8%, representativa das operações com participantes, mantém correlações próximas de zero ou ligeiramente negativas, coerentes com seu perfil de retorno estável e natureza contratual.

De forma geral, a matriz de correlação de longo prazo confirma que a renda fixa continua atuando como o núcleo estabilizador das carteiras das EFPC, enquanto o Bitcoin e os ativos internacionais preservam baixa interdependência com os mercados locais, reforçando seu potencial de diversificação estrutural.



6.3 FRONTEIRAS EFICIENTES

Conforme exposto, foram estimadas fronteiras eficientes para dois períodos e dois cenários distintos, utilizando as estratégias de minimização da volatilidade e maximização do retorno esperado. Os portfólios gerados foram detalhados quanto às alocações percentuais e aos principais indicadores de desempenho — retorno anualizado, desvio padrão, *Value at Risk* (VaR) e Índice de Sharpe — e comparados ao portfólio atual das EFPC, possibilitando a análise dos ganhos potenciais de eficiência.

A Figura 5 apresenta os resultados consolidados das simulações para o período de 31/12/2020 a 30/04/2025.

Figura 5 – Simulações de fronteiras eficientes – período de 31/12/2020 a 30/04/2025

Ativos	Ret Esperado (% a.a.)	Volatilidade (% a.a.)	Carteira Atual	Otimizações	
			%T	%T Menor D.P.	%T Max. Ret
Criptomoeda Bitcoin (US\$)	59,73	62,28		3,03	4,20
Ibovespa	4,70	18,21	8,75	-	-
IFIX	4,28	5,95	3,09	10,13	5,48
IHFA	8,33	3,60	1,29	20,00	20,00
MSCI World	11,35	18,02	1,54	7,01	7,52
IPCA + 8%	14,97	0,32	2,10	2,10	2,10
RF-EFPC-25	6,38	4,44	83,23	57,73	60,70
IPCA + 6% (Meta Atuarial)	12,84	0,32			
Retorno do Portfólio	-	-	6,45	8,70	9,45
Desvio Padrão do Portfólio	-	-	4,68	4,07	4,61
V@R	-	-	2,22	1,93	2,19
Spread sobre Meta Atuarial	-	-	-6,39	-4,14	-3,39
Índice Sharpe do Portfólio	-	-	1,46	2,14	2,19
Alocação Cripto	-	-	-	3,03	4,20

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise das simulações realizadas para o período de médio prazo (2020–2025) evidencia que a inclusão controlada do Bitcoin, limitada a 5% do portfólio, contribui para a melhora da eficiência das carteiras previdenciárias, mesmo diante de sua elevada volatilidade individual. A carteira atual das EFPC apresenta retorno anualizado estimado em 6,45%, com desvio-padrão de 4,68% e *Value at Risk* (VaR) de 2,22%, resultando em um índice de Sharpe de 1,46 e spread negativo de 6,39 pontos percentuais em relação à meta atuarial de IPCA + 6% ao ano. Esses resultados refletem o perfil conservador e historicamente defensivo das carteiras, fortemente concentradas em renda fixa (83,23%), o que garante estabilidade e liquidez, mas restringe o potencial de retorno real.

As otimizações realizadas indicam ganhos consistentes de eficiência. Na fronteira de menor desvio-padrão, o retorno esperado do portfólio eleva-se para 8,70% ao ano, enquanto o risco total diminui para 4,07%, com VaR de 1,93% e índice de Sharpe de 2,14. Já no cenário de máxima rentabilidade, o retorno projetado atinge 9,45% ao ano, com



desvio-padrão de 4,61% e VaR de 2,19%, resultando em índice de Sharpe de 2,19. Em ambas as configurações, o spread negativo em relação à meta atuarial é reduzido de -6,39 p.p. na carteira atual para -4,14 p.p. na carteira de menor risco e -3,39 p.p. na carteira de maior retorno, demonstrando uma melhora substancial na relação risco-retorno das carteiras simuladas.

A composição das carteiras otimizadas evidencia um processo de reequilíbrio em direção a uma estrutura mais diversificada, com redução gradual da renda fixa — de 83,23% para cerca de 58% a 61% — e aumento da participação de ativos de maior retorno potencial e baixa correlação, como o IHFA (20%), o IFIX (entre 5% e 10%) e o MSCI World (aproximadamente 7% a 8%). O Bitcoin, por sua vez, apresenta participação ótima de 3,03% na fronteira de menor risco e 4,20% na de máximo retorno, sugerindo que pequenas alocações no ativo digital podem contribuir para deslocar positivamente a fronteira eficiente.

Esses resultados confirmam que, mesmo com volatilidade elevada e comportamento não linear, o Bitcoin exerce papel marginalmente favorável na eficiência dos portfólios previdenciários, ao ampliar o retorno esperado sem aumento proporcional de risco. Ainda assim, sua contribuição deve ser interpretada de forma parcimoniosa e experimental, compatível com a natureza de longo prazo e com o princípio da prudência fiduciária que orienta as decisões de investimento das EFPC. Assim, a exposição ao ativo digital se mostra relevante apenas em níveis reduzidos e devidamente controlados, mais como elemento de diversificação adicional do que como componente central da alocação estratégica.

A Figura 6 apresenta os resultados consolidados das simulações para o período de 31/12/2010 a 31/12/2025.

Figura 6 – Simulações de fronteiras eficientes – período de 31/12/2010 a 30/04/2025

Ativos	Ret Esperado (% a.a.)	Volatilidade (% a.a.)	Carteira Atual	Otimizações	
			%T	%T por Retorno	%T por Vol
Criptomoeda Bitcoin (US\$)	249,67	86,62	-	2,73	0,91
Ibovespa	7,73	23,47	8,75	-	-
IFIX	9,33	7,93	3,09	15,72	18,31
IHFA	10,32	3,95	1,29	20,00	20,00
MSCI World	19,00	17,12	1,54	8,58	7,96
IPCA + 8%	14,41	0,28	2,10	2,10	2,10
RF-EFPC-25	10,83	5,95	83,23	50,86	50,72
IPCA + 6% (Meta Atuarial)	12,29	0,28			
Retorno do Portfólio	-	-	10,71	17,80	13,34
Desvio Padrão do Portfólio	-	-	6,32	5,19	4,61
V@R	-	-	3,00	2,46	2,19
Spread sobre Meta Atuarial	-	-	-1,58	5,51	1,05
Índice Sharpe do Portfólio	-	-	1,69	3,43	2,89
Alocação Cripto	-	-	-	2,73	0,91

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).



A análise de longo prazo (2010–2025) confirma e amplia as evidências observadas na janela mais curta, reforçando o potencial da diversificação intertemporal e a contribuição marginal do Bitcoin para a eficiência dos portfólios previdenciários. Nesse horizonte, a carteira atual das EFPC apresenta retorno médio anualizado de 10,71%, com desvio-padrão de 6,32% e Value at Risk (VaR) de 3,00%, resultando em índice de Sharpe de 1,69 e spread negativo de 1,58 ponto percentual em relação à meta atuarial de IPCA + 6% ao ano. Embora o desempenho médio seja superior ao observado no período de médio prazo, o portfólio ainda reflete forte concentração em renda fixa (83,23%), o que limita ganhos adicionais de eficiência.

As otimizações de longo prazo indicam ganhos expressivos tanto em retorno quanto em estabilidade. Na fronteira voltada à maximização do retorno, o portfólio alcança rendimento esperado de 17,80% ao ano, com desvio-padrão de 5,19% e VaR de 2,46%, superando amplamente a meta atuarial (spread de +5,51 p.p.) e apresentando índice de Sharpe de 3,43. Já na fronteira de mínima volatilidade, o retorno estimado é de 13,34% ao ano, com risco de 4,61%, VaR de 2,19% e Sharpe de 2,89, o que também representa melhora substancial em relação à carteira atual, tanto em eficiência ajustada ao risco quanto em margem sobre a meta atuarial (+1,05 p.p.).

A composição das carteiras otimizadas reforça a tendência de diversificação observada na simulação anterior. A renda fixa mantém papel predominante, mas reduz sua participação para cerca de 51% do total, abrindo espaço para ativos de maior retorno esperado e correlação reduzida, como o IHFA (20%), o IFIX (entre 15% e 18%) e o MSCI World (aproximadamente 8%). O Bitcoin aparece novamente com participação marginal — variando de 0,91% na fronteira de menor risco a 2,73% na de maior retorno —, sugerindo que pequenas alocações no ativo digital continuam a deslocar positivamente a fronteira eficiente, ainda que de forma modesta, contribuindo para ganhos incrementais de retorno sem aumento proporcional de volatilidade.

Esses resultados indicam que, no longo prazo, o papel do Bitcoin como ativo de diversificação se consolida de forma mais consistente, especialmente quando integrado em proporções reduzidas a carteiras já diversificadas. Apesar de seu comportamento altamente volátil e de características ainda distantes do perfil tradicional de investimentos previdenciários, o ativo demonstra capacidade de ampliar a eficiência global do portfólio, sobretudo em contextos de juros reais decrescentes e maior integração entre os mercados financeiros. Ainda assim, a evidência empírica reforça a necessidade de uma abordagem



cautelosa: a inclusão de ativos digitais deve ser restrita, experimental e acompanhada de parâmetros de controle rigorosos, de modo a preservar os princípios de segurança, solvência e prudência fiduciária que regem a gestão das EFPC.

6.4 CARTEIRAS ÓTIMAS ALTERNATIVAS

Para complementar as análises, foram simuladas cinco carteiras ótimas em cada período, explorando diferentes pontos da curva eficiente. O objetivo foi observar o comportamento da alocação em Bitcoin ao longo do gradiente risco-retorno e seu impacto no desempenho dos portfólios.

A Figura 7 apresenta os resultados consolidados dessas simulações para o período de 31/12/2020 a 30/04/2025.

Figura 7 – Simulações de dez portfólios ótimos – período de 31/12/2020 a 30/04/2025

Portfólio Atual x Otimizados						
Resumo	Atual	Port 1	Port 2	Port 3	Port 4	Port 5
Alocação em Cripto (%)	0	0	1,53	3,03	4,52	5
Retorno (%)	6,45	6,79	7,75	8,7	9,65	10,61
Desvio Padrão (%)	4,68	3,24	3,53	4,07	4,77	5,98
VaR (%)	2,22	1,54	1,68	1,93	2,27	2,84
Índice Sharpe	1,46	2,1	2,19	2,14	2,02	1,77

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise das cinco carteiras ótimas no período de médio prazo (2020–2025) mostra que pequenas alocações em Bitcoin contribuem para ganhos marginais de eficiência sem ampliação significativa do risco. O portfólio atual das EFPC, sem exposição a criptoativos, apresenta retorno de 6,45% ao ano, desvio-padrão de 4,68% e índice de Sharpe de 1,46. Na medida em que o Bitcoin é introduzido, observa-se elevação progressiva dos retornos e estabilidade relativa do risco: com 1,53% de alocação (Portfólio 2), o retorno sobe para 7,75% e o Sharpe atinge 2,19; com 3,03% (Portfólio 3), o retorno chega a 8,7% com Sharpe de 2,14.

A partir de 4,5% de exposição, o ganho marginal diminui e o risco aumenta de forma mais acentuada: o desvio-padrão cresce de 4,07% (Port. 3) para 5,98% (Port. 5), enquanto o índice de Sharpe recua para 1,77. Esses resultados indicam que o ponto ótimo de eficiência ocorre entre 2% e 3% de Bitcoin, faixa em que o portfólio maximiza o retorno ajustado ao risco. Assim, a inclusão parcimoniosa do ativo digital amplia a fronteira eficiente, mas alocações superiores a esse intervalo tornam-se contraproducentes para estratégias previdenciárias orientadas pela prudência fiduciária.



A Figura 8 apresenta os resultados consolidados dessas simulações para o período de 31/12/2010 a 31/04/2025.

Figura 8 – Simulações de cinco portfólios ótimos – período de 31/12/2010 a 30/04/2025

Portfólio Atual x Otimizados						
Resumo	Atual	Port 1	Port 2	Port 3	Port 4	Port 5
Alocação em Cripto (%)						
Retorno (%)	10,71	11,12	14,46	17,8	21,14	24,48
Desvio Padrão (%)	6,32	4,51	4,71	5,19	5,87	7,21
VaR (%)	3	2,14	2,24	2,46	2,79	3,42
Índice Sharpe	1,69	2,47	3,07	3,43	3,6	3,4

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

A análise das simulações de longo prazo (2010–2025) reforça os resultados obtidos no horizonte mais curto, indicando ganhos expressivos de eficiência à medida que o portfólio se torna mais diversificado e incorpora gradualmente pequenas exposições a Bitcoin. O portfólio atual das EFPC apresenta retorno de 10,71% ao ano, desvio-padrão de 6,32% e índice de Sharpe de 1,69.

Nas carteiras otimizadas, observa-se melhora simultânea de retorno e redução de risco, com o índice de Sharpe aumentando de forma consistente até o quarto portfólio. A eficiência cresce de 2,47 (Port. 1) para 3,60 (Port. 4), enquanto o retorno evolui de 11,12% para 21,14% ao ano, com variações modestas no desvio-padrão (de 4,51% a 5,87%) e controle do risco extremo (VaR entre 2,14% e 2,79%).

A partir do Portfólio 5, observa-se um leve declínio na eficiência marginal — embora o retorno máximo atinja 24,48% ao ano, o índice de Sharpe recua para 3,40, sugerindo que níveis mais altos de risco começam a superar os ganhos adicionais de retorno. Assim, o ponto ótimo de equilíbrio ocorre entre os portfólios 3 e 4, faixa em que o portfólio combina expansão de retorno e estabilidade de risco, demonstrando que exposições moderadas a criptoativos podem ampliar a fronteira eficiente sem comprometer o perfil prudencial das carteiras previdenciárias.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo evidenciam que, mesmo sob premissas conservadoras, a inclusão limitada do Bitcoin pode contribuir para a eficiência dos portfólios das Entidades Fechadas de Previdência Complementar (EFPC), ao ampliar o retorno esperado sem aumento proporcional de risco. Esses achados empíricos convergem com evidências anteriores da literatura, que apontam o potencial de diversificação do ativo e sua baixa



correlação com os mercados tradicionais (Liew; Hewlett, 2017; Kajtazi; Moro, 2019; Soland; Schueffel, 2021).

Nos dois horizontes analisados, observou-se que pequenas alocações — entre 2% e 3% — deslocam positivamente a fronteira eficiente, em linha com a ideia de “diversificação marginal eficiente” discutida por Krause (2024) e Chen, Xu e Yang (2025), que destacam a crescente integração do Bitcoin aos portfólios institucionais em contextos regulatórios mais maduros. No curto prazo, os efeitos foram sutis, mas no longo prazo tornaram-se mais expressivos, reforçando a visão de que a consolidação da infraestrutura de mercado e o aumento da liquidez tendem a reduzir o caráter especulativo e ampliar o uso do ativo como instrumento de diversificação (Cerutti; Chen; Hengge, 2025).

Por outro lado, as ressalvas teóricas permanecem pertinentes. A elevada volatilidade, a ausência de lastro e a incerteza regulatória — destacadas por Bindseil e Schaaf (2024) — reforçam a necessidade de uma abordagem prudente e de longo prazo, especialmente no contexto previdenciário. Assim, mais do que uma recomendação de alocação, as simulações aqui apresentadas configuram um exercício exploratório que sugere, de forma contrafactual, que a exposição controlada a ativos digitais poderia gerar ganhos marginais de eficiência, desde que acompanhada de mecanismos robustos de governança e compliance.

De modo geral, as evidências encontradas contribuem para o debate sobre inovação financeira e gestão previdenciária ao articular empiricamente a discussão teórica sobre a institucionalização do Bitcoin. O amadurecimento regulatório e tecnológico do ecossistema cripto poderá, no futuro, permitir que as EFPC explorem novas fontes de diversificação global, mantendo o compromisso com a segurança, a solvência e o crescimento sustentável do patrimônio dos participantes.

Como limitação, o estudo não considerou o efeito de variações cambiais, tributação, custos de transação ou aspectos operacionais relacionados à custódia de ativos digitais, os quais podem afetar significativamente o desempenho líquido das carteiras. Além disso, o modelo utilizado baseou-se em séries históricas de retornos e correlações, o que não captura choques estruturais ou mudanças abruptas no comportamento dos mercados. Para pesquisas futuras, recomenda-se aprofundar as análises com diferentes horizontes temporais, estratégias de rebalanceamento dinâmico e cenários de estresse,



bem como investigar os efeitos da tokenização de ativos e da crescente integração entre finanças tradicionais e digitais sobre o universo previdenciário.

REFERÊNCIAS

ANBIMA. IHFA – Índice de Hedge Funds ANBIMA. Disponível em: https://www.anbima.com.br/pt_br/informar/precos-e-indices/indices/ihfa.htm. Acesso em: 13 abr. 2025.

B3. Ibovespa. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-amplos/ibovespa.htm. Acesso em: 13 abr. 2025.

B3. Índice de Fundos de Investimentos Imobiliários – IFIX. Disponível em: https://www.b3.com.br/pt_br/market-data-e-indices/indices/indices-de-segmentos-e-setoriais/indice-de-fundos-de-investimentos-imobiliarios-ifix.htm. Acesso em: 13 abr. 2025.

BAZÁN-PALOMINO, Walter. The increased interest in Bitcoin and the immediate and long-term impact of Bitcoin volatility on global stock markets. **Economic Analysis and Policy**, v. 80, p. 1080-1095, 2023.

BINDSEIL, Ulrich; SCHAAF, Jürgen. The distributional consequences of Bitcoin. **Available at SSRN**, 2024.

BLACK, Fischer; SHOLES, Myron. The pricing of options and corporate liabilities. **Journal of political economy**, v. 81, n. 3, p. 637-654, 1973.

CAMPOS, Gevaír. O que tem sido estudado sobre criptomoedas no Brasil: Uma revisão sistemática de literatura. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 4, p. e7413442977-e7413442977, 2024.

CARHART, Mark M. On persistence in mutual fund performance. **The Journal of finance**, v. 52, n. 1, p. 57-82, 1997.

CERQUEIRA, Vitória Sander et al. As alterações regulamentares dos investimentos dos fundos de pensão e sua influência na alocação e rentabilidade. In: CONGRESSO USP DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM CONTABILIDADE, XIV. 2017.

CERUTTI, Eugenio; CHEN, Jiaqian; HENGGE, Martina. A primer on Bitcoin cross-border flows: Measurement and drivers. **Journal of International Money and Finance**, p. 103424, 2025.

CHEN, Yu-Lun; XU, Ke; YANG, J. Jimmy. Market impact of the bitcoin ETF introduction on bitcoin futures. **International Review of Financial Analysis**, v. 97, p. 103810, 2025.

CLARK, Gordon L.; URWIN, Roger. Best-practice pension fund governance. In: **Asset Management: Portfolio Construction, Performance and Returns**. Cham: Springer International Publishing, 2016. p. 295-322.



CONSELHO MONETÁRIO NACIONAL (CMN). **Resolução nº 4.994, de 24 de março de 2022**. Dispõe sobre as diretrizes de aplicação dos recursos garantidores dos planos administrados pelas entidades fechadas de previdência complementar. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 28 mar. 2022. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/estabilidadefinanceira/exibenormativo?numero=4994&tipo=Resolu%C3%A7%C3%A3o+CMN>. Acesso em: 10 dez. 2024.

CRESWELL, John W.; CRESWELL, J. David. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. 6th ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2023.

DEMIGUEL, Victor; GARLAPPI, Lorenzo; UPPAL, Raman. Optimal versus naive diversification: How inefficient is the 1/N portfolio strategy?. **The review of Financial studies**, v. 22, n. 5, p. 1915-1953, 2009.

DINIZ, Josediton Alves; CORRAR, Luiz João. Avaliação da eficiência financeira de entidades fechadas de previdência complementar no Brasil. **Sociedade, Contabilidade e Gestão**, v. 12, n. 3, 2017.

FAMA, Eugene F. Efficient capital markets. **Journal of finance**, v. 25, n. 2, p. 383-417, 1970.

FAMA, Eugene F.; FRENCH, Kenneth R. A five-factor asset pricing model. **Journal of financial economics**, v. 116, n. 1, p. 1-22, 2015.

FAMA, Eugene F.; FRENCH, Kenneth R. Choosing factors. **Journal of financial economics**, v. 128, n. 2, p. 234-252, 2018.

FAMA, Eugene F.; FRENCH, Kenneth R. Common risk factors in the returns on stocks and bonds. **Journal of financial economics**, v. 33, n. 1, p. 3-56, 1993.

FAMA, Eugene F.; FRENCH, Kenneth R. The cross-section of expected stock returns. **the Journal of Finance**, v. 47, n. 2, p. 427-465, 1992.

FERNANDES, Alessandro; ZANI, João. REGULAMENTAÇÃO E DESAFIOS DAS CRIPTOMOEDAS NO BRASIL. **Diké-Revista Jurídica**, v. 23, n. 25, p. 91-105, 2024.

FICHTNER, Jan. The rise of institutional investors. In: **The Routledge international handbook of financialization**. Routledge, 2020. p. 265-275.

HAIR, Joseph F. et al. *Multivariate data analysis (Eighth)*. Cengage Learning EMEA, 2019.

HONG, KiHoon. Bitcoin as an alternative investment vehicle. **Information Technology and Management**, v. 18, n. 4, p. 265-275, 2017.

INVESTOPEDIA. Market Proxy. Disponível em: <https://www.investopedia.com/terms/m/market-proxy.asp>. Acesso em: 13 abr. 2025.

KAHNEMAN, DANIEL; TVERSKY, Amos. Prospect theory: An analysis of decision under risk. **Econometrica**, v. 47, n. 2, p. 363-391, 1979.



KAJTAZI, Anton; MORO, Andrea. The role of bitcoin in well diversified portfolios: A comparative global study. **International Review of Financial Analysis**, v. 61, p. 143-157, 2019.

KÖCHLING, Gerrit; MÜLLER, Janis; POSCH, Peter N. Does the introduction of futures improve the efficiency of Bitcoin?. **Finance Research Letters**, v. 30, p. 367-370, 2019.

KRAUSE, David. Mainstreaming Cryptocurrency: The State of Wisconsin Investment Board's Pioneering Investment in Bitcoin ETFs. **Available at SSRN 4852566**, 2024.

LEAL, Augusto Cesar et al. Os impactos da corrupção nos fundos de pensão. **Revista Brasileira de Previdência**, v. 8, n. 2, p. 211-227, 2018.

LEKOVIĆ, Miljan. Investment diversification as a strategy for reducing investment risk. 2018.

LIEW, Jim Kyung-Soo; HEWLETT, Levar. The case for Bitcoin for institutional investors: Bubble investing or fundamentally sound?. **Available at SSRN 3082808**, 2017.

LINTNER, John. Security prices, risk, and maximal gains from diversification. **The journal of finance**, v. 20, n. 4, p. 587-615, 1965.

LO, Andrew W. The adaptive markets hypothesis: Market efficiency from an evolutionary perspective. **Journal of Portfolio Management, Forthcoming**, 2004.

MANDELBROT, Benoit B. The Variation of Certain Speculative Prices. **The Journal of Business**, v. 36, n. 4, p. 394-419, 1963.

MANDELBROT, Benoit; TAYLOR, Howard M. On the distribution of stock price differences. **Operations research**, v. 15, n. 6, p. 1057-1062, 1967.

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

MARTINS, Gilberto de Andrade; LINTZ, Alexandre Carlos. Guia para elaboração de monografias e trabalhos de conclusão de curso. 2007.

MERTON, Robert C. An intertemporal capital asset pricing model. **Econometrica: Journal of the Econometric Society**, p. 867-887, 1973.

MOSSIN, Jan. Equilibrium in a Capital Asset Market. **Econometrica**, v. 34, n. 4, p. 768-783, 1966.

NAKAMOTO, Satoshi. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. **Available at SSRN 3440802**, 2008.

PREVIC – Superintendência Nacional de Previdência Complementar. **Relatório 2024 da Previdência Complementar Fechada – Agosto 2025**. Brasília: PREVIC, 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/previc/pt-br/publicacoes/relatorio-de-estabilidade-da-previdencia-complementar-rep/relatorio-2024-da-previdencia-complementar-fechada-agosto-2025.pdf/view>. Acesso em: 15 out. 2025.



ROLDOS, Mr Jorge. **Pension reform, investment restrictions and capital markets.** International Monetary Fund, 2004.

ROM, Brian M.; FERGUSON, Kathleen W. Post-modern portfolio theory comes of age. **Journal of investing**, v. 3, n. 3, p. 11-17, 1994.

ROMEIRO, Taissa. POLÍTICAS PÚBLICAS E CRIPTOMOEDAS: MARCO LEGAL DAS CRIPTOMOEDAS. **Revista de Direito da Administração Pública**, v. 1, n. 3, 2022.

ROSS, Stephen. The arbitrage pricing theory. **Journal of Economic Theory**, v. 13, n. 3, p. 341-360, 1976.

RUBINSTEIN, Mark. Markowitz's" portfolio selection": A fifty-year retrospective. **The Journal of finance**, v. 57, n. 3, p. 1041-1045, 2002.

SANTANA, Verônica de Fátima; DA COSTA, Thiago de Melo Teixeira. Taxa de Desconto na Gestao de Ativos e Passivos Previdenciários. **Brazilian Review of Finance**, v. 15, n. 4, p. 631-655, 2017.

SARITAS, Hakan; AYGOREN, Hakan. International indexing as a means of portfolio diversification. **Applied Financial Economics**, v. 15, n. 18, p. 1299-1304, 2005.

SHARPE, William F. A simplified model for portfolio analysis. **Management science**, v. 9, n. 2, p. 277-293, 1963.

SHARPE, William F. Capital asset prices: A theory of market equilibrium under conditions of risk. **The journal of finance**, v. 19, n. 3, p. 425-442, 1964.

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

SHILLER, Robert J. et al. Do stock prices move too much to be justified by subsequent changes in dividends?. 1981.

SHLEIFER, Andrei. Do demand curves for stocks slope down?. **The Journal of Finance**, v. 41, n. 3, p. 579-590, 1986.

SILVA, Daniel Santos da; JORGE, Marco Antonio. Uma análise comparativa entre bitcoin e ouro como reserva de valor. **Pesquisa & Debate Revista do Programa de Pós-Graduação em Economia Política**, v. 36, n. 2 (66), 2024.

SILVA, Raphael Braga; MOREIRA, Roberto Moreno; MOTTA, Luiz Felipe Jacques. Impacto da aplicação em ativos internacionais no desempenho dos Fundos de Pensão no Brasil. **Brazilian Review of Finance**, v. 7, n. 2, p. 237-258, 2009.

SOLAND, Marco; SCHUEFFEL, Patrick. Cryptocurrencies as Pension Fund Components: Smart Move or Drinking the Kool-Aid?. **The Journal of FinTech**, v. 1, n. 02, p. 2150003, 2021.

SORTINO, Frank A.; PRICE, Lee N. Performance measurement in a downside risk framework. **the Journal of Investing**, v. 3, n. 3, p. 59-64, 1994.



TEIXEIRA, Rudolph Fabiano Alves Pedroza; RODRIGUES, Adriano. Economias de escala nas entidades fechadas de previdência complementar brasileiras: existe um tamanho ótimo?. **Revista Contemporânea de Contabilidade**, v. 18, n. 46, p. 97-112, 2021.

THINKING AHEAD INSTITUTE. **Global Pension Assets Study 2024**. London: Thinking Ahead Institute, 2024. Disponível em: <https://www.thinkingaheadinstitute.org/research-papers/global-pension-assets-study-2024/>. Acesso em: 10 dez. 2024.

TOBIN, James. Estimation of relationships for limited dependent variables. **Econometrica: journal of the Econometric Society**, p. 24-36, 1958.

VON NEUMANN, John; MORGENSTERN, Oskar. Theory of games and economic behavior, 2nd rev. 1947.

