

## Impactos da manutenção dos limites de ativos garantidores de (res)seguradoras pela Resolução CMN nº 4.993/2022

### Resumo

A Resolução CMN nº4.993/2022 regula a alocação de ativos garantidores das seguradoras brasileiras, visando estabilidade e liquidez no setor. No entanto, a redução das taxas de juros no Brasil e a volatilidade econômica levantam dúvidas sobre a capacidade da norma em promover portfólios eficientes e diversificados. O objetivo deste estudo é avaliar a eficácia dessa regulação, utilizando alocações simuladas de instrumentos financeiros baseadas no modelo de otimização *mean-CVaR* em cenários com imposições regulatórias e irrestritos de modo contrafactuais, durante períodos de recessão e expansão econômica. Ademais, analisam-se os impactos da flexibilização normativa com a inclusão de ativos alternativos, como criptomoedas e fundos sustentáveis. Os resultados indicam que o modelo regulatório atual assegura a solvência financeira dos portfólios das seguradoras, mas restringe a diversificação em cenários de juros baixos, limitando o potencial de retorno ajustado ao risco em um contexto de significativa redução da taxa Selic, de 14,25% para 2% a.a. em cinco anos. Embora maior permissibilidade em renda fixa ofereça segurança, oportunidades econômicas são subaproveitadas. A inclusão moderada de até 5% em ativos alternativos ampliou as fronteiras eficientes, equilibrando risco e retorno sem comprometer a solvência. O estudo reforça a necessidade de revisões periódicas das normas para alinhá-las às condições econômicas e às demandas de mercado, recomendando ajustes conservadores que aumentem a flexibilidade na alocação de ativos, desde que acompanhados por mecanismos de monitoramento prudenciais. Como perspectivas futuras, sugere-se aprofundar modelos de análise multivariada para desenvolver estratégias dinâmicas e sustentáveis que fortaleçam a resiliência do setor segurador no longo prazo.

**Palavras-chave:** gestão de ativos; impactos regulatórios; diversificação de portfólio; modelos de otimização; *Conditional Value at Risk*.

### 1. Introdução

O mercado segurador brasileiro, composto pelas (res)seguradoras, entidades abertas de previdência complementar e sociedades de capitalização, possui elevada relevância financeira sobre a economia nacional. Afinal, a penetração das receitas financeiras desta indústria no PIB foi de 6,2% em 2023 e a expectativa é que haja expansão para 10% até 2030 (CNSeg, 2023, 2024). Por tratar-se de uma indústria fortemente regulada, essas entidades são investidores institucionais de grande porte (Cardoso et al., 2022) e com grande potencial de propagação de risco sistêmico (Barucca et al., 2021; Carvalho & Guimarães, 2024; Cummins & Weiss, 2014; Elyasiani et al., 2016), de modo que a gestão de ativos é essencial (Diehl et al., 2022; Eckert, 2019). Isso é particularmente importante no país onde há o maior nível de integração estratégica entre bancos e seguradoras (prática conhecida como *bancassurance*) no mundo (Carvalho & Guimarães, 2022; Peng et al., 2017).

Em virtude dessa importância, há elevada preocupação quanto à regulação prudencial dos ativos garantidores das provisões técnicas dessas entidades (E. Flores et al., 2021; Pradhan et al., 2016) e, por isso, um interesse significativo nos parâmetros normativos que regem as admissibilidades de investimentos que lastreiem as operações atuariais assumidas (Carvalho & Carvalho, 2019).

A literatura tem documentado preocupações com a gestão eficiente de ativos para entidades de Previdência Complementar (Duarte et al., 2017; Li & Forsyth, 2019), Seguradoras de Vida (Rao et al., 2018), e mesmo para Seguradoras Não Vida (Badaoui & Fernández, 2013). Em comum, verifica-se o desenvolvimento de métodos teóricos de investimentos que garantam

a solvência de longo prazo dessas entidades ao minimizar suas probabilidades de ruína (Dong & Wang, 2018), embora sejam raros os casos em que se faz a avaliação da efetividade de atos normativos específicos desta indústria (Cardoso et al., 2022; Damasceno & Carvalho, 2021).

No Brasil, a norma atualmente em vigor que rege a alocação admissível de ativos garantidores das provisões técnicas é a Resolução CMN nº4.993/2022 (“RCMN 4993”), em que são mantidos os limites mínimos e máximos de alocação para cada classe de ativos e emissores que (res)seguradoras, entidades abertas de previdência complementar e sociedades de capitalização podem investir seus recursos. Seu objetivo é atender aos ditames do Decreto-Lei nº73/1966 acerca de critérios compulsórios de investimentos em ativos que garantam remuneração adequada, segurança e liquidez.

Inalterados desde 2015, os limites de alocação em ativos financeiros demonstram a rigidez que essas companhias enfrentam mesmo após o registro das menores taxas básicas de juros praticadas no Brasil durante a pandemia, e pode ser entendida como um movimento relevante dos legisladores ao impactar na decisão de investimentos em cenários otimistas ou de stress, tanto em limites quanto nos tipos de ativos permitidos. Essa regulação é particularmente importante em cenários de baixas taxas básicas de juros (Ikeda & Carvalho, 2022), uma vez que são estabelecidos patamares mínimos para títulos pré-fixados, geralmente lastreados na dívida pública federal. A Tabela 1 apresenta os limites de aplicação dos ativos garantidores permitidos pela Resolução CMN nº4.993/2022 por classe de ativo.

**Tabela 1.** Limites máximos de alocação por classe de ativo garantidor em relação aos recursos do plano, de acordo com a Resolução CMN nº4.993/2022.

Classes de Ativos	4.993/2022	Classe
RENDA FIXA (RF) – ATÉ 100%	Títulos Públicos	100% Títulos da Dívida Mobiliária Federal Interna
		100% CRTNs
	Fundos de Investimento	100% Fundos atrelados à Títulos da Dívida Mobiliária Federal Interna
		100% Fundos de Índice de Títulos Públicos
		50% Fundos de Renda Fixa
		50% Fundos de Índice de Renda Fixa
		25% FIDCs (cotas sêniores) e FICFIDCs
		75% Valores Mobiliários ou outros Ativos Financeiros de RF emitidos por companhia aberta
	Outros	75% Debêntures de infraestrutura
		50% Obrigações de IFs autorizadas pelo Bacen
		25% Valores Mobiliários ou outros Ativos Financeiros de RF emitidos por SPE
		25% CRI e CRAs
		25% Obrigações de organizações financeiras das quais o Brasil faça parte
		25% Títulos ou Valores Mobiliários de RF, não previstos anteriormente
RENDA VARIÁVEL	Ações	100% Ações, bônus e recibos de subscrição, certificados de depósito de valores mobiliários e fundos referenciados em ações do Novo Mercado

		<b>75%</b>	Ações, bônus e recibos de subscrição, certificados de depósito de valores mobiliários e fundos referenciados em ações do Nível II
		<b>50%</b>	Ações, bônus e recibos de subscrição, certificados de depósito de valores mobiliários e fundos referenciados em ações do Nível I
		<b>25%</b>	Ações, bônus e recibos de subscrição, certificados de depósito de valores mobiliários e fundos referenciados em ações do Básico
		<b>100%</b>	Fundos atrelados à Ações, bônus e recibos de subscrição, certificados de depósito de valores mobiliários e fundos referenciados em ações do Novo Mercado
		<b>75%</b>	Fundos atrelados à Ações, bônus e recibos de subscrição, certificados de depósito de valores mobiliários e fundos referenciados em ações do Nível II
	Fundos de Investimento	<b>50%</b>	Fundos atrelados à Ações, bônus e recibos de subscrição, certificados de depósito de valores mobiliários e fundos referenciados em ações do Nível I
		<b>50%</b>	Fundos de Índice de Renda Variável
		<b>50%</b>	Fundos Referenciado em Índice de Ações
		<b>25%</b>	Fundos de Ações
	Outros	<b>25%</b>	Debêntures com participações nos lucros
<b>IMÓVEIS – ATÉ 20%</b>	Fundos de Investimento	<b>100%</b>	FII's ou FICFII's
<b>SUJEITOS A VARIAÇÃO CAMBIAL – ATÉ 20%</b>		<b>100%</b>	Títulos da Dívida Mobiliária Federal com remuneração atrelada a cotação da moeda estrangeira
	Títulos Públicos	<b>50%</b>	Títulos e Valores Mobiliários representativos de Dívida Corporativa de Empresas Brasileiras de Capital Aberto
		<b>100%</b>	Fundos de Investimento Cambial
		<b>100%</b>	Fundos de Renda Fixa Dívida Externa
		<b>100%</b>	Fundos de Investimento no Exterior
	Fundos de Investimento	<b>100%</b>	Fundos de Índice em Investimento no Exterior
		<b>100%</b>	Fundos Multimercado cuja política permita compras de ativos/derivativos com risco cambial
		<b>75%</b>	Fundos de Ações - BDR Nível I
		<b>50%</b>	Fundos representativos de Dívida Corporativa de Empresas Brasileiras de Capital Aberto
		<b>100%</b>	COEs com Valor Nominal Protegido
		<b>75%</b>	BDRs
	Outros	<b>25%</b>	Depósitos a prazo fixo (por até 6 meses)
		<b>25%</b>	Certificados de Depósito

		25%	Títulos Emitidos por Governos Centrais de Jurisdições Estrangeiras com rating AA- ou superior
OUTROS – ATÉ 10%	Fundos de Investimento	100%	Fundos Multimercado
		75%	Fundos de Ações – Mercado de Acesso
	Outros	100%	COE com Valor Nominal Protegido
		75%	FIPs
		25%	COE com Valor Nominal em Risco
		25%	RCEs e Créditos de Carbono

Fonte: elaboração própria.

Contudo, não se sabe se a aplicação de recursos nos níveis máximos impostos pela Resolução CMN nº4.993/2022 cumpre seu objetivo precípua, qual seja: permitir a obtenção de maiores retornos financeiros em níveis de riscos toleráveis para a desvalorização de ativos. Portanto, o objetivo principal deste trabalho é analisar se a aplicação de recursos financeiros dos ativos garantidores das provisões técnicas mantidos pelas sociedades é capaz de gerar portfólios suficientemente diversificados, de forma a ampliar as fronteiras eficientes, dadas as alterações econômicas do cenário brasileiro e acesso à investimentos alternativos.

Para viabilizar o estudo, serão estimadas carteiras hipotéticas com o intuito de mimetizar a composição ideal dos ativos dessas entidades que lastreiam seus passivos atuais e futuros, incluindo a adesão de ativos alternativos, em quatro cenários distintos. Os modelos de ALM serão explorados e testados, a fim de verificar a efetividade em duas situações: com e sem a imposição dos limites estabelecidos pela lei local. O método utilizado será o *mean-CVaR*, tal qual foi utilizado com sucesso em estudos anteriores com objetivos similares, em Regimes Próprios de Previdência Social (Damasceno & Carvalho, 2021) e em Entidades Fechadas de Previdência Complementar (Cardoso et al., 2022).

## 2. Referencial Teórico

O tema da otimização das carteiras de investimentos de seguradoras de vida e entidades de previdência complementar é amplamente explorado pela academia devido à natureza intrínseca de longo prazo dos produtos oferecidos por essas instituições, por objetivarem a correta alocação de ativos ao longo do tempo, além de usualmente possuírem metas atuariais definidas (P. Chen et al., 2006; Diehl et al., 2022; Eckert, 2019). Embora menos comum na academia, a análise da eficiência das carteiras de investimentos de seguradoras que oferecem produtos não-vida é de extrema importância, uma vez que essas empresas têm obrigações elevadas no curto prazo, movimentando volumes expressivos de capital (Carvalho & Carvalho, 2019). Em vista disso, a teoria da ruína é bastante explorada no que tange à matemática envolvida na seleção ótima de ativos componentes do balanço patrimonial de seguradoras, principalmente quando diz respeito à criação de uma estratégia eficiente de investimentos num modelo estocástico (Badaoui & Fernández, 2013).

Na perspectiva atuarial, o intuito é encontrar uma solução que minimize a probabilidade de ruína ou insolvência de uma entidade, enquanto na perspectiva econômica, o objetivo é encontrar uma estratégia que maximize a utilidade esperada por meio de funções de produção. Ambas fazem parte da Teoria do Riscos e do Controle Estocástico, mais utilizada para solucionar problemas de alocação multiperíodo (Haberman & Sung, 2005; Yiu, 2004).

Em alguns ramos de seguro não-vida, é possível verificar índices de sinistralidade relativamente estáveis devido ao maior grau de massificação das carteiras. Um exemplo desta característica são os seguros de automóveis (Lopes & Carvalho, 2022), enquanto outros são mais voláteis e demandam estratégias que permitam a realocação dinâmica de recursos e

liquidez em momentos inesperados (Berry-Stölzle, 2008). Ademais, Haneveld et al. (2010) destaca que a incerteza é um elemento primordial na avaliação de entidades que operam em múltiplas linhas, devido à dinâmica própria das carteiras, ensejando diferentes necessidades de retornos de investimentos em ativos garantidores das provisões técnicas. Afinal, a avaliação de obrigações futuras com base no valor de mercado também gera imprevisibilidade no lado do passivo. Compreender a eficiência e a gestão dessas carteiras é, portanto, essencial para garantir a sustentabilidade financeira e a capacidade das seguradoras em cumprir compromissos de curto prazo (Badaoui & Fernández, 2013; Bezerra & Corrar, 2006).

Diversos estudos foram elaborados visando encontrar o método que mais se adequasse à dinâmica idiossincrática dos diversos ramos da indústria de seguros. Alguns buscam um *benchmark* como referência comparativa no que tange à definição de um portfólio ótimo para seguradoras. Van Staden et al (2024) buscaram maximizar a função que define o desempenho de uma carteira dinâmica de investimentos em relação a um referencial para superá-lo e, assim, assegurar a companhia quanto à suficiência de recursos. A literatura sobre a elaboração de estratégias de investimentos que visam o desempenho superior por vezes inclui a função de utilidade implícita ou explicitamente (van Staden et al., 2024) e busca diversidade quanto ao ativo de referência.

Paralelamente, Yu et al. (2012) desenvolveram um algoritmo híbrido que combina *Levenberg-Marquardt*, método de otimização para encontrar o mínimo de uma função (i.e., que descreve riscos em um portfólio de investimentos), com evoluções multiperíodo de uma estratégia para o gerenciamento de ativos no longo prazo em seguradoras. Entretanto, Lim & Wong (2010) argumentam que o desempenho dessas entidades pode ser subestimado ou, por outro lado, superestimado a depender do cenário macroeconômico adotado nesse tipo de abordagem.

Outra aplicação ao setor segurador é a de Lampenius & Schmutz (2013), que demonstraram que uma otimização de ALM, com a inclusão direta do capital de risco em dependência do risco total de um portfólio de investimentos, permite determinar um mínimo global necessário de capital de risco para a companhia. Os resultados mostram a vantagem da gestão de ativos e passivos em relação a gestão pura de ativos, e apontam problemas potenciais ao ignorar a dependência entre eles na determinação do capital de risco.

Nesse contexto, os modelos de ALM despontam como instrumentos essenciais, oferecendo a capacidade de identificar cenários adversos e gerenciar riscos de forma proativa. Destaca-se a flexibilidade desses modelos, juntamente com seu amplo espectro de aplicações, o que permite a análise e captura de diversas exposições à riscos, tais como o de subscrição, crédito, liquidez e mercado (Hurtado, 2008).

Como apontado por Cardoso et al. (2022), a literatura atuarial referente ao uso de modelos ALM em Previdência é recente, apesar de extensa e prolífica em suas avaliações (Andongwisye et al., 2018; Lauria & Consigli, 2017; Toukourou & Dufresne, 2018). Essa tendência decorre da complexidade fundamental do modelo e de sua natureza estocástica, com parâmetros ajustáveis capazes de retratar o comportamento de variáveis econômicas e atuariais tais como taxas de juros, inflação, projeção de preços, taxas de ocorrência de sinistros, dentre outras que, se utilizadas em modelos determinísticos, podem limitar análises amplas (Ribeiro, 2015; Valladão, 2008). Já Pachamano et al., (2017) utilizam ALM com o objetivo de determinar a estratégia de investimento ideal em um fundo de pensão, encontrando retornos financeiros capazes de arcar com o passivo da instituição.

Papayiannis (2023) analisa os efeitos da aplicação dos modelos ALM e sua adequação quanto a cenários de incerteza, principalmente no que tange ao setor financeiro e segurador. Quando em conjunto à programação estocástica, o ALM incorpora facilmente múltiplas fontes

de risco correlacionadas em um quadro comum, tanto para os ativos quanto passivos financeiros. Ademais, possibilita o rebalanceamento dinâmico do portfólio, ao mesmo tempo em que satisfaz restrições operacionais ou regulatórias (Kouwenberg & Zenios, 2008).

Ao utilizarem o modelo ALM em tempo discreto na simulação de balanço patrimonial de seguradoras no ramo Vida, Bohnert et al. (2015) e Gerstner et al. (2008) conseguiram identificar o padrão de comportamento das variáveis referentes aos produtos oferecidos, incluindo suas especificações, para avaliarem: a sensibilidade do portfólio simulado, a relevância e o impacto de seus parâmetros quanto à exposição ao risco em seguradoras. De forma similar, Diehl et al (2023) utiliza ALM para analisar a influência de produtos de vida no balanço patrimonial de seguradoras num cenário de baixa nas taxas de juros e determinar um portfólio que melhor se adeque às possíveis quedas no mercado de capitais, mantendo indicadores favoráveis.

Quando avaliamos cenários de taxas de juros baixas, em que investimentos de menor risco não oferecem retornos atrativos, é essencial que a entidade seja capaz de estrategicamente alocar seus ativos visando maximizar os resultados (Ikeda & Carvalho, 2022). Contudo, é importante ressaltar que existem limitações regulatórias impostas devido à relevância dessas instituições no sistema financeiro, que tornam a avaliação de alternativas para gestão ativa eficiente ainda mais complexa por limitar possibilidades de investimento em ativos garantidores específicos (A. Chen & Hieber, 2016).

Pioneiros na verificação dos limites impostos em Regimes Próprios de Previdência Social e seus impactos no retorno financeiro dessas entidades, Damasceno & Carvalho (2021) usam o modelo de ALM com minimização do CVaR (*Conditional Value at Risk*) para inferir que carteiras de investimento com restrição regulatória por classe de ativos estão expostas ao dobro de volatilidade quando comparados a portfólios construídos sem limitação. Da mesma forma, Cardoso et al. (2022) avaliam a capacidade de entidades fechadas de previdência complementar em atingir retornos financeiros que cubram os passivos atuariais em um cenário de restrição regulatória, também por classe de ativos, e os resultados demonstram alto risco de retornos baixos ou até mesmo negativos no longo prazo – prejuízo absorvidos primordialmente pelos beneficiários desse regime.

A contribuição desse trabalho é, portanto, a utilização da metodologia de ALM trazida e justificada por Cardoso et al. (2022) e Damasceno & Carvalho (2021) na indústria de (res)seguros. Desta forma, avaliamos a capacidade de rentabilização dos ativos garantidos de seguradoras, principalmente em cenários de menores taxas de juros, ao mesmo tempo em que consideramos os impactos de uma flexibilização na legislação.

### **3. Metodologia**

A partir da metodologia de ALM desenvolvida por Damasceno & Carvalho (2021) para avaliar o setor de previdência, adaptaremos o método para a indústria de (res)seguros. A grande diferença entre esses dois segmentos é que a gestão de (res)seguros é, por natureza, de curto prazo. Assim, não há meta atuarial a ser perseguida, apenas a melhor gestão possível dos ativos garantidores, de modo a melhorar a relação risco-retorno no curto prazo.

Esse método é capaz de identificar as composições ideais de portfólios que propiciam a manutenção da solvência das entidades, bem como o impacto que mudanças na alocação em ativos garantidores trazem sobre os resultados financeiros. Também é possível mensurar a probabilidade de resultados desfavoráveis no curto prazo, como feito por Cardoso et al. (2022) para entidades fechadas de previdência complementar.

### 3.1. Razão de Solvência e Retorno Ótimo Estimado

A mensuração da razão de solvência que as entidades (res)seguradoras apresentam no momento  $t = 0$  é dada pela Equação 1. O objetivo é dispor de uma métrica atuarial, expressa pela razão entre os ativos financeiros e o montante destinado à cobertura de obrigações presentes e futuras da companhia, ambos avaliados pela marcação a mercado (MtM), para acompanhar a situação patrimonial.

$$S_t = \frac{A_t}{P_t} \quad (1)$$

de forma que  $S_t$  representa o nível de equilíbrio técnico da entidade,  $A_t$  o montante de ativos totais e  $P_t$  os passivos presentes e futuros da seguradora no momento  $t$ .

Assim, a companhia encontra-se superavitária ou em equilíbrio atuarial quando  $S_t \geq 1$  e deficitária quando  $S_t < 1$ , sendo que neste caso é possível estimar algebricamente a taxa adicional de retorno necessária para se atingir o equilíbrio no momento  $t$  ( $r_t^{\text{portfolio otimizado}}$ ), conforme elaborado por Damasceno & Carvalho (2021):

$$r_t^{\text{portfolio otimizado}} = \begin{cases} (1 + i_t) \times (1 + MA_t) - 1, & \text{se } A_t < P_t \\ MA_t, & \text{se } A_t \geq P_t \end{cases} \quad (2)$$

em que  $i_t$  refere-se ao retorno estimado para que  $S_t = 1$ , e deve ser anualizado pela decomposição da taxa em  $D$  anos, segundo a Equação 3. Já  $MA_t$  representa a taxa de rentabilidade anual a ser perseguida pela entidade (res)seguradora para superar o equilíbrio.

$$i_t = (1 + i)^{\frac{1}{D}} - 1 \quad (3)$$

### 3.2. Restrições para Otimização

Uma vez estipulado o retorno ótimo do portfólio, verificam-se cenários que atinjam ou superam esse percentual, respeitando os limites de investimento previstos pela RCMN 4993, que atuarão como uma das restrições para a otimização do modelo. A segunda restrição será uma medida de risco, *Conditional Value at Risk* (CVaR), a mais difundida em estudos de estatística e finanças por satisfazer as quatro propriedades de uma medida de risco coerente (Artzner et al., 1999). Trata-se de expectativa de perda do portfólio para além do limiar definido pelo VaR (Panjer & Fia, 2002). Seguiremos de perto Damasceno & Carvalho (2021).

A representação do CVaR é dada pela Equação 4 (Krokhmal et al., 2001) e é intrinsecamente relacionado com o VaR, já que calcula, para além do quantil de ordem  $\alpha$  estabelecido pelo VaR, a média ponderada das perdas extremas na distribuição  $f$  dos retornos de um portfólio com vetor de pesos  $w$ .

$$CVaR_\alpha(w, \varrho) = \varrho + (1 - \alpha)^{-1} \int_{\zeta \in \mathbb{R}} [f(w, \zeta) - \varrho]^+ p(\zeta) d\zeta \quad (4)$$

Assim:

$$VaR_\alpha = \varrho_\alpha(\zeta) = -z_{(1-\alpha)} \sqrt{w^T \Sigma w} \quad (5)$$

em que  $\Sigma$  representa a matriz de correlação entre os ativos e  $z_{(1-\alpha)}$  o quantil à direita de uma distribuição  $N(0,1)$ . Desta forma, a relação entre as medidas é expressa como:

$$CVaR_\alpha(w, \varrho) = \mathbb{E}[\zeta | \zeta \geq \varrho_\alpha(\zeta)] = \mathbb{E}[\zeta | \zeta \geq VaR_\alpha] \quad (6)$$

tal que CVaR será otimizado analogamente a Hernandez et al. (2022), com aproximação numérica pelo método de fixação de um quantil, conforme Rockafellar & Uryasev (2000).

$$CVaR_{\alpha}(w, \varrho) \approx \text{mín} \left\{ \varrho + (1 - \alpha)^{-1} \sum_{s=1}^S [f(w, \zeta_s) - \varrho]^+ p_s \right\} \quad (7)$$

O somatório de  $[f(w, \zeta_s) - \varrho]^+$  representa o excesso de perdas incorridas no portfólio de investimentos, para além do limiar  $\varrho$  e pode ser reduzido ao termo  $z_s$ . A discussão da otimização desse modelo podem ser verificadas em Krokmal et al. (2001).

$$\begin{aligned} [f(w, \zeta_s) - \varrho]^+ &= z_s \\ z_s &\geq f(w, \zeta_s) - \varrho \\ z_s &\geq 0 \end{aligned}$$

O problema de otimização dado pela Equação 7 é solucionado ao encontrar os pesos alocativos  $w_n, n = 1, 2, 3, \dots, N$ , que retratam a proporção de cada instrumento financeiro na carteira de investimentos da seguradora, limitados expressamente pela RCMN 4993.

$$w_n^{\min} \leq w_n \leq w_n^{\max} \quad (8)$$

### 3.3. Simulação de cenários de risco futuros

Os cenários futuros em cada momento  $t$  serão gerados a partir dos preços de ativos no escopo da RCMN 4993 e a correlação apresentada entre eles, através da estrutura de covariância desenvolvida por Dempster et al. (2003). Para tanto, usaremos de Modelos de Equações Diferenciais Estocásticas (EDE) e ativos do tipo Renda Variável terão seus preços futuros modelados por um MBG, considerando que  $\varepsilon \sim N(0,1)$  pela solução analítica proposta por Di Domenica et al. (2007):

$$\zeta_{RVt} = \zeta_{RV(t-1)} e^{\left(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2\right)dt + \sigma\varepsilon\sqrt{dt}} \quad (9)$$

com  $w_{it}$  seguindo um processo de Wiener,  $N(0, \Delta)$ , e  $t < t + \Delta$  e a matriz de variâncias-covariâncias entre ativos sendo:

$$dW_i \times dW_j = \rho_{ij} dt \quad (10)$$

em que a diagonal principal da matriz resultante refere-se à correlação do próprio ativo, i.e.,  $\rho_{ii} = 1, \forall i \geq 1$ .

Ao simular os preços futuros dos ativos representativos de cada classe de investimento, torna-se possível acompanhar a evolução dos rendimentos e comparar os resultados teóricos trazidos pela norma para a indústria nacional de (res)seguros com um portfólio sem restrições de alocação. Para a análise intertemporal, foram definidos quatro períodos históricos baseados no ciclo econômico brasileiro, caracterizado por fases alternadas de expansão e recessão, conforme as datas oficiais estabelecidas pelo Comitê de Datação de Ciclos Econômicos (CODACE) (Tabela 2). A identificação desses ciclos é fundamental para antecipar tendências em variáveis econômicas, subsidiando decisões de políticas públicas e estratégias de investimento que minimizem impactos adversos ou maximizem oportunidades, como discutido por Cunha (2017).

**Tabela 2.** Períodos econômicos selecionados para avaliação histórica do portfólio simulado.

Período	Anos	Datação CODACE	Denominação	Caracterização do Período
1	set/2014 a set/2016	Recessão	Pré-impeachment	Período com inflação e juros altos, associado a desafios econômicos e instabilidade política, que culminou no processo de impeachment de Dilma Rousseff. A Lava Jato teve impacto significativo, afetando setores estratégicos como petróleo e construção, gerando perda de valor de mercado de grandes empresas e contribuindo para a retração econômica.
2	set/2017 a set/2019	Expansão	Pós-impeachment	Novas reformas econômicas, como a trabalhista e as primeiras discussões sobre a reforma da previdência, enquanto a SELIC reduzia gradualmente de 14,25% para 6,5%.
3	set/2020 a set/2021	Recessão	COVID-19	Do primeiro caso documentado de COVID-19 até a aplicação da segunda dose da vacina no Brasil, correspondendo ao período de diminuição histórica da SELIC para 2% e alta volatilidade no mercado financeiro global.
4	set/2022 a set/2024	-	Cenário Atual	Marcado pela recuperação econômica pós pandemia, com aumento da inflação e consequente elevação dos juros para 13,75% pelo Banco Central.

Fonte: elaboração própria.

## 4. Análise de Resultados

### 4.1. Base de Dados e Estatísticas Descritivas

Os ativos analisados neste estudo foram coletados via Bloomberg e ANBIMA, abrangendo as classes permitidas pela Resolução CMN 4993, exceto o CDI e o dólar, utilizados como benchmarks de desempenho, e o grupo alternativo composto por SMLL, ISE e GBTC selecionados devido ao caráter especulativo dos ativos. O SMLL é composto por empresas de menor capitalização, associadas a maior risco e potencial de crescimento; o ISE reflete o desempenho de companhias comprometidas com os princípios Ambiental, Social e Governança (ASG); e o GBTC está vinculado ao Bitcoin, uma criptomoeda altamente volátil e amplamente adotada por investidores nos últimos anos (Souza & Carvalho, 2024). A inclusão desse grupo visa avaliar os potenciais benefícios em diversificação e na relação risco-retorno que ativos não tradicionais podem oferecer a portfólios das (res)seguradoras.

As estatísticas descritivas dos retornos anuais foram calculadas para cada período, e são apresentadas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Estatísticas descritivas para os ativos selecionados em cada período.

Ativo	Período			
	Pré-impeachment (2014-2016)	Pós-impeachment (2017-2019)	COVID-19 (2020-2021)	Cenário Atual (2022-2024)
<b>CDI</b> Médio	11,28%	9,54%	4,83%	12,72%
Mínimo	7,45%	-6,30%	2,16%	10,96%
Máximo	14,13%	14,13%	10,93%	13,65%
Desvio-Padrão	2,09%	3,05%	2,24%	0,81%
<b>Dólar</b> Médio	21,38%	3,26%	11,88%	-0,40%
Mínimo	-22,76%	24,65%	-18,54%	-13,32%
Máximo	74,28%	34,96%	48,35%	20,13%
Desvio-Padrão	20,62%	13,26%	16,69%	7,65%
<b>IMAB</b> Médio	8,76%	16,31%	7,42%	9,82%
Mínimo	-13,32%	-2,45%	-1,85%	3,25%

Ativo	Período			
	Pré-impeachment (2014-2016)	Pós-impeachment (2017-2019)	COVID-19 (2020-2021)	Cenário Atual (2022-2024)
Máximo	30,41%	31,45%	31,21%	17,78%
Desvio-Padrão	10,09%	7,01%	7,05%	3,81%
<b>IDA-Infra</b> Médio	13,23%	11,94%	8,96%	10,26%
Mínimo	8,54%	-4,55%	0,52%	2,35%
Máximo	21,57%	21,17%	18,58%	21,71%
Desvio-Padrão	2,99%	3,98%	3,46%	4,84%
<b>IGC</b> Médio	1,09%	22,96%	8,89%	7,64%
Mínimo	-20,01%	4,60%	-29,18%	-18,71%
Máximo	27,54%	57,38%	84,68%	29,17%
Desvio-Padrão	10,07%	11,40%	22,25%	10,47%
<b>IFIX</b> Médio	1,01%	18,00%	4,68%	9,51%
Mínimo	-23,67%	3,90%	-12,32%	-1,65%
Máximo	29,92%	49,55%	36,42%	24,79%
Desvio-Padrão	10,10%	12,37%	10,93%	6,33%
<b>A-Bond</b> Médio	3,33%	2,73%	1,30%	0,71%
Mínimo	-4,93%	2,34%	-11,16%	-12,32%
Máximo	9,75%	9,89%	13,04%	10,77%
Desvio-Padrão	3,03%	2,50%	5,53%	5,90%
<b>BDRX</b> Médio	34,13%	16,78%	30,34%	15,85%
Mínimo	-11,47%	16,80%	-23,15%	-33,72%
Máximo	74,18%	62,35%	90,17%	59,09%
Desvio-Padrão	18,86%	15,54%	25,85%	25,09%
<b>IBX</b> Médio	0,02%	24,93%	7,44%	8,29%
Mínimo	-24,47%	0,31%	-32,07%	-17,46%
Máximo	32,70%	71,46%	86,18%	30,43%
Desvio-Padrão	11,99%	11,58%	21,02%	,16%
<b>IHFA</b> Médio	11,70%	11,70%	7,01%	8,63%
Mínimo	4,74%	-4,36%	-2,44%	2,83%
Máximo	19,04%	19,25%	16,32%	15,82%
Desvio-Padrão	4,33%	3,93%	3,28%	3,02%
<b>SMLL</b> Médio	-12,24%	29,06%	8,78%	-2,20%
Mínimo	-35,59%	12,23%	-40,01%	-30,47%
Máximo	36,84%	70,64%	85,40%	28,84%
Desvio-Padrão	12,77%	17,40%	29,09%	13,92%
<b>ISE</b> Médio	-1,47%	13,26%	5,07%	0,04%
Mínimo	-21,44%	9,26%	-26,40%	-28,36%
Máximo	19,11%	33,78%	60,18%	31,90%
Desvio-Padrão	9,20%	8,06%	16,33%	13,71%
<b>GBTC</b> Médio	221,86%	320,36%	99,79%	105,26%
Mínimo	44,44%	87,83%	-68,82%	-83,61%
Máximo	365,52%	3322,27%	817,31%	455,76%
Desvio-Padrão	64,18%	488,42%	155,57%	150,54%

Fonte: elaboração própria, com base em dados da Anbima e Bloomberg.

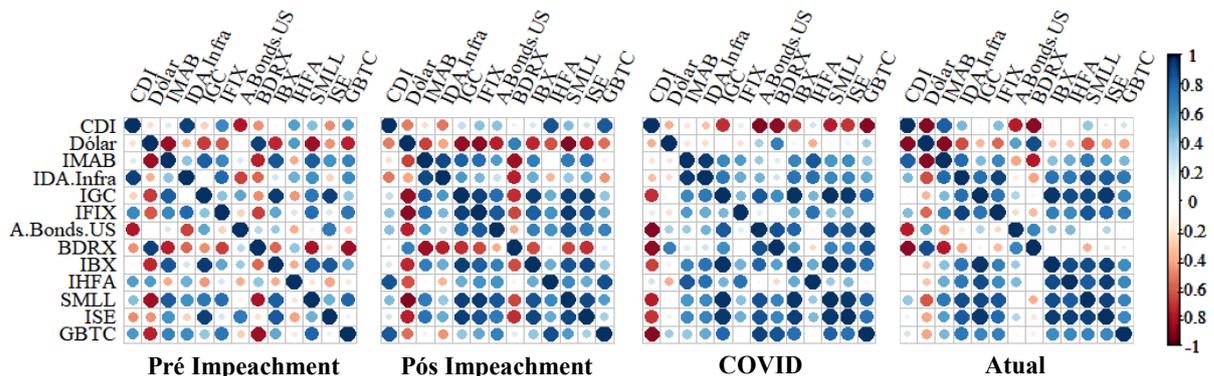
Observa-se que os ativos de renda fixa *onshore* mantiveram estabilidade relativa nos retornos (CDI, alinhado à taxa básica de juros, IMAB e IDA-Infra), especialmente durante períodos de crise, com menor variação no desvio padrão. Durante a pandemia de COVID-19, houve uma redução nos retornos médios, notadamente no CDI (4,83%) e IMAB (7,42%), seguida por uma recuperação parcial no cenário atual, indicando maior resiliência em momentos de instabilidade econômica. Em contraste, ativos de renda variável e imobiliários (IGC, SMLL e IFIX) apresentaram alta volatilidade, com acentuadas quedas durante a

pandemia: o IGC e o SMLL registraram reduções expressivas de -29,18% e -40,01%, respectivamente, evidenciando maior exposição às oscilações econômicas.

Ativos alternativos e internacionais, como o GBTC (Bitcoin) e o BDRX, demonstraram alta sensibilidade aos mercados globais e à especulação associada a ativos não tradicionais, refletida nos maiores desvios padrão observados. O GBTC, em particular, é peculiar em relação aos demais ativos do grupo. Por não estar fortemente correlacionado com outros grupos de ativos ao longo do tempo (Figura 1), o GBTC pode atuar como hedge natural, enquanto oferece elevado potencial de retorno. Contudo, sua descentralização e os efeitos de longo prazo requerem análise multivariada para compreender seus riscos inerentes e promover uma maturação mais sustentável do produto, conforme argumentado por Souza & Carvalho (2024).

Já os BDRs contribuem para a diversificação, mas envolvem altos riscos devido à exposição a mercados estrangeiros, influenciados por eventos econômicos e políticos globais. Nos dois últimos períodos analisados, os BDRs apresentaram retornos mínimos de -23,15% e -33,72%, respectivamente, atribuíveis à elevação agressiva das taxas de juros pelo *Federal Reserve* para conter a inflação, o que aumentou o custo de oportunidade e redirecionou investidores para títulos de dívida pública e privada *offshore*. Esse comportamento heterogêneo entre classes de ativos ao longo dos períodos evidencia o impacto desproporcional que crises nacionais e internacionais possuem para ativos de maior risco (Sanguino & Carvalho, 2022).

**Figura 1.** Correlação observada entre as classes de investimento por período.



Fonte: elaboração própria.

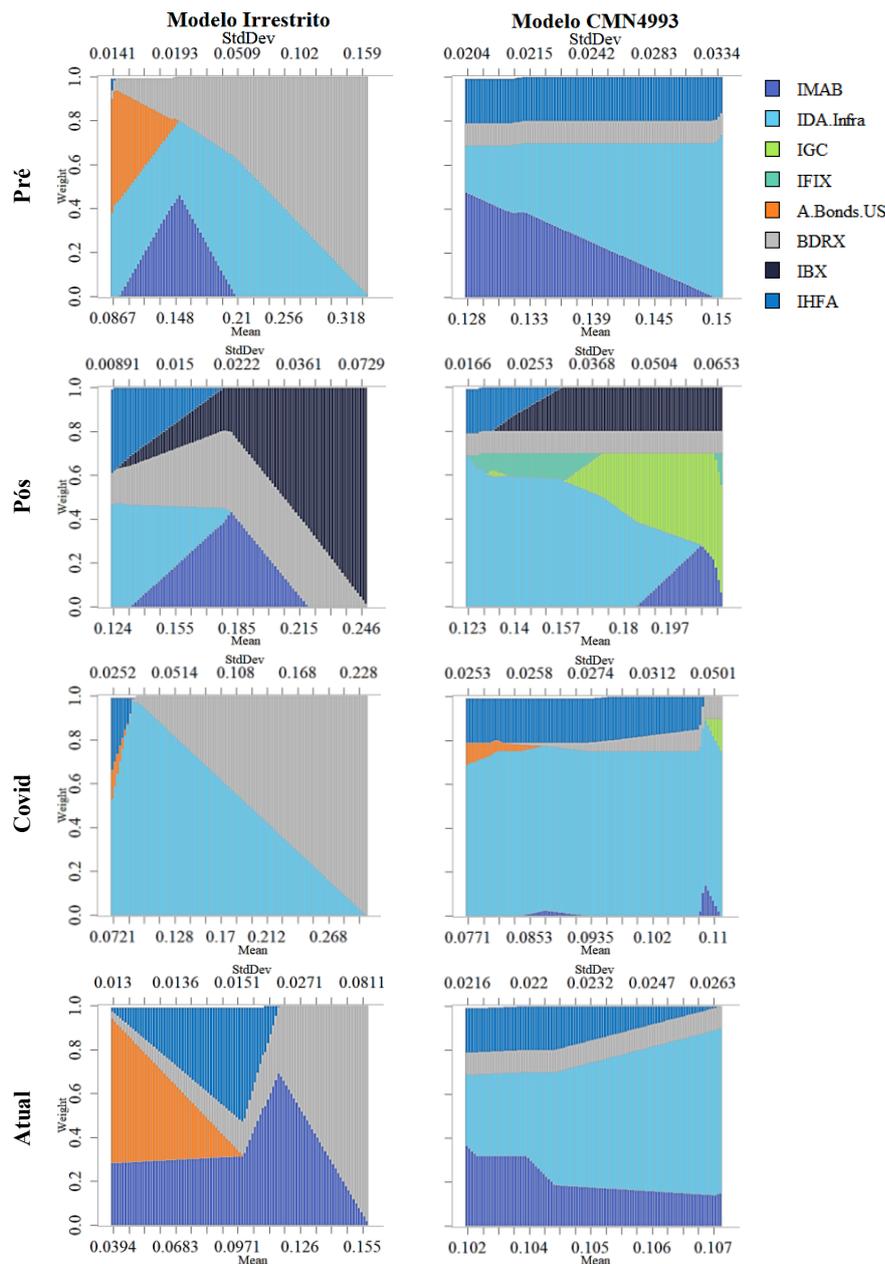
Em suma, os ativos de renda variável *onshore* apresentam alta correlação entre si, indicando o comportamento semelhante em resposta a eventos econômicos e condições de mercado locais. Por outro lado, ativos *offshore* e alternativos exibem correlações baixas ou até mesmo negativas com os ativos domésticos, sugerindo que esses ativos estão menos sujeitos aos fatores que afetam o mercado brasileiro e o potencial de funcionar como um *hedge* durante períodos de instabilidade econômica nacional. Sanguino & Carvalho (2022) sustentam essa afirmação ao demonstrar, usando Redes Bayesianas Dinâmicas (DBNs), que o Ibovespa é mais sensível a fatores de risco vinculados a investidores internacionais (i.e., câmbio e S&P500), do que a elementos domésticos (i.e., inflação e taxa de juros). Ademais, ativos expostos ao câmbio (e.g., dólar) apresentam correlações negativas com o Ibovespa e o S&P500 em períodos de pessimismo, reforçando seu papel como reserva de valor e instrumento de proteção.

#### 4.2. Resultados das estimações dos portfólios ótimos

Compreendendo o comportamento dos instrumentos financeiros, nesta seção são apresentados os resultados dos portfólios ótimos (sob a ótica *mean-CVaR*), para cada período. Em seguida, identificam-se as combinações que melhor promovem diversificação e reduzem a exposição ao risco, sem comprometer os retornos esperados. Por fim, avalia-se como uma flexibilização conservadora afetaria os resultados obtidos em cada simulação.

As composições dos portfólios para cada nível de risco e retorno foram feitas de acordo com os limites previstos pela RCMN 4993 (“Modelo CMN4993”) e sem qualquer imposição de restrições para ativos específicos (“Modelo Irrestrito”). Os resultados para cada período são apresentados na Figura 3. As evidências sugerem que, em ambos os modelos, houve maior diversificação no período Pós-Impeachment, com alocação em sete dos oito ativos disponíveis. A única ausência foi o *A-Bonds* americano, cujos retornos ficaram abaixo das taxas de juros domésticas durante o período. Esse resultado reflete a atratividade relativa do mercado de renda fixa brasileiro em cenários de taxas de juros altas, alinhando-se às evidências de Cardoso et al. (2022), que destacam o papel central de instrumentos domésticos em regimes de taxas elevadas.

**Figura 3.** Alocação ótima de investimentos simulada por período.



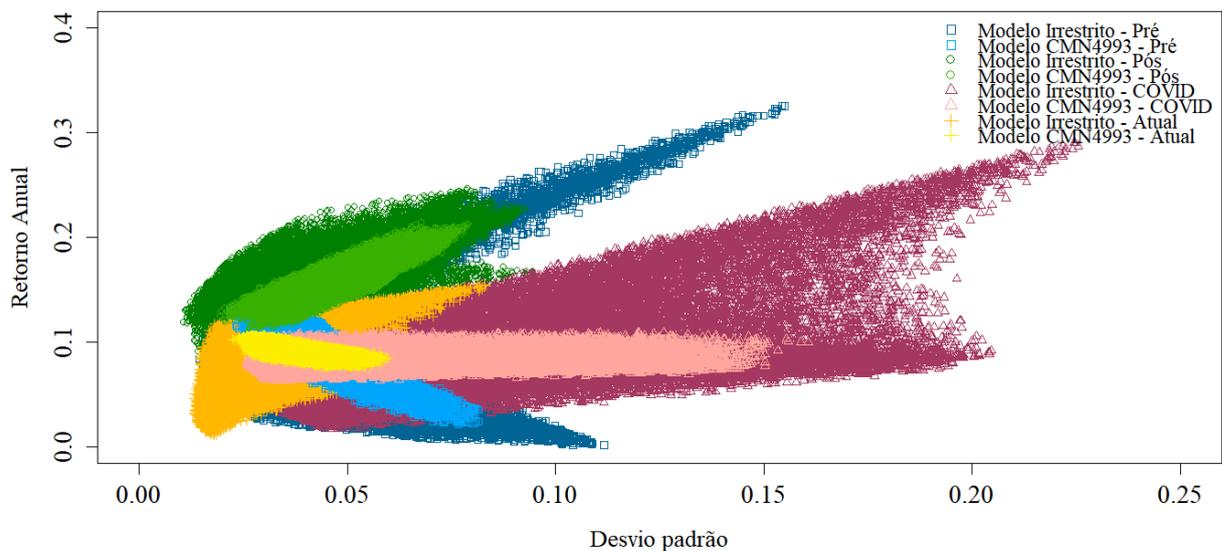
Fonte: elaboração própria.

Ativos de renda fixa predominam nas alocações do Modelo CMN4993, resultado esperado devido a maior permissibilidade nessa classe de ativos pela legislação. A consequência natural é que, em períodos de prosperidade econômica interna, os retornos também ficam limitados e não acompanham o mercado de renda variável. Este é precisamente o caso do

período Pré-Impeachment, quando se alcançou uma média anual de 20%, enquanto o retorno máximo do IBX, composto pelas principais companhias listadas em Bolsa, foi de 25%. Por outro lado, o Modelo Irrestrito alcançou retornos mais próximos desse índice, mas com menor volatilidade, evidenciando os benefícios da flexibilização. Nos cenários Pré-Impeachment e COVID, o impacto do câmbio tornou-se mais evidente no Modelo Irrestrito, com alta concentração em BDRX. Quando combinado à exposição em renda fixa, esse ativo resultou em retornos até seis vezes superiores aos do modelo restrito no mesmo período, corroborando com estudos prévios (Badaoui & Fernández, 2013; Sanguino & Carvalho, 2022), que destacam o papel de ativos externos na diversificação e mitigação de riscos durante períodos de instabilidade econômica.

Os pesos alocativos trazidos pela Figura 3 foram aplicados às cem mil simulações realizadas ao aplicar o modelo de otimização, que gerou os portfólios ilustrados na Figura 4. Nota-se que o modelo irrestrito apresenta maior potencial de diversificação em cenários mais voláteis, como o COVID, atingindo retornos superiores a 20%. Em todos os cenários, o Modelo Irrestrito apresentou melhores resultados agregados, considerando (i) maior retorno esperado, e; (ii) maior possibilidade de alocação em cada classe admissível, quando comparado ao Modelo Restrito. Contudo, o Modelo CMN4993 exibiu menor desvio padrão médio, reforçando a segurança para gestores institucionais que priorizam estabilidade, inclusive respeitando o princípio da norma.

**Figura 4.** Portfólios simulados com e sem restrição, por período.



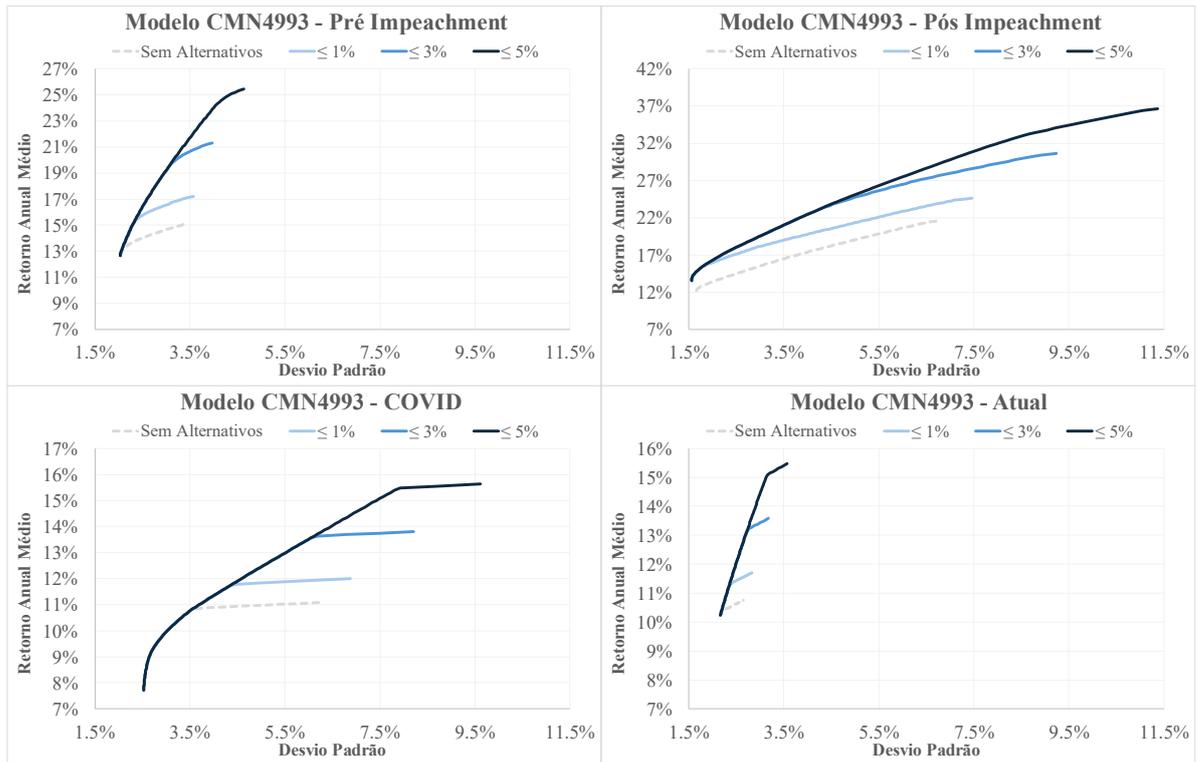
Fonte: elaboração própria.

A necessidade por estabilidade e liquidez de curto prazo no setor segurador explica, em grande parte, a prevalência de alocações conservadoras no Modelo CMN4993. Esse setor é caracterizado pela obrigação de manter provisões técnicas e matemáticas suficientes para garantir a cobertura de sinistros e outros passivos regulatórios de curto prazo, além da necessidade de liquidez imediata para mitigar fluxos de caixa incertos, especialmente em situações de crise, como pandemias ou desastres naturais (Cardoso et al., 2022). A manutenção de ativos de alta liquidez e baixo risco é essencial para assegurar que as seguradoras cumpram suas obrigações contratuais sem comprometer sua solvência, um aspecto regulado de forma estrita pela legislação vigente (Carvalho & Guimarães, 2024).

Por fim, em um cenário contrafactual de adoção de ativos alternativos (i.e., SMLL, ISE e GBTC) por entidades seguradoras, avaliaram-se os impactos de uma flexibilização moderada da RCMN 4993. A motivação principal para esse exercício é que F. A. Flores et al. (2021)

encontraram evidências consistentes de que esses ativos são benéficos para diversificação e incremento de retorno de portfólios. Para isso, o percentual máximo de alocação foi testado em níveis de 1%, 3% e 5% (Figura 5), considerados conservadores para atender as especificidades da indústria de seguros, como a necessidade de segurança, estabilidade e liquidez já mencionadas. O percentual investido em cada produto do grupo de ativos alternativos pode ser verificado na Tabela 4.

**Figura 5.** Efeito alternativos: fronteira eficiente pré- e pós-flexibilização do limite de alternativos em 1%, 3% e 5%.



Fonte: elaboração própria.

**Tabela 4.** Percentual de utilização de cada ativo alternativo nas fronteiras flexibilizadas.

	<= 1%			<= 3%			<= 5%		
	SMLL	ISE	GBTC	SMLL	ISE	GBTC	SMLL	ISE	GBTC
<b>Pré</b>	0.0%	2.7%	97.3%	0.0%	24.5%	75.5%	0.0%	37.1%	62.9%
<b>Pós</b>	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%
<b>COVID</b>	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%
<b>Atual</b>	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	0.0%	100.0%

Fonte: elaboração própria.

Os resultados das simulações mostram que ativos alternativos (principalmente ISE e GBTC) trouxeram ganhos significativos para as fronteiras eficientes, aumentando o retorno esperado e melhorando a diversificação, sem elevar excessivamente a volatilidade. A falta de alocação em SMLL demonstra a ineficácia do ativo para ganhos de escala, sendo preferível o investimento em ISE ou, na grande maioria das simulações, em GBTC. Esta evidência reforça os achados da literatura (F. A. Flores et al., 2021) que indicam o potencial que ativos alternativos possuem para otimizar o desempenho de carteiras tradicionais, mesmo em contextos de restrições rigorosas, desde que seu histórico de perdas não seja significativo nas projeções futuras, como é o caso do SMLL.

### 4.3. Resultados e Discussões

Os resultados evidenciam que o modelo regulatório vigente, baseado na Resolução CMN nº4.993/2022, possui uma abordagem cautelosa ao priorizar a alocação de ativos garantidores em renda fixa e instrumentos de alta liquidez. Essa configuração atende à necessidade de solvência das seguradoras, conforme apontado por Barucca et al. (2021) e Carvalho & Guimarães (2024), mas restringe a diversificação de portfólios. Ademais, a consideração de ativos alternativos poderia contribuir para aumentar a rentabilidade em cenários de juros baixos. Tais restrições, embora fundamentais para evitar riscos sistêmicos, podem gerar volatilidade adicional para beneficiários e reduzir a competitividade das seguradoras frente a instituições em mercados com maior flexibilidade regulatória.

As simulações realizadas destacam que, mesmo com limites conservadores para ativos alternativos, como proposto por Flores et al. (2021), é possível melhorar a eficiência dos portfólios sem comprometer a segurança regulatória. Ativos como criptomoedas (GBTC) e fundos sustentáveis (ISE) demonstraram potencial de mitigar riscos de concentração e ampliar retornos ajustados ao risco, especialmente em períodos de alta volatilidade, como observado no cenário da pandemia de COVID-19. Esses achados corroboram com Cardoso et al. (2022), que identificaram em regimes previdenciários resultados semelhantes ao introduzir ativos não tradicionais em portfólios regulados. No entanto, as características de alta volatilidade desses ativos, como o desvio-padrão expressivo do GBTC, reforçam a necessidade por um acompanhamento regulatório criterioso.

Os efeitos das condições macroeconômicas também ficaram evidentes na análise. Durante períodos de juros elevados, os portfólios concentrados em renda fixa obtiveram maior estabilidade, conforme apontado por Ikeda & Carvalho (2022). Em contrapartida, cenários de juros baixos, como o observado entre 2020-2021, destacaram a relevância de ativos alternativos e internacionais para maximizar o retorno e diversificar os riscos. Estudos como os de Haneveld et al. (2010) e Kouwenberg & Zenios (2008) já haviam demonstrado que a flexibilidade na alocação de ativos é crucial para adaptar estratégias às variações econômicas e fortalecer a resiliência financeira.

Por fim, os achados reforçam a importância de revisitar a regulamentação para equilibrar prudência e inovação. A flexibilização moderada, aliada ao uso de modelos robustos de ALM, como proposto por Damasceno & Carvalho (2021), pode aumentar a eficiência dos portfólios ao considerar o impacto dinâmico dos cenários econômicos.

## 5. Considerações finais

O presente avaliou a eficácia da Resolução CMN nº 4.993/2022 na gestão de ativos garantidores no setor segurador brasileiro, considerando sua capacidade de equilibrar estabilidade, diversificação e retorno financeiro. Os resultados evidenciaram que, embora o modelo regulatório atual favoreça segurança e liquidez, ele limita o potencial de diversificação e o desempenho financeiro em cenários de juros baixos. Por outro lado, a introdução de ativos alternativos e maior flexibilidade regulatória mostrou-se capaz de ampliar as fronteiras eficientes, aumentando retornos ajustados ao risco sem comprometer a solvência das instituições. Esses achados destacam o papel estratégico de uma regulamentação equilibrada para o fortalecimento do mercado segurador.

Como contribuição, este trabalho propõe não apenas a revisão periódica das normativas regulatórias, mas principalmente avaliação constante dos impactos das decisões de manutenção ou alteração das legislações vigentes, sempre considerando mudanças no ambiente macroeconômico e avanços em gestão de riscos. Estudos futuros podem explorar a integração de fatores macroeconômicos em modelos estocásticos mais complexos, além de avaliar como

ajustes nas restrições regulatórias podem influenciar a solvência de longo prazo e a eficiência operacional das seguradoras. Esses avanços são essenciais para atender às demandas de um mercado em constante transformação, mantendo a sustentabilidade do setor segurador.

## Referências

- Andongwisye, J., Torbjörn, L., Singull, M., & Mushi, A. (2018). Asset liability management for Tanzania pension funds by stochastic programming. *Afrika Statistika*, 13(3), 1733–1758. <https://doi.org/10.16929/as/1733.131>
- Artzner, P., Delbaen, F., Eber, J.-M., & Heath, D. (1999). Coherent Measures of Risk. *Mathematical Finance*, 9(3), 203–228. <https://doi.org/10.1111/1467-9965.00068>
- Badaoui, M., & Fernández, B. (2013). An optimal investment strategy with maximal risk aversion and its ruin probability in the presence of stochastic volatility on investments. *Insurance: Mathematics and Economics*, 53(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2013.04.002>
- Barucca, P., Mahmood, T., & Silvestri, L. (2021). Common asset holdings and systemic vulnerability across multiple types of financial institution. *Journal of Financial Stability*, 52, 100810. <https://doi.org/10.1016/j.jfs.2020.100810>
- Berry-Stölzle, T. R. (2008). The impact of illiquidity on the asset management of insurance companies. *Insurance: Mathematics and Economics*, 43(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.INSMATHECO.2007.09.005>
- Bezerra, F. A., & Corrar, L. J. (2006). Utilização da análise fatorial na identificação dos principais indicadores para avaliação do desempenho financeiro: uma aplicação nas empresas de seguros. *Revista Contabilidade & Finanças*, 17(42), 50–62. <https://doi.org/10.1590/S1519-70772006000300005>
- Bohnert, A., Gatzert, N., & Jørgensen, P. L. (2015). On the management of life insurance company risk by strategic choice of product mix, investment strategy and surplus appropriation schemes. *Insurance: Mathematics and Economics*, 60, 83–97. <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2014.11.003>
- Cardoso, L., Carvalho, J. V. F., & Damasceno, A. T. (2022). Ceder é perder? Avaliação das metas atuariais de Entidades Fechadas de Previdência Complementar pela flexibilização da Resolução CMN nº4661/2018. *Anais Do 22º USP International Conference in Accounting*, 1–21.
- Carvalho, B. D. R., & Carvalho, J. V. F. (2019). Uma abordagem estocástica para a mensuração da incerteza das provisões técnicas de sinistros. *Revista Contabilidade e Finanças*, 30(81), 409–424. <https://doi.org/10.1590/1808-057x201907860>
- Carvalho, J. V. F., & Guimarães, A. S. (2022). E se o sistema falhar? Uma avaliação de risco sistêmico da prática bancassurance no Brasil. *Anais Do 22º USP International Conference in Accounting*.
- Carvalho, J. V. F., & Guimarães, A. S. (2024). Systemic risk assessment using complex networks approach: Evidence from the Brazilian (re)insurance market. *Research in International Business and Finance*, 67, 102065. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2023.102065>
- Chen, A., & Hieber, P. (2016). OPTIMAL ASSET ALLOCATION IN LIFE INSURANCE: THE IMPACT OF REGULATION. *ASTIN Bulletin*, 46(3), 605–626. <https://doi.org/10.1017/asb.2016.12>

- Chen, P., Ibbotson, R. G., Milevsky, M. A., & Zhu, K. X. (2006). Human Capital, Asset Allocation, and Life Insurance. *Financial Analysts Journal*, 62(1), 97–109. <https://doi.org/10.2469/faj.v62.n1.4061>
- CNSeg. (2023). Relatório Anual de Atividades 2023. CNSeg.
- CNSeg. (2024). CADERNO DE ESTATÍSTICAS DO MERCADO SEGURADOR. *Superintendência de Estudos e Projetos*.
- Cummins, J. D., & Weiss, M. A. (2014). Systemic risk and the U.S. insurance sector. *Journal of Risk and Insurance*, 81(3). <https://doi.org/10.1111/jori.12039>
- Cunha, J. C. (2017). *Construção de indicador mensal de PIB e componentes para datação de ciclos econômicos: uma análise de janeiro de 1980 a setembro de 2016*. 77.
- Damasceno, A. T., & Carvalho, J. V. F. (2021). Assessment of the new investment limits for assets of Social Security Regimes for Public Servants established by Resolution CMN 3,922/2010. *Revista Brasileira de Gestao de Negocios*, 23(4), 728–743. <https://doi.org/10.7819/rbgn.v23i4.4128>
- Dempster, M. A. H., Germano, M., Medova, E. A., & Villaverde, M. (2003). Global Asset Liability Management. *British Actuarial Journal*, 9(01), 137–195. <https://doi.org/10.1017/S1357321700004153>
- Di Domenica, N., Mitra, G., Valente, P., & Birbilis, G. (2007). Stochastic programming and scenario generation within a simulation framework: An information systems perspective. *Decision Support Systems*, 42(4), 2197–2218. <https://doi.org/10.1016/j.dss.2006.06.013>
- Diehl, M., Horsky, R., Reetz, S., & Sass, J. (2022). Long-term stability of a life insurer's balance sheet. *European Actuarial Journal*. <https://doi.org/10.1007/s13385-022-00322-4>
- Dong, Y., & Wang, D. (2018). Uniform asymptotics for ruin probabilities in a two-dimensional nonstandard renewal risk model with stochastic returns. *Journal of Inequalities and Applications*, 2018(1), 319. <https://doi.org/10.1186/s13660-018-1913-6>
- Duarte, T. B., Valladão, D. M., & Veiga, Á. (2017). Asset liability management for open pension schemes using multistage stochastic programming under Solvency-II-based regulatory constraints. *Insurance: Mathematics and Economics*, 77, 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2017.09.022>
- Eckert, C. (2019). Dealing with Low Interest Rates in Life Insurance: An Analysis of Additional Reserves in the German Life Insurance Industry. *Journal of Risk and Financial Management*, 12(3), 119. <https://doi.org/10.3390/jrfm12030119>
- Elyasiani, E., Staikouras, S. K., & Dontis-Charitos, P. (2016). Cross-Industry Product Diversification and Contagion in Risk and Return: The case of Bank-Insurance and Insurance-Bank Takeovers. *Journal of Risk and Insurance*, 83(3), 681–718. <https://doi.org/10.1111/jori.12066>
- Flores, E., Carvalho, J. V. F., & Sampaio, J. O. (2021). Impact of interest rates on the life insurance market development: Cross-country evidence. *Research in International Business and Finance*, 58, 101444. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2021.101444>
- Flores, F. A., Campani, C. H., & Roquete, R. M. (2021). The impact of alternative assets on the performance of Brazilian private pension funds. *Revista Contabilidade & Finanças*, 32(86), 314–330. <https://doi.org/10.1590/1808-057x202111870>
- Gerstner, T., Griebel, M., Holtz, M., Goschnick, R., & Haep, M. (2008). A general asset-liability management model for the efficient simulation of portfolios of life insurance

- policies. *Insurance: Mathematics and Economics*, 42(2), 704–716.  
<https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2007.07.007>
- Haberman, S., & Sung, J.-H. (2005). Optimal pension funding dynamics over infinite control horizon when stochastic rates of return are stationary. *Insurance: Mathematics and Economics*, 36(1), 103–116. <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2004.10.006>
- Haneveld, W. K. K., Streutker, M. H., & van der Vlerk, M. H. (2010). An ALM model for pension funds using integrated chance constraints. *Annals of Operations Research*, 177(1), 47–62. <https://doi.org/10.1007/s10479-009-0594-4>
- Hernandez, J., Kang, S. H., & Yoon, S. (2022). Nonlinear spillover and portfolio allocation characteristics of energy equity sectors: Evidence from the United States and Canada. *Review of International Economics*, 30(1), 1–33. <https://doi.org/10.1111/roie.12553>
- Hurtado, N. H. (2008). *Análise de Metodologias de Gestão de Ativos e Passivos de Planos de Benefício Definido em Fundos de Pensão: uma abordagem Financeiro-Atuarial*. UFRJ Coppead.
- Ikedá, M. M. S., & Carvalho, J. V. F. (2022). Viability of Universal Life insurance in Brazil from the supply and demand perspectives. *Revista Contabilidade & Finanças*, 33(89), 343–358. <https://doi.org/10.1590/1808-057x202113720>
- Kouwenberg, R., & Zenios, S. A. (2008). Stochastic programming models for asset liability management. In *Handbook of Asset and Liability Management* (pp. 253–303). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044453248-0.50012-5>
- Krokhmal, P., Uryasev, T., & Palmquist, J. (2001). Portfolio optimization with conditional value-at-risk objective and constraints. *Journal of Risk*, 4(2), 43–68. <https://doi.org/10.21314/JOR.2002.057>
- Lampenius, N., & Schmautz, M. (2013). Deriving the Minimal Amount of Risk Capital for P / L Insurance Companies utilizing ALM Deriving the Minimal Amount of Risk Capital for P / L Insurance Companies utilizing ALM. *Journal of Risk*, 15(4), 35–55.
- Lauria, D., & Consigli, G. (2017). A Defined Benefit Pension Fund ALM Model through Multistage Stochastic Programming. *International Journal of Finance and Managerial Accounting*, 2(7), 1–10.
- Li, Y., & Forsyth, P. A. (2019). A data-driven neural network approach to optimal asset allocation for target based defined contribution pension plans. *Insurance: Mathematics and Economics*, 86, 189–204. <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2019.03.001>
- Lim, A. E. B., & Wong, B. (2010). A benchmarking approach to optimal asset allocation for insurers and pension funds. *Insurance: Mathematics and Economics*, 46(2), 317–327. <https://doi.org/10.1016/j.insmatheco.2009.11.005>
- Lopes, B. P., & Carvalho, J. V. F. (2022). Paying for crime: frauds in DPVAT insurance and their impacts on society. *Brazilian Business Review*, 19(6), 666–684. <https://doi.org/10.15728/bbr.2022.19.6.5.en>
- Pachamanova, D., Gülpınar, N., & Çanakoğlu, E. (2017). Robust Approaches to Pension Fund Asset Liability Management Under Uncertainty. In *International Series in Operations Research & Management Science* (Vol. 245, pp. 89–119). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-41613-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-41613-7_4)
- Panjer, H. H., & Fia, H. (2002). Measurement of Risk, Solvency Requirements and Allocation of Capital within Financial Conglomerates. *Annals of 27th International Congress of*

*Actuaries.*

- Papayiannis, G. I. (2023). A framework for treating model uncertainty in the asset liability management problem. *Journal of Industrial and Management Optimization*, 19(11), 7811–7825. <https://doi.org/10.3934/jimo.2023021>
- Peng, J. L., Jeng, V., Wang, J. L., & Chen, Y. C. (2017). The impact of bancassurance on efficiency and profitability of banks: Evidence from the banking industry in Taiwan. *Journal of Banking and Finance*, 80, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2017.03.013>
- Pradhan, R. P., Arvin, B. M., Norman, N. R., Nair, M., & Hall, J. H. (2016). Insurance penetration and economic growth nexus: Cross-country evidence from ASEAN. *Research in International Business and Finance*, 36, 447–458. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2015.09.036>
- Rao, H. V., Dutta, G., & Basu, S. (2018). New asset liability management model with decision support system for life insurance companies: interface design issues for database and mathematical models. *International Journal of Revenue Management*, 10(3/4), 259. <https://doi.org/10.1504/IJRM.2018.096319>
- Ribeiro, G. X. K. (2015). *Asset Liability Management em um plano aberto de previdência complementar tradicional*. Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada.
- Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2000). Optimization of conditional value-at-risk. *The Journal of Risk*, 2(3), 21–41. <https://doi.org/10.21314/JOR.2000.038>
- Sanguino, F., & Carvalho, J. V. F. (2022). We Will Shock You: a coherent Bayesian approach for Stress Test. *Anais Do XLVI Encontro Da ANPAD*, 1–17.
- Souza, O. T., & Carvalho, J. V. F. (2024). Market efficiency assessment for multiple exchanges of cryptocurrencies. *Revista de Gestão*, 31(2), 137–151. <https://doi.org/10.1108/REGE-05-2022-0070>
- Toukourou, Y. A. F., & Dufresne, F. (2018). On Integrated Chance Constraints in ALM for Pension Funds. *ASTIN Bulletin*, 48(02), 571–609. <https://doi.org/10.1017/asb.2017.49>
- Valladão, D. M. (2008). *Alocação ótima e medida de risco de um ALM para fundo de pensão via programação estocástica multi-estágio e bootstrap*. PUC-Rio.
- van Staden, P. M., Forsyth, P. A., & Li, Y. (2024). Across-time risk-aware strategies for outperforming a benchmark. *European Journal of Operational Research*, 313(2), 776–800. <https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2023.08.028>
- Yiu, K. F. C. (2004). Optimal portfolios under a value-at-risk constraint. *Journal of Economic Dynamics and Control*, 28(7), 1317–1334. [https://doi.org/10.1016/S0165-1889\(03\)00116-7](https://doi.org/10.1016/S0165-1889(03)00116-7)
- Yu, T.-Y., Lee, Y.-T., & Huang, H.-C. (2012). On the application of efficient hybrid heuristic algorithms – An insurance industry example. *Applied Soft Computing*, 12(11), 3452–3461. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2012.07.016>