

Opções de investimentos e a sustentabilidade do Instituto de Previdência do Estado de Santa Catarina

Investment options and the sustainability of Santa Catarina's social security

<https://doi.org/10.32586/rcda.v23i2.979>

Luis Felipe Camargos de Sousa¹
Fabiano Maury Raupp²

RESUMO

O estudo analisou opções de investimentos que podem contribuir para a sustentabilidade do Instituto de Previdência do Estado de Santa Catarina (IPREV-SC). Com base no marco teórico da gestão integrada de ativos e passivos (ALM) e no uso de algoritmos de otimização, o trabalho adotou uma abordagem teórico-empírica, combinando a análise de dados históricos de investimentos com testes em cenários reais. A pesquisa foi conduzida em cinco etapas: coleta de dados financeiros, análise de ativos e passivos previdenciários, avaliação de opções de investimento, aplicação de algoritmos de otimização e teste prático de rentabilidade no ano de 2023. Os resultados indicaram retornos otimizados de até 32,12%, com 5,24% de volatilidade, superando a meta atuarial e transformando o déficit previdenciário de R\$ 6 bilhões em um superávit financeiro significativo. Conclui-se que o uso de métodos quantitativos avançados e da inteligência artificial podem aprimorar a eficiência dos investimentos previdenciários, contribuindo diretamente para a sustentabilidade financeira do instituto.

Palavras-chave: investimentos; sustentabilidade; previdência.

1 Graduação em Ciências Contábeis pela Universidade Estácio de Sá e Mestre em Administração pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UEDESC). Atualmente é Auditor Fiscal de Controle Externo no Tribunal de Contas do Estado de Santa Catarina (TCE-SC), Perito Judicial e Professor. E-mail: florjhb@hotmail.com

2 Doutor em Administração pela Universidade Federal da Bahia (UFBA). Professor Titular da Universidade do Estado de Santa Catarina (UEDESC). E-mail: fabianoraupp@hotmail.com

ABSTRACT

The study analyzed investment options that can contribute to the sustainability of Santa Catarina's State Pension Institute (IPREV-SC). Based on the theoretical framework of integrated asset and liability management (ALM) and the use of optimization algorithms, the work adopted a theoretical-empirical approach, combining the analysis of historical investment data with tests in real scenarios. The research was conducted in five stages: collection of financial data, analysis of pension assets and liabilities, evaluation of investment options, application of optimization algorithms and practical profitability test in the year 2023. The results indicated optimized returns of up to 32.12%, with 5.24% volatility, exceeding the actuarial target and transforming the pension deficit of R\$6 billion into a significant financial surplus. It is concluded that the use of advanced quantitative methods and artificial intelligence can improve the efficiency of pension investments, directly contributing to the financial sustainability of the institute.

Keywords: investments; sustainability; pension.

Avaliado pelo sistema
double blind review
(SEER/OJS — versão 3)



Data de submissão: 26/07/2024

Data de aprovação: 25/02/2025

Data de versão final: 29/04/2025

Data de publicação online: 23/06/2025

1 INTRODUÇÃO

O equilíbrio financeiro e atuarial do regime previdenciário é o objetivo a ser alcançado por gestores de Regimes Próprios de Previdência Social (RPPS). Tanto que o legislador constituinte também o fez constar no *caput* do art. 40 da CF/1988. Tal importância não é em vão. Caso não seja alcançado o equilíbrio do regime, ficam em xeque não só as finanças do próprio ente gestor, mas também de toda a coletividade de seus filiados e de seus dependentes. Apesar de estar demonstrada a importância da manutenção de um equilíbrio atuarial durante a existência de um regime

próprio de previdência social, não é esta a situação atualmente encontrada em Santa Catarina. O instituto de previdência não tem ativos financeiros (Santa Catarina, 2023).

Conforme se extrai do relatório de avaliação atuarial de 2023, verifica-se que o déficit atuarial do Regimes Próprios de Previdência Social de Santa Catarina (RPPS-SC) representava R\$ 87,32 bilhões em 2022 e o valor subiu para R\$ 113,09 bilhões em 2023. Variação derivada, principalmente, pelos reajustes observados nas remunerações e proventos dos servidores (Santa Catarina, 2023). Destaque-se que não há equilíbrio atuarial sem acumulação de recursos, haja vista que tal equilíbrio deriva da diferença entre os bens e direitos acumulados (ativo atuarial) e as obrigações contraídas (passivo atuarial). Como consequência direta da situação supra descrita, o déficit atuarial continua crescendo, potencializado pela inércia do Estado em estabelecer uma política de investimentos eficiente para equilibrar o passivo atuarial.

Desta forma, tomando como ponto de partida tais inquietações, este trabalho traz como questão de pesquisa: **Quais opções de investimentos podem contribuir para a sustentabilidade do Instituto de Previdência do Estado de Santa Catarina (IPREV-SC)?** Assim, o objetivo do trabalho consistiu em analisar opções de investimentos que podem contribuir para a sustentabilidade do Instituto de Previdência do Estado de Santa Catarina. No desenvolvimento do trabalho são relacionadas três premissas. Inicialmente, tem-se como premissa que o estudo integrado entre ativos e passivos previdenciários traz mais segurança e adequabilidade ao Instituto (Luz, 2019; Mitra, Schwaiger, 2011; Oliveira, 2014; Santos, Lima, 2019; Sarquis, Frigeri, Sousa, 2014; Silva, 2015; Wise, 1984).

Avaliar o tipo de passivo e identificar o ativo ideal para honrar com o seu respectivo pagamento de forma tempestiva é essencial para um regime de previdência sustentável. Adicionalmente, considera-se que o uso de inteligência artificial pode contribuir na escolha e na otimização de investimentos. Com isso, além de obter os melhores investimentos disponíveis,

há a possibilidade de otimização de retorno e risco, trazendo uma rentabilidade com baixo risco (Agarwal *et al.*, 2006; Camargo, 2023; Haeser, Gomes, 2008; Markowitz, 1952; Pavlou, Doumpos, Zopounidis, 2018; Roriz, 2018). Tem-se como terceira premissa a concepção de que os investimentos, depois de passarem simultaneamente no crivo da adequabilidade e da otimização, devem ser testados em um cenário real de investimento, de forma a demonstrar o benefício financeiro gerado ao RPPS-SC.

Vale ressaltar que, no que concerne aos investimentos, é na análise do investimento e na sua adequação à política de investimentos do RPPS que se encontra a maioria das soluções de déficit financeiro e atuarial. Assim, a gestão de ativos e passivos (ALM) nos traz a garantia de escolha de fundos de investimento que se adequam à legislação correlata e à política de investimentos proposta (Luz, 2019; Mitra, Schwaiger, 2011; Oliveira, 2014; Santos, Lima, 2019; Sarquis, Frigeri, Sousa, 2014; Silva, 2015; Wise, 1984). Em fase posterior, os ativos mais indicados podem ser otimizados por algoritmos. Além disso, atuam de forma eficiente ao memorizar a rentabilidade de milhares ou milhões de possibilidades e só aceitar valores que superem os valores anteriormente maximizados (Camargo, 2023; Duan, 2007; Fontoura, 2019; Krink, Patterlini, 2008; Pavlou, Doumpos, Zopounidis, 2018; Roriz, 2018).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gestão integrada de ativos e passivos

Fatores como taxa de juros de longo prazo, idade média dos segurados, receitas do instituto, taxa de inflação, entre outros, devem ser analisados para que se estabeleça uma carteira de investimentos que garanta a concessão futura de benefícios (Wise, 1984). O conceito é conhecido como gestão integrada de ativos e passivos, que vem do inglês *Asset and Liabilities Management* (ALM).

De forma complementar, Mitra e Schwaiger (2011) destacam que o estudo das técnicas de ALM são um diferencial para os fundos de previdência. A ideia consiste em adequar o ativo de acordo com as exigibilidades que o gestor tem pela frente. Assim, o passivo atuarial calculado anualmente deve ser compensado por um ativo atuarial de igual montante, momento em que devem ser considerados os produtos financeiros, bem como qual deles seriam adequados para realizar essa tarefa.

Na mesma direção, Oliveira (2014), dispõe que a técnica de ALM é uma aliada dos gestores de investimentos em previdência, uma vez que permite simular, projetar e planejar o posicionamento estratégico mediante diferentes futuros cenários econômicos. Aliás, a análise macroeconômica é um aspecto importante nesta análise, pois é a partir dos indicadores inflacionários, de taxas de juros, entre outros, que são definidas as estratégias de investimento. Além disso, destaca que essa técnica traz visibilidade e transparência ao processo de planejamento de políticas de investimento, valores associados a uma governança empresarial de qualidade.

Ao escolher as opções de investimento disponíveis, Sarquis, Frigeri e Sousa (2014) destacam que a gestão de um RPPS deve buscar sempre uma melhor captação de recursos. Para esse fim, os autores pontuam que o ponto principal a ser considerado é o retorno dos investimentos. É neste ponto que o gestor de investimentos deve concentrar seus esforços. A escolha dos produtos e das soluções depende, primariamente, da inflação e da taxa de juros a termo do mercado.

Com relação aos juros, Assaf Neto (2012) destaca que a taxa de juros é o preço do dinheiro, a remuneração que o tomador de um empréstimo paga ao doador de recursos. Segundo o autor, os fatores fundamentais que afetam os juros são: a expectativa de inflação; o risco do tomador de recursos; a liquidez do mercado e o risco conjuntural. Os juros afetam decisões de investimento e de consumo de bens duráveis, que precisam de financiamentos bancários. Uma alta de juros é seguida por uma demanda maior por títulos de renda fixa, enquanto menos juros impulsionam o mercado de renda variável.

A estrutura a termo das taxas de juros (ETTJ) tem por objetivo expressar a relação entre a taxa de juros e o prazo (maturidade) do investimento. Mostra como as taxas de juros variam à medida que o vencimento dos instrumentos financeiros aumenta. Em outras palavras, a ETTJ revela o comportamento dos juros ao longo do tempo. No Brasil, a ETTJ é construída a partir de contratos futuros de juros, a exemplo do tesouro prefixado – LTN (Assaf Neto, 2012).

As curvas de juros podem assumir diferentes formatos, indicando as expectativas dos investidores em relação às taxas de juros futuras. A curva normal reflete a expectativa de expansão da economia, ou seja, as taxas de juros de longo prazo são maiores do que as taxas de curto prazo. Assim, há taxas de juros mais altas para compensar a potencial inflação no futuro e os investidores exigem maiores retornos. Quando a curva de rendimento está invertida, as taxas de juros de curto prazo são maiores do que as taxas de longo prazo, o que pode indicar uma perspectiva de desaceleração econômica, além de condições econômicas adversas. Uma curva de rendimento plana ocorre quando não há uma grande diferença entre as taxas de juros de curto e longo prazo, refletindo incerteza em relação à política monetária a ser adotada pelo regulador (Varanta, Santos, Melo, 2019).

No caso de uma curva de rendimento côncava, as taxas de juros de curto prazo são mais baixas do que as de prazo intermediário e as taxas de longo prazo podem ser mais altas do que as de prazo intermediário, o que pode refletir a expectativa de um aumento temporário das taxas de juros de curto prazo. Isso pode acontecer no caso de uma política monetária restritiva temporária, seguida por uma política regulatória expansionista, com a respectiva queda de juros. Por fim, há também a curva de rendimento íngreme, que ocorre quando há uma diferença significativa entre as taxas de juros de curto e longo prazo. Esse padrão pode refletir a expectativa de uma expansão econômica robusta (Assaf Neto, 2012).

A partir da análise dessas curvas, Mitra e Schwaiger (2011) pontuam que o RPPS calcula uma meta atuarial anual que garanta o pagamento

das aposentadorias vindouras. Ou seja, uma remuneração anual que consiga trazer um equilíbrio atuarial entre ativos e passivos. Destaque-se que, quando o ativo atuarial supera o passivo atuarial, a diferença pode ser utilizada para os passivos financeiros, ou seja, os gastos recorrentes do instituto como aposentadorias já autorizadas (Camargo, 2023).

Como o passivo atuarial dos RPPS é obrigatoriamente calculado por um atuário por meio de um relatório de avaliação atuarial anual, é preciso realizar um investimento, com base em uma análise macroeconômica preliminar, que tenha o mesmo montante do cálculo do passivo, além de uma rentabilidade anual, que geralmente compõe-se de inflação mais uma taxa definida pelo instituto com base na ETTJ (Oliveira, 2014).

A ETTJ também é a base para descontar o valor do passivo atuarial dos RPPS. Inclusive, para os Regimes Próprios, é a Portaria MTP n.º 1.467/2022 que define o valor para trazer o passivo atuarial a valor presente, com base na ETTJ. O art. 1º do anexo VII da norma destaca que essas taxas devem considerar o ponto da ETTJ o mais próximo à duração do passivo do regime. Ou seja, conforme a Tabela 1, um RPPS com passivo médio de 25 anos poderia descontar o passivo atuarial, para o ano de 2022, em 4,97% de seu valor total. Passada essa fase, é necessário avaliar a estrutura macroeconômica atual para a consecução da nova política de investimentos do RPPS e sua nova meta atuarial, que é a escolha da taxa média para remunerar seus investimentos.

Essa avaliação é necessária por conta do princípio do equilíbrio financeiro e atuarial, que hoje tem status constitucional (Brasil, 1988). Nogueira (2012) destaca que o equilíbrio financeiro se refere à equiparação entre as receitas auferidas e as obrigações de cada exercício financeiro, que é a cobertura de benefícios previdenciários imediatos. Por outro lado, o equilíbrio atuarial seria a cobertura destes benefícios no longo prazo. Para esse fim é que é necessária a gestão entre ativos e passivos.

O estudo de ALM traz vários benefícios na projeção de fluxos de caixa, no equilíbrio financeiro e atuarial e também para a gestão entre ativos e passivos dos regimes (Santos, Lima, 2019). Os autores destacaram que não havia determinação legal para a utilização de Modelo ALM na gestão de ativos e passivos dos RPPS, mas recentemente isso mudou com o Programa de Certificação Institucional e Modernização da Gestão dos Regimes Próprios de Previdência Social da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios (Pró-Gestão).

O Pró-Gestão é um recente trabalho desenvolvido pelo Ministério da Previdência, que estabelece uma escala de gestão para aferir o grau de governança nos Regimes Próprios e tem como base o cumprimento de regras definidas na Portaria MTP n.º 4.248/22. Assim, por meio de uma certificação que envolve exames, critérios de acessibilidade e capacitações, os regimes próprios conseguem atingir níveis de governança mais elevados.

Inclusive, a variação de limites de investimentos encontra respaldo nos níveis de governança que o RPPS atinge. Quanto maior o nível, maior a liberdade de investimentos. Vale ressaltar que a gestão entre ativos e passivos (ALM) é obrigatória a partir do nível II do Pró-Gestão. Como resultado, atualmente, vários RPPS's passaram a contratar economistas para realizarem o estudo de ALM, como Jaraguá do Sul e Itajaí. A ideia é ter mais liberdade de gestão com níveis mais altos de governança.

O modelo ALM incorpora as regulamentações legislativas e os requisitos de solvência (Luz, 2019). A razão de solvência representa a relação de longo prazo entre os ativos financeiros e os passivos financeiros. Essa relação, quando equilibrada, é chamada de equilíbrio atuarial. Assim, é preciso fazer análises de cunho estatístico e macroeconômico para calcular não só a meta atuarial do instituto, mas a quantidade de ativos que garanta o pagamento dos passivos de longo prazo (solvência).

Luz (2019) testou a eficácia do ALM no âmbito da previdência complementar do Rio de Janeiro e concluiu que o modelo otimiza o retorno e o risco dos investimentos analisados. Na mesma direção, Silva (2015) obser-

va que o ALM, especialmente quando se consideram as restrições legais e o resultado do plano a cada época, apresenta boa eficácia na relação entre ativo e passivo, fazendo com que haja maior sobra de recursos para o gestor que o utiliza. No entanto, a autora, em suas conclusões, destaca também que os modelos propostos poderiam ser aperfeiçoados pela implementação de algoritmos de otimização das carteiras baseados em processos.

2.2 Teoria do valor em finanças

A escolha de bons ativos de investimentos é uma tarefa bastante complicada, pois existem vários fatores a serem analisados. No entanto, há estudos que ajudam nessa análise (Alvarenga *et al.*, 2019; Barth *et al.*, 2001; Ball; Brown, 1968; Beaver, 1968; Bruni; Famá, 1998; Camargo, 2022; Elshandidy, 2014; Fama; French, 1993; Fama; French, 2015; Galdi; Lopes, 2008; Sharpe, 1964).

A base para escolher bons ativos é o Índice de Sharpe. A ideia de Sharpe foi analisar os investimentos e escolher apenas aqueles com máximo retorno (rentabilidade) e mínima volatilidade (risco) dentre os disponíveis: um índice para ajudar os investidores a entender o retorno potencial de um investimento em comparação com o seu risco. A ideia foi explicar se os retornos excedentes de uma carteira são decorrentes de decisões de investimento inteligentes ou resultado de muito risco. Quando o índice é positivo, o risco adicional com o investimento, em tese, valeria a pena. Se o Índice de Sharpe é negativo, não deverá haver aporte, haja vista que o ativo não traz retornos com o risco adicional (Sharpe, 1964). Com o passar dos anos, mais fatores começaram a ser analisados.

Como solução para esse impasse, a teoria dos três fatores, criada por Fama e French (1993), aumentou o espectro de análise de ativos. Em seu texto original, os autores criaram três fatores de análise: valor da empresa, tamanho e possibilidade de crescimento. Mais tarde, Fama e French (2015) propuseram um novo modelo, o modelo de precificação de ativos de cinco

fatores, adicionando duas novas variáveis: rentabilidade e investimento.

Vale destacar que Fama e French (2015) concluíram que o fator Valor seria redundante, já que não há diferença estatística quando se compara o modelo de cinco fatores com um modelo de quatro fatores, retirando-se o fator Valor. De acordo com o artigo, o retorno médio do fator é capturado pela exposição a outros fatores. Essa teoria foi se desenvolvendo e, atualmente, cientistas usam múltiplos fatores para análise, utilizando variáveis qualitativas (*Dummies*). A técnica se tornou tão importante que é utilizada pela Bolsa de Nova York (NYSE), por exemplo, para a análise de empresas e fundos. Então, os cientistas preocuparam-se em analisar também os fatores de forma isolada.

Quando se trata de fatores isolados, Ball e Brown (1968) destacam que lucros tendem a explicar 30% a 40% da precificação de um investimento. Já Beaver (1968) aponta que o reporte (divulgação) do lucro das empresas têm forte impacto no volume de negociação e no preço de seus ativos negociáveis. Além disso, sugere a criação de um modelo preditivo que capture essa valorização.

Em 1995, Ohlson trouxe o modelo de avaliação de lucros residuais que tenta explicar a relação entre lucros anormais e o respectivo preço de uma ação. Posteriormente (até os dias atuais) autores têm utilizado seu modelo como a referência em modelo de relevância, que é a análise de como a divulgação de resultados de uma empresa impactam o seu valor (Alvarenga *et al.*, 2019; Barth *et al.*, 2001; Elshandidy, 2014, Galdi, Lopes, 2008). Alvarenga *et al.* (2019), por exemplo, avaliam a relação entre resultados trimestrais e o valor da empresa, utilizando um vetor autorregressivo, que demonstra o percentual de impacto da variável no percentual de aumento. Paralelamente, Barth *et al.* (2001) e Elshandidy (2014) acrescentaram que as informações contábeis e financeiras não precisam ser novas para serem relevantes, o que nos faz buscar incluir relações de longo prazo em nossa análise. Inclusive, hoje, há algoritmos que avaliam essa relação de longo prazo e fazem projeções bem realistas.

Nessa linha, Galdi e Lopes (2008) foram os pioneiros em avaliar a relação de longo prazo e de causalidade entre o lucro contábil e o preço das ações de empresas da América Latina. Os autores descobriram, em linha com os autores anteriores, uma forte relação entre lucro contábil e valor da empresa. Em contraponto, Bruni e Famá (1998) invertem essa lógica e buscam investigar se os preços das ações, a longo prazo, impactam os resultados divulgados.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 Tipologias e etapas da pesquisa

Em relação às tipologias de pesquisa, adotou-se a classificações de Raupp e Beuren (2012). No que tange aos objetivos, a pesquisa é descritiva. Na tipologia quanto aos procedimentos, a pesquisa adotou a categoria de pesquisa documental. Em relação à abordagem do problema, a pesquisa é quanti-qualitativa. A descrição das etapas da pesquisa é apresentada na sequência.

a) Etapa 1 – Coleta de dados relativa a produtos financeiros: coleta de dados diários das ofertas de fundos disponíveis nos portais da B3 (fundos listados em bolsa), no período histórico de março de 2020 a dezembro de 2022; coleta de dados diários de títulos públicos disponíveis na data de corte escolhida; e coleta de dados diários de fundos da Comissão de Valores Mobiliários (CVM) (fundos não listados) relativos ao ano de 2022;

b) Etapa 2 – Estudo de ALM do IPREV-SC: avaliação de ativos e passivos da previdência própria dos Servidores de Santa Catarina a partir do cenário macroeconômico vigente em 31/12/2022 (período posterior mais próximo da coleta de dados de produtos financeiros);

c) Etapa 3 – Análise das opções de investimento: coletados os dados diários de ofertas de fundos disponíveis e feita a avaliação dos ativos e

passivos do IPREV-SC, realizou-se uma análise de quais produtos eram mais adequados para compor o ativo previdenciário;

d) Etapa 4 – Propostas de otimização: geração de um conjunto de possibilidades de investimento a partir da análise, integração e descrição dos dados e informações identificados nas etapas 2 e 3, utilizando algoritmos de otimização evolutivos;

e) Etapa 5 – Teste real de rentabilidade do investimento: as soluções de investimento das etapas 1 a 3 e a carteira de melhor rentabilidade da etapa 4 serão testadas no ano de 2023 com dados oficiais, de forma a demonstrar o benefício financeiro gerado.

3.2 Técnicas de coleta de dados

A coleta de dados envolveu várias fontes, a partir das quais foram extraídos dados julgados necessários para as análises que seriam empreendidas: as opções de investimentos disponíveis para a previdência, que podem ser encontradas na base de dados da B3, do Tesouro Direto e da CVM; os dados do estado de Santa Catarina (SC), mais especificamente a Previdência Própria dos Servidores Estaduais, gerida pelo IPREV-SC, que podem ser encontrados no Sistema de Informações dos Regimes Públicos de Previdência Social (Cadprev); e a extração de dados macroeconômicos, que será detalhada na proposta de estudo de ALM. O Quadro 1 apresenta um resumo das fontes e tipos de dados coletados.

Quadro 1 – Categoria, fonte e tipos de dados coletados

Categoria	Fonte	Tipo
Primário	Tesouro Direto	Dados diários dos títulos públicos disponíveis para investimento no mês de dezembro de 2022.
Primário	CVM	Dados diários dos Fundos de Investimentos disponíveis na autarquia no período de 2022.
Primário	B3	Dados diários dos Fundos Imobiliários e Fundos de Índice listados no período de 2020 a 2022.
Primário	CADPREV	Dados previdenciários do IPREV-SC de 2022.
Primários e Secundários	Diversas	Dados micro e macroeconômicos na data de 22 de dezembro de 2022.

Fonte: dados da pesquisa (2023).

Os dados primários relativos aos títulos públicos foram obtidos por meio de raspagem ou “*webscrapping*” no site do Tesouro Direto, por meio do *software* Spyder, que utiliza a programação Phyton. O período escolhido foi o mês de dezembro de 2022, com o intuito de escolher os produtos mais adequados para o ativo financeiro do IPREV-SC para o ano de 2023.

Os dados primários relativos aos fundos CVM foram obtidos por meio de raspagem ou *webscrapping* no site da CVM, a partir do *software* Spyder, que utiliza a programação Phyton. Em um primeiro momento, todas as informações diárias dos Fundos CVM (não listados na B3) foram coletadas (mais de 12 milhões de dados).

Já para os fundos de renda variável listados, no caso dos fundos imobiliários (Fiis), foi necessário programar via Spyder a coleta de dados dos 458 Fiis listados na B3. Os dados foram obtidos por meio de raspagem ou *webscrapping* na plataforma do Yahoo Finance. A CVM disponibilizou toda a sua base de dados a partir de 2020. Nestes termos, o período para análise de volatilidade e preço de ativos de renda variável tem que ser um pouco maior, cerca de três anos. O período utilizado foi de abril de 2020 a dezembro de 2022, pois foram eliminados os meses referentes ao início da pandemia do covid-19 (janeiro a março de 2020).

O mesmo procedimento foi realizado com os fundos que replicam índices (ETF's). Também foi necessário programar via Spyder a coleta de dados de todos os ETF's listados na B3. O mecanismo de coleta de dados foi o mesmo utilizado para os Fiis. Destaque-se que, nos anexos deste estudo, foram disponibilizados, além do código realizado para este fim, links do Google Colab para a programação feita. A ideia é incentivar a utilização do mecanismo e oferecer uma possibilidade de utilizar os dados de forma gratuita.

Para os dados primários do IPREV-SC foi utilizada a *Application Programming Interface* (API) do Sistema de Informações dos Regimes Públicos de Previdência Social (Cadprev). O Cadprev é um aplicativo utilizado para a elaboração dos demonstrativos exigidos pela Secretaria de Previdência (SPREV), dentre eles o Demonstrativo de Informações Previdenciárias e Repasses (DIPR), o Demonstrativo de Resultados da Avaliação Atuarial (DRAA) e o Demonstrativo das Aplicações e Investimentos de Recursos (DAIR). Para obtenção de dados de todos esses demonstrativos foi utilizada técnica de raspagem de dados por meio do *software* RStudio, que utiliza a linguagem de programação "R".

Já para os dados micro e macroeconômicos brasileiros foram utilizados os dados de diversas fontes. O estudo preliminar de ALM trouxe a necessidade de avaliar dados complementares do cenário internacional e do cenário nacional.

3.3 Proposta de estudo de ALM

O estudo de ALM foi feito preliminarmente à análise dos dados relativos aos produtos financeiros, haja vista que os resultados encontrados foram a base de escolha dos produtos que seriam adequados a uma possível carteira de investimentos do IPREV-SC. A base do estudo foi a análise do cenário internacional, nacional e questões atuariais do próprio instituto de previdência catarinense. O quadro a seguir resume os tipos de dados coletados.

Quadro 2 – Categoria, fonte e tipos de dados do Estudo de ALM

Categoria	Fonte	Tipo
Primário	OCDE (API Dbnomics)	Dados relativos ao Produto Interno Bruto (PIB), ao desemprego, à inflação e aos juros das maiores economias do mundo (China, Índia, Estados Unidos da América e 20 países da Europa Ocidental, além do Brasil).
Primário	IBGE (API Sidra)	Dados nacionais relativos ao PIB.
Primário	IBGE (API Sidra)	Dados do mercado de trabalho relativos à Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD) e ao Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED).
Primário	IBGE (API Sidra)	Dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) relativos ao Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) e seus núcleos.
Primário	Bacen (API dados Abertos)	Dados relativos à Sistema Especial de Liquidação e Custódia (Selic).
Secundário	Bacen (Site)	Dados macroeconômicos do Boletim Focus na data 22 de dezembro de 2022 e Dados relativos a empréstimos consignados do relatório de economia bancária de 2022.

Fonte: dados da pesquisa (2023).

Em relação ao cenário internacional, utilizou-se a base de dados da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), que possui uma publicação mensal com vários indicadores. Os dados são distribuídos em quatro grandes áreas: nível de atividade, mercado de trabalho, inflação e política monetária. Nestes termos, foram coletados, em cada uma destas áreas respectivas, dados relativos ao Produto Interno Bruto (PIB), ao desemprego, à inflação e aos juros das maiores economias do mundo (China, Índia, Estados Unidos da América e 20 países da Europa Ocidental, além do Brasil). Os dados foram obtidos por meio de raspagem de dados ou *webscrapping* na plataforma DBnomics por meio do *software* Spyder, que utiliza a programação Phyton.

Já no cenário nacional, seguindo a mesma lógica da OCDE, foram coletados dados de quatro grandes áreas: nível de atividade, mercado de trabalho, inflação e política monetária. Primeiramente, em relação ao nível de atividade, foram coletados dados do Instituto Brasileiro de Geogra-

fia e Estatística (IBGE) relativos ao PIB. Os dados foram obtidos por meio de raspagem de dados ou *webscrapping* na plataforma SIDRA, por meio do *software* Spyder, que utiliza a programação Phyton.

Em relação ao mercado de trabalho, foram coletados dados do IBGE relativos à Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD) (IBGE, 2015) e ao Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED) (TEM, 2016). Os dados do CAGED e da PNAD foram obtidos por meio de raspagem de dados ou *webscrapping* na plataforma SIDRA, por meio do *software* Spyder, que utiliza a programação Phyton. Posteriormente, em relação à inflação, foram coletados dados do IBGE relativos ao Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) e seus núcleos. Wynne (1999) destaca que, em geral, os componentes retirados do índice de inflação são alimentos, energia e efeitos dos impostos indiretos. Assim, os bancos centrais divulgam medidas de núcleo baseadas nesta abordagem. Os dados relativos ao IPCA também foram obtidos por meio de raspagem de dados ou *webscrapping* na plataforma SIDRA, por meio do *software* Spyder, que utiliza a programação Phyton.

Para a área de política monetária, foram coletados dados relativos à Selic. Os dados foram obtidos por meio de raspagem de dados ou *webscrapping* pela API Dados abertos do Banco Central do Brasil (Bacen), por meio do *software* Spyder, que utiliza a programação Phyton. Os dados secundários foram extraídos do boletim Focus, de 22 de dezembro de 2022, e também dos dados relativos aos empréstimos consignados do Relatório de Economia Bancária (REB), de 2022, ambos do Bacen.

3.4 Técnicas de análise de dados

A análise de dados envolveu duas fases: análise de investimentos em renda fixa e análise de investimentos em renda variável. No caso de títulos públicos, os produtos foram escolhidos a partir do estudo de ALM. Ao avaliar as opções disponíveis no site do Tesouro Direto, foi possível escolher a melhor opção a partir da meta atuarial do IPREV-SC.

Já para os fundos de renda fixa, foi criado um índice de performance (KPI) para os dados de Fundos de Investimentos coletados. Por meio de programação na linguagem Python, foram utilizados filtros que cumpriam a legislação de regência dos RPPS, qual seja, a Resolução CMN n.º 4963/2021. Nestes termos, foram selecionados fundos que tinham um mínimo de 1.000 cotistas, com o intuito de diminuir o risco de liquidez e patrimônio líquido robusto, para diminuir o risco de crédito. Depois, foram analisadas as rentabilidades dos fundos disponíveis, com a finalidade de escolher o melhor fundo em termos de performance no período de coleta.

Por outro lado, a análise de dados para os fundos de renda variável envolveu várias etapas. A questão é que, como se tratam de investimentos de longo prazo, é necessário avaliar todos os tipos de risco que os produtos estão sujeitos, além de características que sejam adequadas aos investimentos previdenciários. O Quadro 3 apresenta um resumo dos procedimentos realizados.

Quadro 3 – Etapas e técnicas de análise de dados

Etapas	Técnica
Criação de um índice de performance (KPI) para os fundos disponíveis	Índices de performance
Criação de uma carteira de investimentos com pesos aleatórios com base na Fronteira Eficiente de Markowitz	Fronteira Eficiente de Markowitz
Otimização da carteira de investimentos com a ajuda de algoritmos de otimização	Algoritmos de otimização
Análise comparativa de resultados	Revisão analítica

Fonte: dados da pesquisa (2023).

Quanto aos parâmetros utilizados, primeiramente foi feito um índice de performance (KPI) para os fundos, com o intuito de filtrar aqueles mais aderentes a um investimento seguro de longo prazo. Em seguida, foi criada uma carteira com pesos aleatórios com base na Fronteira Eficiente de Markowitz. O terceiro passo foi otimizar a carteira via risco/retorno com a ajuda dos algoritmos de otimização. Foram feitos testes com 6 algoritmos: *hill climbing*, *simulated annealing*, algoritmo Genético,

Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA2), *Particle Swarm Optimization* (PSO) e Evolução Diferencial (DE). Por fim, foi feita a comparação da rentabilidade entre as carteiras escolhidas de forma aleatória com as carteiras geradas pelos algoritmos.

4 RESULTADOS

4.1 Títulos públicos

Seguindo a linha das evidências encontradas no Estudo ALM, foi feita uma busca das ofertas de títulos públicos IPCA+ em dezembro de 2022.

Tabela 1 - Preço e taxa de compra do tesouro IPCA+, em dezembro de 2022

Tipo de Título	Data Vencimento	Data Base	Taxa Compra Manha	PU Compra Manha
Tesouro IPCA+	15/05/2045	29/12/2022	6,16	1053,75
Tesouro IPCA+	15/05/2045	28/12/2022	6,21	1041,68
Tesouro IPCA+	15/05/2045	27/12/2022	6,33	1015,38
Tesouro IPCA+	15/05/2045	26/12/2022	6,35	1010,74
Tesouro IPCA+	15/05/2045	23/12/2022	6,33	1015,04
Tesouro IPCA+	15/05/2045	22/12/2022	6,47	984,9
Tesouro IPCA+	15/05/2045	21/12/2022	6,37	1005,35
Tesouro IPCA+	15/05/2045	20/12/2022	6,44	990,27
Tesouro IPCA+	15/05/2045	19/12/2022	6,43	991,93
Tesouro IPCA+	15/05/2045	16/12/2022	6,41	995,68
Tesouro IPCA+	15/05/2045	15/12/2022	6,29	1020,3
Tesouro IPCA+	15/05/2045	14/12/2022	6,42	992,4
Tesouro IPCA+	15/05/2045	13/12/2022	6,32	1013,08
Tesouro IPCA+	15/05/2045	12/12/2022	6,28	1021,25
Tesouro IPCA+	15/05/2045	09/12/2022	6,19	1040,38
Tesouro IPCA+	15/05/2045	08/12/2022	6,29	1019,19
Tesouro IPCA+	15/05/2045	07/12/2022	6,2	1038,24
Tesouro IPCA+	15/05/2045	06/12/2022	6,11	1057,67

Tabela 1 - Preço e taxa de compra do tesouro IPCA+, em dezembro de 2022 (continuação)

Tipo de Título	Data Vencimento	Data Base	Taxa Compra Manhã	PU Compra Manhã
Tesouro IPCA+	15/05/2045	05/12/2022	6,04	1072,95
Tesouro IPCA+	15/05/2045	02/12/2022	5,93	1097,7
Tesouro IPCA+	15/05/2045	01/12/2022	6,06	1067,15

Fonte: elaborada com base em dados do Tesouro Direto (2024).

Conforme a Tabela 1, no dia 28 de dezembro de 2022, os valores do tesouro IPCA+, com vencimento em 15 de maio de 2045, taxa de IPCA + 6,21% ao ano (a.a.) e preço unitário de R\$1041,68. Esse valor já garante a rentabilidade contratada para o RPPS após um ano na marcação na curva (taxa garantida).

4.2 Empréstimos consignados

Para os empréstimos consignados, foi escolhida a taxa média de empréstimos consignados para servidores divulgado pelo Relatório de Economia Bancária do Bacen de 2022. O valor divulgado para novembro de 2022 foi de 1,97% ao mês (a.m.) (Bacen, 2023).

Tabela 2 – Estimativa da taxa de juros efetiva anual para crédito pessoal e consignado (amostra 2013.01 – 2019.12)

Variáveis	Modalidade de empréstimo			
	Consignado (1)	Consignado (2)	Pessoal (1)	Pessoal (2)
Sem rendimento	2,638*** (0,0228)	3,109*** (0,0949)	74,79*** (0,629)	62,34*** -1,029
Renda até 1 salário mínimo (s.m.)	2,548*** (0,0228)	3,161*** (0,0835)	54,53*** (0,366)	43,10*** (0,349)
Renda entre 1 e 2 s.m.	2,458*** (0,0228)	2,872*** (0,0788)	39,44*** (0,292)	26,86*** (0,257)
Renda entre 2 e 3 s.m.	2,216*** (0,0225)	2,639*** (0,0760)	28,82*** (0,257)	20,61*** (0,252)
Renda entre 3 e 5 s.m.	1,908*** (0,0222)	2,333*** (0,0775)	19,32*** (0,214)	12,68*** (0,241)
Renda entre 5 e 10 s.m.	1,434*** (0,0216)	1,779*** (0,0736)	9,501*** (0,163)	5,792*** (0,227)
Renda entre 10 e 20 s.m.	0,463*** (0,0179)	1,177*** (0,0677)	1,474*** (0,108)	0,300 (0,215)
Aposentado (INSS)	-0,959*** (0,0149)	0,0829*** (0,0188)	-0,545*** (0,104)	-4,930*** (0,313)
Servidor público	-2,524*** (0,0197)	-2,082*** (0,0206)	-11,40*** (0,131)	-9,206*** (0,122)
Trabalhador informal	-	-	2,069*** (0,0582)	
<i>Pull Request (Pr.) Default</i>	1,497*** (0,0279)		41,50*** (0,568)	
Educação financeira		-0,0865*** (0,00250)		-1,285*** (0,0124)
Constante	29,83*** (0,0629)	31,17*** (0,178)	109,1*** (0,422)	171,4*** (0,924)
Número de observações	20.518.626	1.863.378	24.093.347	3.750.840
R2	0,208	0,179	0,278	0,292

Tabela 2 – Estimativa da taxa de juros efetiva anual para crédito pessoal e consignado (amostra 2013.01 – 2019.12) (continuação)

Variáveis	Modalidade de empréstimo			
	Consignado (1)	Consignado (2)	Pessoal (1)	Pessoal (2)
Controle risco	Não	Sim	Não	Sim
Efeito fixo tempo	Sim	Sim	Sim	Sim
Efeito fixo municipal	Sim	Sim	Sim	Sim

*Desvio padrão robusto em parênteses; ***p<0,001, **p<0,05, *p<0,1.

*Todas as regressões são controladas para prazo, empréstimo, idade e gênero.

Fonte: Relatório de Economia Bancária (Bacen, 2022).

Para o empréstimo consignado, as taxas de juros recuam de 28,49% a.a. em média para indivíduos que possuem salários de até um salário mínimo, para 23,21% a.a. quando considerou-se apenas as pessoas com rendimentos acima de 20 salários mínimos.

4.3 Fundos de investimentos disponíveis

A começar pelos Fundos Cambiais, verificou-se que todos performaram abaixo da Selic. Uma desvalorização no dólar costuma impactar negativamente a rentabilidade destes fundos. A Figura 1 demonstra a rentabilidade dos fundos no ano de 2022.

Figura 1 - Rentabilidade dos melhores fundos cambiais no ano de 2022

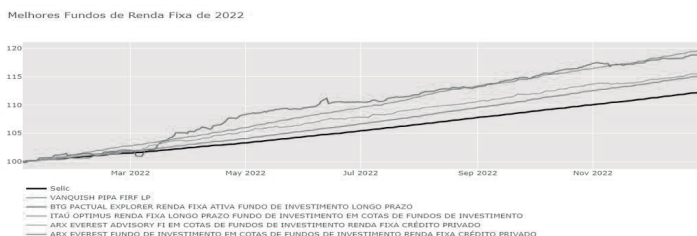
Melhores Fundos Cambiais de 2022



Fonte: elaborada com dados fornecidos pela CVM (2024).

Os fundos apresentaram alta volatilidade e baixa rentabilidade. Quando isso acontece, o investimento não é recomendável, haja vista que haverá menor retorno com maior risco em comparação com o investimento seguro em títulos públicos. Já em relação aos fundos de renda fixa, verificou-se que todos performaram acima da Selic.

Figura 2 - Rentabilidade dos melhores fundos de renda fixa no ano de 2022



Fonte: elaborada com dados fornecidos pela CVM (2024).

Neste caso, o investimento é recomendável. Acontece que o estudo ALM destacou a possibilidade de ganhos parecidos com títulos públicos, inclusive maior do que a taxa já garantida, pois a projeção de juros para o ano de 2023 foi de baixa pelo Comitê de Política Monetária (Copom). Além disso, fundos de renda fixa ainda possuem um forte risco de crédito por serem de gestores privados. Nestes termos, optou-se por não investir em fundos de renda fixa. Em relação aos fundos multimercado, similarmente aos fundos de renda fixa, verificou-se que todos performaram acima da Selic.

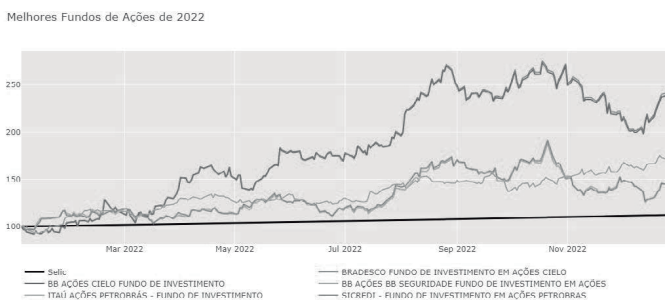
Figura 3 - Rentabilidade dos melhores fundos multimercado no ano de 2022



Fonte: elaborada com dados fornecidos pela CVM (2024).

O problema é que os fundos apresentaram alta volatilidade. Este fato traz um risco que afronta os princípios elencados pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) nos investimentos em previdência, haja vista que expõe uma quantia financeira a uma volatilidade que não traz a prudência e a segurança necessárias para um investimento previdenciário de longo prazo. Em relação aos fundos de ações, verificou-se que todos performaram acima da Selic, como pode ser observado na Figura 4.

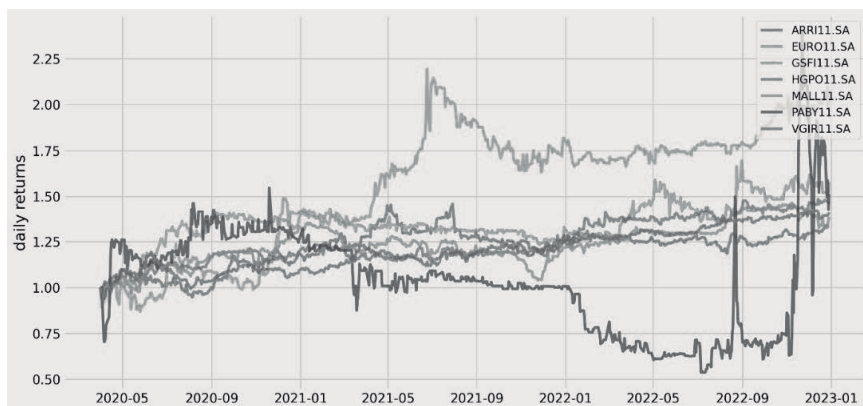
Figura 4 - Rentabilidade dos melhores fundos de ações no ano de 2022



Fonte: elaborada com dados fornecidos pela CVM (2024).

Seguindo a mesma lógica dos fundos multimercado, os fundos, apesar de apresentarem alta rentabilidade, também apresentaram alta volatilidade. Este fato faz com que os fundos não sejam adequados para investimentos para a previdência. Os fundos imobiliários, na linha do proposto pelo estudo de ALM, apresentaram boa rentabilidade e baixa volatilidade.

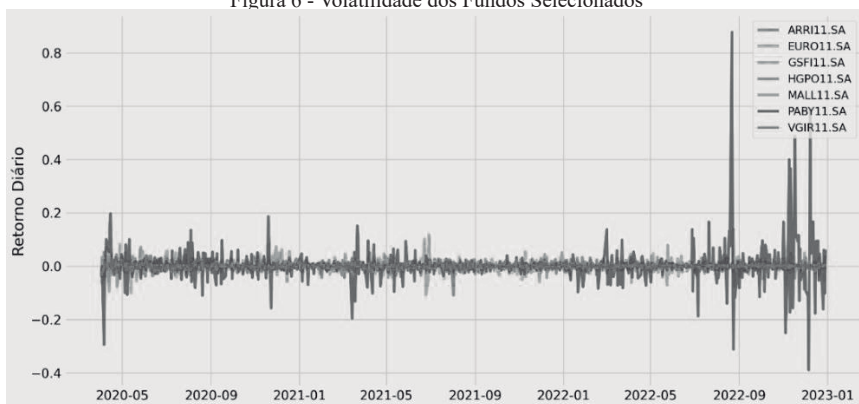
Figura 5 - Rentabilidade dos Melhores Fundos Imobiliários nos Anos de 2020 a 2022



Fonte: elaborada com base em dados da B3 (2024).

Ao analisar a Figura 5, verifica-se uma rentabilidade de cerca de 50% em todos os fundos. O destaque fica com o Fundo GSF11.SA, que apresentou retorno robusto acima dos 75%. Em seguida, apresenta-se a volatilidade.

Figura 6 - Volatilidade dos Fundos Seleccionados



Fonte: elaborada com base no Banco de Dados da B3 (2023).

Em termos de volatilidade, apenas o fundo PABY11.SA alcançou volatilidade acima de 25%, mas esse também é um percentual aceitável. As boas práticas de governança sugerem uma volatilidade de até 25% (uma perda pequena), com pequenas variações acima ou abaixo desse percentual em tempos de inflação alta. A carteira, que contou com pesos fixos (14,57% por ativo), não otimizados, no ano de 2022, veio com 38% de retorno e 12,5 % de volatilidade.

Os Fundos de Índice (ETFs), apresentaram retorno acima de 50%. O destaque ficou com o Fundo MATB11.SA, que apresentou retornos extraordinários acima de 100%. Em seguida, buscou-se os retornos normalizados dos fundos selecionados:

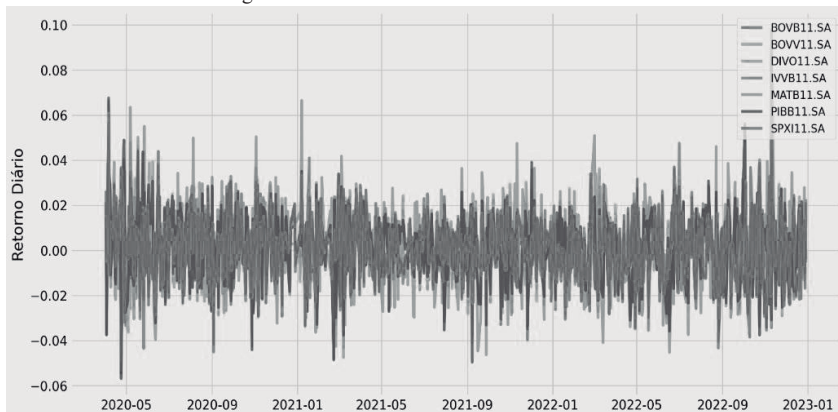
Figura 7 - Rentabilidade dos Melhores Fundos de Índice nos anos de 2020 a 2022



Fonte: elaborada a partir do Banco de Dados da B3 (2024).

A partir da figura, percebe-se que o MATB11 obteve a melhor performance em termos de retorno. Avançou-se, na sequência, para a análise da volatilidade da carteira.

Figura 8 - Volatilidade dos fundos selecionados

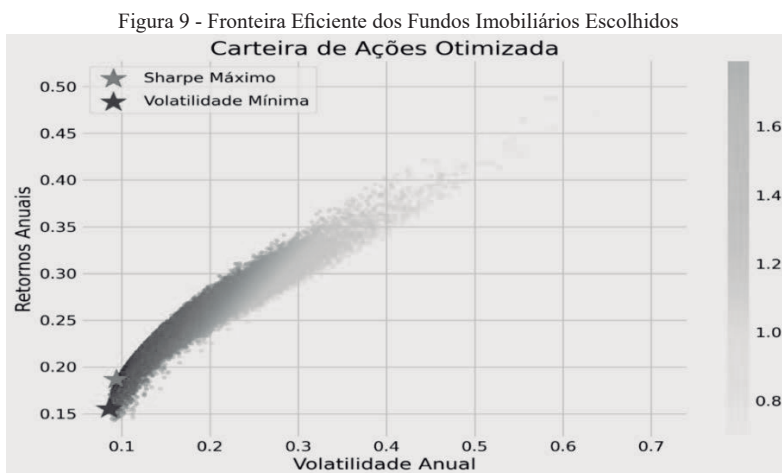


Fonte: elaborada a partir do Banco de Dados da B3 (2024).

Com exceção da volatilidade do fundo PIBB11.SA (perto de 12,5%), todos os fundos restantes apresentaram uma volatilidade comportada. A carteira, que contou com pesos fixos (14,57% por ativo), não otimizados, no ano de 2022, veio com -3% de retorno e 3,88 % de volatilidade.

4.4 Otimização de investimentos de renda variável

Em termos de volatilidade, apenas o fundo PABY11.SA alcançou volatilidade acima de 25%. A fronteira eficiente dos ativos automaticamente direcionou uma pequena porcentagem para o Fundo PABY11.SA, além de analisar a covariância entre os ativos, haja vista que ele apresenta performance inferior aos outros seis na relação retorno-risco, o que não afetou a carteira no nível geral de risco. A figura abaixo trouxe o resultado.



Fonte: dados da pesquisa (2024).

Conforme a figura, os retornos anuais situados na fronteira eficiente giraram em torno de 15% a 20%. O destaque ficou com a volatilidade, que ficou abaixo de 10%. Os pesos para cada ativo são descritos na tabela a seguir.

Tabela 3 - Percentual de Aplicação dos Fundos Analisados pela Fronteira Eficiente de Markowitz

Fundo	Percentual de alocação
ARRI11.SA	7.52
EURO11.SA	14.84
GSFI11.SA	12.21
HGPO11.SA	25.95
MALL11.SA	10.23
PABY11.SA	2.87
VGIR11.SA	26.38

Fonte: dados da pesquisa (2024).

A carteira trouxe uma volatilidade de 9% e retorno de 16%. O resultado está alinhado aos estudos já realizados em finanças (Agarwal et al., 2006; Carmargo, 2023; Castro (2014); Haeser, Gomes, 2008; Markowitz, 1952; Pavlou, Doumpos, Roriz, 2018; Zopounidis, 2018). Em todos os estudos foi constatado uma melhora na relação entre o retorno e o risco do investimento.

Assim, o passo posterior foi testar os algoritmos mono-objetivo e multiobjetivos de otimização. Dos quatro algoritmos testados, a melhor performance em termos de Índice de Sharpe foi a do algoritmo da evolução diferencial, conforme demonstrado na tabela a seguir.

Tabela 4 – Performance dos algoritmos testados

Algoritmo	Retorno	Risco	Índice de Sharpe Simplificado
Genético	70,23	21,74	3.23
PSO	71%	22,13%	3.24
Evolução Diferencial	66%	20.28%	3.28
NSGA2	68%	20,74%	3.27

Fonte: dados da pesquisa (2024).

É importante destacar que esse percentual de retorno, que varia entre 60% e 70%, refere-se a um período de 3 anos. Ao fazer uma média ponderada anual, o valor cai para 23% em 12 meses. O Índice de Sharpe simplificado, que pondera risco e retorno, trouxe um valor final de 3.28 pontos. A carteira criada pelo algoritmo da evolução diferencial veio com os seguintes pesos:

Tabela 5 - Percentual de Alocação do Algoritmo da Evolução Diferencial

Fundo	Percentual de alocação
ARRI11.SA	10,81%
EURO11.SA	17,22%
GSFI11.SA	12,06%
HGPO11.SA	17,91%
MALL11.SA	9,46%
PABY11.SA	3,11%
VGIR11.SA	29,40%

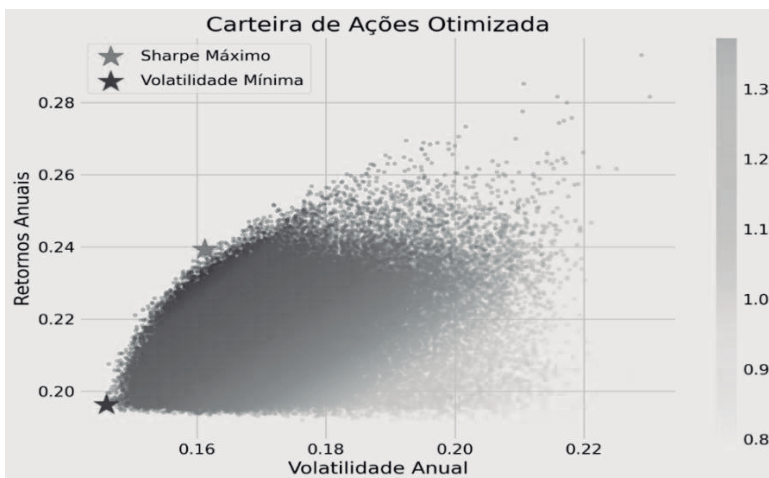
Fonte: dados da pesquisa (2024).

A maior porcentagem foi direcionada para o Fundo VGIR11.SA, com cerca de 29,40% da carteira. Outros dois fundos de destaque foram o Euro11.SA e o HPO11.SA que, juntos, representaram cerca de 35% do total investido. O retorno alcançado foi de 25,37% e a volatilidade de 7,98%.

Em resumo, partiu-se de um retorno de 16% e 9% de volatilidade com Markowitz e finalizou-se com 25% de retorno e 8% de volatilidade com os algoritmos. Não há evidências de regimes de previdência com o último percentual de performance, nem ao somar as rentabilidades dos anos de 2021, 2022 e 2023, conforme será apresentado.

Já os Fundos de Índice, que são compostos por muitos ativos, já na primeira fase, de escolha de investimentos, apresentaram um excelente retorno com baixo risco. O desafio da otimização, que vem para cumprir o segundo objetivo deste estudo, melhorou ainda mais o resultado, diminuindo o risco do investimento e aumentando o retorno. O primeiro passo foi o cálculo da fronteira eficiente sem o uso de algoritmos.

Figura 10 - Fronteira Eficiente dos fundos ETF selecionados



Fonte: elaborada a partir do Banco de Dados da B3 (2024).

Conforme a figura, os retornos situados na Fronteira Eficiente giraram em torno de 20% a 24%, com uma volatilidade abaixo de 16%. Os pesos para cada ativo são descritos na tabela a seguir.

Tabela 6 - Percentual de Alocação dos Fundos de Índice Pela Fronteira Eficiente

Fundo	Percentual de alocação
BOVB11.SA	6,15
BOVV11.SA	2,25%
DIVO11.SA	40,66%
IVVB11.SA	38,9%
MATB11.SA	0,89%
PIBB11.SA	3,2%
SPXI11.SA	7,94%

Fonte: dados da pesquisa (2024).

O maior percentual alocado em relação ao desempenho retorno/risco foi no ativo DIVO11.SA, com cerca de 40,66% dos recursos. A carteira veio com uma volatilidade de 15% e retorno de 20%. O passo posterior foi testar os algoritmos de otimização. Dos quatro algoritmos testados, a melhor performance nos termos do Índice de Sharpe simplificado (retorno (/) risco) foi a do algoritmo da evolução diferencial, conforme demonstrado a seguir.

Tabela 7 - Performance dos algoritmos testados

Algoritmo	Retorno	Risco	Índice de Sharpe
Genético	99,23	39,17	2.5301
PSO	115%	44,94%	2.5654
Evolução Diferencial	86,17%	33%	2.5849
NSGA2	99,22%	38,44	2.5809

Fonte: dados da pesquisa (2024).

Destaque-se que este percentual de retorno é referente ao período de 3 anos. Ao fazer uma média ponderada anual, o valor cai para 32,12% em 12 meses. A escolha do Índice de Sharpe simplificado, que pondera risco e retorno, trouxe um índice bem alto na evolução diferencial, cerca de 2.5840. O algoritmo Evolução Diferencial, que obteve a melhor performance, também foi o escolhido para realizar o teste real de rentabilidade no ano de 2023.

Tabela 8 - Percentual de alocação do algoritmo da evolução diferencial

Fundo	Percentual de alocação
BOVB11.SA	0,73%
BOVV11.SA	0,91%
DIVO11.SA	18,02%
IVVB11.SA	5,13%
MATB11.SA	44,87%
PIBB11.SA	0,32%
SPXI11.SA	29,99%

Fonte: dados da pesquisa (2024).

A maior parte do investimento foi alocado no Fundo MATB11.SA, com 44,87% dos recursos. O Fundo SPXI11.SA também recebeu uma quantia considerável, com 29,99% da parcela direcionada para o setor. O retorno ficou em 32,12% e o risco caiu para 5,24, em 12 meses.

4.5 Teste real de rentabilidade

O valor possível de investimento do IPREV-SC foi aplicado em uma carteira de investimentos que passou por todas as etapas financeiras propostas neste estudo: análise macroeconômica preliminar, análise de valor, estudo de ALM, avaliação de riscos e otimização. Com dados reais do mercado, a possível carteira investimentos foi submetida ao mercado de valores mobiliários, na exata proporção calculada na etapa do estudo de ALM. Os recursos foram investidos parte em títulos públicos (89%), parte em empréstimos consignados (1%), parte em fundos imobiliários (5%) e parte em Fundos de Índice (5%).

O intuito deste teste foi verificar a rentabilidade do investimento de forma prática. Uma coisa é analisar dados históricos e chegar a conclusões, outra é testar a estratégia com dados reais e concomitantes, submetendo-se a riscos diversos. Os resultados reais poderão ser avaliados pelo IPREV-SC na consecução de uma carteira própria de investimentos. Considerando o valor de R\$ 113.386.783.364,38, foram obtidas as seguintes rentabilidades.

Tabela 9 – Carteira de investimentos sugerida

Tipo	Segmento	Percentual de alocação	Rentabilidade em 2023	Rentabilidade média
Renda Fixa	Títulos do Tesouro Direto	89%	25%	24,667% (0.89*0.25+0.01*0.2974+0.05*0.211+0.05*0.213)
	Empréstimo Consignado	1%	29,74%	
Renda Variável	Fundos Imobiliários	5%	21,1%	
	Fundos de Índice	5%	21,3%	

Fonte: dados da pesquisa (2024).

Em relação aos títulos públicos, considerando que o valor de compra em 28 de dezembro de 2022 foi de R\$1.041,28 e o valor de venda em 28 de dezembro de 2023 foi de R\$1.281,02, a rentabilidade alcançada foi de $(1.281.02/1.021.88)$, o que perfaz um percentual de 1.2535 ou 25,35%. Considerando que os Títulos do Tesouro Direto (NTNB) representaram 89% de toda a carteira, a rentabilidade alcançada foi de 89% de R\$ 113.386.783.364,38, o que perfaz um valor de R\$25.590.984.681,60, cerca de R\$25 bilhões e meio em um ano.

Considerando a rentabilidade de 29,74% média em relação aos empréstimos consignados, que representaram 1% de toda a carteira, o valor total foi de 29,74%% de R\$ 1.133.867.833,64, o que perfaz um valor de R\$ 337.212.293.72. Os Fundos Imobiliários, que representaram 5% de toda a carteira, tiveram o valor direcionado para o investimento de R\$ 5.669.339.168,21, assim, a rentabilidade gerada foi de R\$ 1.196.230.564.494209. Por fim, ao aplicar o percentual de 5% nos Fundos de Índice, houve um retorno de R\$ 1.207.569.242,83. O valor final de rentabilidade de todos os produtos somados foi de R\$ 28.331.996.782,64.

A meta atuarial média no período foi de 9,62%. Considerando os dados analisados, verificou-se que a maioria dos RPPS atingiram ou ultrapassaram a meta, 96% dos RPPS. Quase 7% da amostra de RPPS analisados tiveram seus rendimentos acima de 15% no ano e, mesmo com o cenário mais propício para alcançar a meta, 0,84% dos institutos tiveram rendimento próximo a zero ou negativo.

No ano de 2021 a maioria dos RPPS (95%) tiveram retorno de suas carteiras individuais entre 3,39% e -2,29%. No ano de 2022, 51,02% dos institutos tiveram rentabilidade entre 5% e 9%. Já em 2023, a maior parte dos RPPS analisados (89%) tiveram retorno de suas carteiras entre 10% e 15%. Na média das 20 melhores rentabilidades o retorno foi de 18,24% e, analisando a média das 20 rentabilidades mais baixas, o retorno chegou a 2,34%.

Considerando 9,62% como a meta de rentabilidade média a ser alcançada (valor médio apurado nos RPPS brasileiros), o valor alcançado superou o percentual em 24,667% (-) 9,62% (=) 15.0470%. Com base no valor disponível de R\$ 113.386.783.364,38, esse percentual representa R\$ 13.044.809.265,67 ou cerca de 13 bilhões de reais.

5 CONCLUSÃO

O estudo teve por objetivo investigar se investimentos realizados de forma adequada e otimizada podem diminuir o problema do déficit previdenciário catarinense. Para isso, foram relacionados três pressupostos básicos. Primeiramente, que o estudo integrado entre ativos e passivos previdenciários traz mais segurança e adequabilidade ao instituto de previdência. Assim, avaliar o tipo de passivo e qual seria o ativo ideal para honrar com o seu respectivo pagamento de forma tempestiva é essencial para um regime de previdência sustentável. Na linha do proposto por esses estudos, os resultados demonstraram boa performance já na primeira fase. Houve um caso especial nos Fundos Imobiliários, que já desempenharam com 38% de retorno e 12,25% de volatilidade sem otimização, apenas com boas escolhas.

Já o segundo pressuposto é que o uso de inteligência artificial pode contribuir na escolha e na otimização de investimentos. O pressuposto também foi confirmado. No caso dos Fundos de Índice (ETFs), partiu-se de um retorno não otimizado, de -3% de retorno com 3,88% de volatilidade, para um retorno de 20% e 15% de volatilidade com Markowitz e finalizou-se com 32,12% de retorno e 5,24% de volatilidade com os algoritmos. Conforme já destacado, não há evidências de regimes de previdência com esse último percentual de performance, nem ao somar as rentabilidades do melhor instituto do Brasil nos anos de 2021, 2022 e 2023.

O terceiro pressuposto traz o fato de que as premissas devem ser testadas em um cenário real de investimento, de forma a demonstrar os

benefícios financeiros gerados em uma realidade prática. Mesmo sendo realizado em 2022, com dados históricos, as escolhas cuidadosas e o processo de otimização de pesos realizado trouxeram uma performance ao longo de 2023 que superou os próprios dados históricos.

No cenário real, no ano de 2023, foram alcançadas rentabilidades acima de 20% em todos os produtos. O valor do benefício gerado ao IPREV-SC foi de cerca de R\$28,3 bilhões, quantia que supera o déficit financeiro do instituto, a meta atuarial e ainda gera recursos vultosos para uma previdência que seja mais sustentável e segura para os beneficiários.

O benefício financeiro gerado ao RPPS-SC foi maior que o esperado, haja vista que o estudo de ALM apresentou produtos com baixa volatilidade, muito retorno e fácil liquidez. Tanto a utilização da fronteira eficiente quanto a utilização do algoritmo da evolução diferencial mostraram-se eficientes na escolha da ponderação de um portfólio de fundos de previdência e seus respectivos pesos. O ALM utilizado junto com algoritmos otimizadores superou a rentabilidade histórica, além de trazer opções seguras e rentáveis para o IPREV-SC.

A pesquisa demonstra que estratégias fundamentadas e tecnicamente adequadas podem superar as metas atuariais e gerar sustentabilidade financeira para regimes previdenciários como o do Instituto de Previdência de Santa Catarina. O artigo também apresenta contribuições práticas ao enfatizar como os métodos propostos podem ser aplicados em outros regimes previdenciários para mitigar problemas estruturais semelhantes. Portanto, conectou-se os achados empíricos ao referencial teórico, enfatizando o papel da inteligência artificial e de abordagens científicas na modernização da gestão pública.

Como contribuição, destaca-se também a aplicabilidade da solução aqui apresentada em diferentes contextos previdenciários. Portanto, como sugestão de estudos futuros, recomenda-se avaliar outros cenários, como o federal e o municipal, bem como outros estados como possibilidade de estudos comparativos, haja vista que os benefícios financeiros com o uso de

técnicas de gestão entre ativos e passivos, junto da otimização multiobjetivo, podem ser ainda mais abrangentes. Comparativos com outros regimes previdenciários e *benchmarks* internacionais também são encorajados.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, A.; HAZAN, E.; KALE, S.; SCHAPIRE, R. Algorithms for portfolio management based on the Newton method. **ACM International Conference Proceeding**, v. 148, p. 9-16, 2006.

ASSAF NETO, A. **Mercado Financeiro**. São Paulo: Atlas, 2012.

BALL, R.; BROWN, P. **An empirical evaluation of accounting income numbers**. London: Journal of Accounting Research 6, p. 159-177, 1968.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Atas do Comitê de Política Monetária - Copom - 253ª Reunião** - 21-22 março, 2023, Departamento Econômico (DEPEC), Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/atascopom/22032023> Acesso em: 22 mar. 2023.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Relatório de Economia Bancária**, Gerin, Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/content/publicacoes/relatorioeconomiabancaria/reb2022p.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2024.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Relatório Focus, Gerin**, Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/publicacoes/focus/17032023>. Acesso em: 20 mar. 2023.

BARTH, M. E.; BEAVER, W. H.; LANDSMAN, W. R. The relevance of the value relevance literature for financial accounting standard setting: Another view. **Journal of Accounting and Economics**, v. 31, p. 77-104, 2001.

BEAVER, W. H. The information content of annual earnings announcements. **Journal of Accounting Research**, p. 67-92, 1968.

BRASIL. **Conselho Monetário Nacional. Resolução nº 4.963/2021**. Brasília: CMN. 2021.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**, de 5 de outubro de 1988. Brasília: Assembleia Constituinte, 1988. Disponível em: <http://goo.gl/FPCa2T>. Acesso em: 22 mar. 2023.

BRASIL. Tesouro Direto. **Preços e taxas dos títulos ipca, pré e pós-fixados**. Brasília: Tesouro Direto, 2022. Disponível em: <https://www.tesouro-direto.com.br/titulos/precos-e-taxas.htm>. Acesso em: 22 mar. 2023.

BRASIL. Tesouro Nacional. **Relatório resumido da execução orçamentária do governo federal e outros demonstrativos**. Brasília: STN, 2013. Disponível em: <http://goo.gl/ozcI8o> Acesso em: 22 mar. 2023.

BRASIL. Ministério da Previdência Social. **Anuário Estatístico da Previdência Social 2013**. Brasília: MPS, 2014. Disponível em: <http://migre.me/tnG3d>. Acesso em: 29 mar. 3/2023.

BRASIL. **Relatório de avaliação atuarial do regime próprio de previdência social da União: servidores, aposentados e pensionistas civis dos poderes Executivo, Legislativo e Judiciário**. Brasília: MPS, 2015. Disponível em: <https://goo.gl/RUhwPB>. Acesso em: 22 mar. 2023.

BRUNI, A. L.; FAMÁ, R. Moderna teoria de portfólios: É possível captar, na prática, os benefícios decorrentes de sua utilização? **Resenha BM&F**, v. 128, p. 19-34. 1998.

CAMARGO, L. F. Algoritmo Hill Climbing como ferramenta de otimização de uma carteira de Investimentos em Previdência Pública. Encontro Brasileiro de Administração Pública, 10. **Anais**. Brasília, DF, SBAP, 2023.

CAMARGO, L. F. Value Relevance de resultados divulgados no preço de ações de empresas extrativas. Encontro Brasileiro de Finanças, 22. **Anais**. Vitória, ES, EBFIn, 2022.

DUAN, Y. C. A Multi-Objective Approach to Portfolio Optimization, **Rose-Hulman Undergraduate Mathematics Journal**, v. 8, n. 1, 2007.

ELSHANDIDY, T. Value Relevance of Accounting Information: Evidence from an Emerging Market. **Advances in Accounting**, v. 30, n. 1, p. 176-186, 2014.

FAMA, E.; FRENCH, K. Common risk factors in the returns on stocks and bonds. **Journal of Financial Economics**, v. 33, n. 1, p. 3-56, 1993.

FISHER, I. **The Theory of Interest, as Determined by Impatience to Spend Income and Opportunity**. New York: The Macmillan Company. 1930.

FONTOURA, A.; HADDAD, D.; BEZERRA, E. A Deep Reinforcement Learning Approach to Asset-Liability Management. Brazilian Conference on Intelligent Systems, 8. **Anais**. Salvador, BA, p. 216-221, 2019.

GALDI, F. C.; LOPES, A. B. Relação de longo prazo e casualidade entre o lucro contábil e o preço das ações: evidências do mercado latino-americano. **Revista de Administração**, v. 43, n. 2, 2008.

HAESER, G.; GOMES, M. (2008) Aspectos Teóricos de Simulated Annealing e um Algoritmo duas Fases em Otimização Global. **Trends in Computational and applied Mathematics**, v. 9, n. 3, p. 395-404, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios**. IBGE, 2015. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html>. Acesso em: 12 dez. 2023.

KRINK, T; PATERLINI, S. **Differential evolution for multiobjective portfolio optimization**. Center of Economic Research. RECent, v. 21, 2008.

LUZ, R. R. **Asset-liability management como ferramenta para a gestão coordenada de ativos e passivos no regime de previdência complementar do estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional. FGV. 2019.

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

MTE. **Cadastro Geral de Empregados e Desempregados (CAGED)**, 2016. Disponível em: <https://portalfat.mte.gov.br/programas-e-acoes-2/caged-3/>. Acesso em: 12 dez.2023.

MITRA, G.; SCHWAIGER, K. **Asset and Liability Management Handbook**. EUA: Palgrave Macmillan, 2011.

NOGUEIRA, N. G. **O Equilíbrio Financeiro e Atuarial dos RPPS: de princípio constitucional a política de Estado**. Brasília: Ministério da Previdência Social, 2012.

OHLSON, J.A. Earnings, book values and dividends in equity valuation. **Contemporary Accounting Research**, v. 11, p. 661-687, 1995.

OLIVEIRA, A. D. de. **Modelo de Administração de Ativos e Passivos - Uma Abordagem de Otimização Estocástica**. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração Pública) - FGV - Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2014.

PAVLOU, A; DOUMPOS, M; ZOPOUNIDIS, C. The robustness of portfolio efficient frontiers: A comparative analysis of bi-objective and multi-objective approaches. **Management Decision**, v. 57, 2018. DOI 10.1108/MD-02-2018-0129.

RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. **Metodologia da pesquisa aplicável às ciências sociais**. In: BEUREN, I. M. et al. Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012, p. 76-97.

RORIZ, A. V. **Há perdas por ineficiência nas carteiras de investimentos dos regimes próprios de previdência municipais?** 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018.

SANTA CATARINA. **Relatório de avaliação atuarial do regime próprio de previdência social de Santa Catarina: servidores, aposentados e pensionistas civis dos poderes Executivo, Legislativo e Judiciário**. Santa Catarina: IPREV, 2023.

SANTOS, S. I. F. dos; LIMA, D. V. de. Perspectiva de adoção de modelos de Asset and Liability Management (ALM) em Regimes Próprios de

Previdência Social. **Revista Eletrônica do Departamento de Ciências Contábeis e Departamento de Atuária e Métodos Quantitativos da FEA**, v. 6, n. 1, p. 21-43, 2019.

SARQUIS, A. M. F.; FRIGERI, C. A.; SOUSA, D. de A. **O Controle Externo dos Regimes Próprios pelos Tribunais de Contas**. São Paulo. Disponível em: <https://www4.tce.sp.gov.br/sites/default/files/o-controle-externo-dos-regimes-proprios-pelostribunais-de-contas.pdf>. Acesso: 12 nov. 2021.

SHARPE, W. F. Capital Asset Prices: a theory of market equilibrium under conditions of risk. **Journal of Finance**, v. 19, p. 425-442, 1964.

SILVA, S. S. **Avaliação da Eficácia dos Modelos de Asset Liability Management e Liability Driven Investment para um Fundo de Pensão Brasileiro**. Belo Horizonte: Dissertação (Mestrado Acadêmico em Administração) - UFMG- Universidade Federal de Minas Gerais. 2015.

VARANTA, J. M.; SANTOS, J. C. de S.; MELLO, E. M. **O mercado de renda fixa no Brasil: conceitos, precificação e risco**. São Paulo: Saint Paul. 2019.

WISE, A. J. The matching of assets to liabilities. **Journal of the Institute of Actuaries**, v. 111, n. 3, p. 445-501. 1984.

WYNNE, M. A. Core Inflation: a review of some conceptual issues. **European Central Bank**, Working Paper n. 5, 1999.