

PECE – PROGRAMA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

MBA EM ENGENHARIA FINANCEIRA

PIETRO ANGELO LIOI CAFASSO

**CAPITAL DE RISCO DE MERCADO PARA SOCIEDADES SEGURADORAS, UMA
ABORDAGEM ESTOCÁSTICA**

Monografia apresentada ao *MBA* em
Engenharia Financeira.
Orientado por: Prof. Dr. João Luiz Chela.

SÃO PAULO
2015

MBAEF
2015
C116C



Escola Politécnica - EPEL



31500009587

23752053

10/2015 H

AGRADECIMENTOS

Agradeço minha família, em especial meu pai Pietro, minha mãe Maria e minhas irmãs Vanessa e Andressa por acreditarem em meu potencial e me apoiarem nas decisões tomadas durante minha jornada pessoal, profissional e acadêmica.

Agradeço também aos meus professores que durante todas as etapas de minha capacitação foram importantes para me tornar a pessoa e o profissional de hoje.

RESUMO

A definição e gestão de um capital suficiente para fazer frente a possíveis alterações de riscos advindos da operação de seguros, relação com terceiros e variáveis de mercado é o desafio do Solvência II para as sociedades seguradoras. A partir de um modelo regulatório as seguradoras devem calcular qual o nível mínimo de capital que devem possuir para eventuais situações críticas de sua operação. No Brasil, a Susep e o CNSP emitiram alguns normativos para que as seguradoras seguissem, de forma geral, o disposto pelo Solvência II, porém este modelo foi desenhado de forma determinística, não capturando cenário extremamente críticos. A adoção de um modelo estocástico poderia se mostrar mais adequado para mensuração deste capital mínimo para operação, uma vez que seria possível identificar cenário com alto desvio em relação a um cenário médio. O capital de risco baseado no risco de mercado foi estudado com mais detalhes a fim de se estruturar um modelo estocástico e comparar os resultados deste modelo com o modelo regulatório. Os resultados obtidos pelo modelo estocástico mostraram-se diferentes e de forma elevada, levando a uma conclusão de que a adoção de um modelo determinístico pelos órgãos reguladores poderia não representar a real necessidade de capital de uma sociedade seguradora.

Palavras-chave: Solvência II, modelo estocástico, modelo regulatório, risco de mercado e descasamento de ativos e passivos.

ABSTRACT

The definition and management of sufficient capital to cover possible changes of risks arising from insurance operations, relations with third parties and market variables is the Solvency II challenge for insurance companies. From a regulatory model, insurance companies must calculate a minimum level of capital that they must hold to any critical situations of operation. In Brazil, Susep and CNSP issued some rules, so that insurance companies could follow, in general, Solvency II, but this model is designed in a deterministic way, not capturing extremely critical scenario. The adoption of a stochastic model could be more suitable for measuring this type of capital, since it would be possible to identify scenario with high deviation from a medium setting. The capital risk based on market risk has been studied in more detail in order to structure a stochastic model and compare the results of this model to the regulatory model. The results of the stochastic model were different and higher than the regulatory model, leading to the conclusion that the adoption of a deterministic model by regulators could not represent the actual capital needs of the insurance company.

Keywords: Solvency II, stochastic model, regulatory model, market risk and mismatch of assets and liabilities.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Regulação de capital baseada em risco	1
1.2. Objetivos do trabalho	1
1.3. Estrutura da monografia.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Definição de risco para seguros	3
2.2. Solvência	4
2.3. Pilares do Solvência II	6
2.4. Modelo regulatório Susep	9
2.5. Considerações sobre Capital Econômico	10
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
3.1. Base cadastral	12
3.2. Carteira teórica de ativos	12
3.3. Projeção dos fluxos de passivos atuariais	13
3.4. Projeção dos fluxos de ativos	18
3.5. Estrutura a Termo da Taxa de Juros.....	19
3.6. Determinação do capital baseado no risco de mercado.....	22
4. RESULTADOS OBTIDOS	24
5. CONCLUSÃO	32
APÊNDICE A. TÁBUA DE MORTALIDADE AT-2000	37
APÊNDICE B. PARÂMETROS ESTIMADOS – MODELO LEE CARTER	39
APÊNDICE C. BASE DE DADOS UTILIZADA.....	43
APÊNDICE D. GRÁFICOS DOS CENÁRIOS SIMULADOS	44

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estado de solvência.....	07
Figura 2 – Decomposição dos componentes principais da estrutura da taxa de juros do estudo europeu.....	08
Figura 3 – Distribuição da probabilidade de sobrevivência por idade – Tábua AT 2000 - Masculina.....	15
Figura 4 – Fluxo de passivo médio projetado.....	25
Figura 5 – Fluxo de ativo projetado.....	26
Figura 6 – Análise conjunta dos fluxos de ativos e passivos.....	27
Figura 7 – Distribuição valores presentes – Cenário 1.....	28
Figura 8 – Alocação dos fluxos deterministas de ativos e passivos em vértices – Cenário 1.....	29
Figura 9 – Distribuição do valor presente – Cenário 2.....	44
Figura 10 – Alocação dos fluxos deterministas de ativos e passivos em vértices – Cenário 2.....	44
Figura 11 – Distribuição do valor presente – Cenário 3.....	45
Figura 12 Alocação dos fluxos deterministas de ativos e passivos em vértices – Cenário 3.....	45
Figura 13 – Distribuição do valor presente – Cenário 4.....	46
Figura 14 – Alocação dos fluxos deterministas de ativos e passivos em vértices – Cenário 4.....	46
Figura 15 – Distribuição do valor presente – Cenário 5.....	47
Figura 16 – Alocação dos fluxos deterministas de ativos e passivos em vértices – Cenário 5.....	47
Figura 17 – Distribuição do valor presente – Cenário 6.....	48
Figura 18 – Alocação dos fluxos deterministas de ativos e passivos em vértices – Cenário 6.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Matriz de correlações entre os riscos – Resolução CNSP nº 321/2015.....	10
Tabela 2 – Parâmetros cadastrais utilizados na simulação da base de dados.....	12
Tabela 3 – Composição da carteira de investimentos teórica.....	13
Tabela 4 – Consideração do benefício de acordo com a sobrevivência do grupo familiar.....	16
Tabela 5 – Informações cadastrais das séries históricas das taxas de juros.....	21
Tabela 6 – Parâmetros estimados – Modelo CIR.....	22
Tabela 7 – Informações das séries históricas e parâmetros indexadores.....	22
Tabela 8 – Cenários propostos para simulação.....	24
Tabela 9 – Resultados obtidos para o capital de risco de mercado.....	30
Tabela 10 – Tábua de mortalidade AT – 2000 Masculina.....	37
Tabela 11 – Tábua de mortalidade AT – 2000 Feminina.....	38
Tabela 12 – Parâmetros estimados Modelo Lee-Carter – Sexo Masculino.....	39
Tabela 13 – Parâmetros estimados Modelo Lee-Carter – Sexo Feminino.....	41
Tabela 14 – Base de dados utilizada.....	43

1. INTRODUÇÃO

1.1. Regulação de capital baseada em risco

No contexto de regulação de capital baseada em risco para solvência de instituições financeiras, o CNSP – Conselho Nacional de Seguros Privados, órgão normatizador, e Susep – Superintendência de Seguros Privados, órgão regulador, estão implementando modelos de determinação de capitais de risco para sociedades seguradoras, o chamado Solvência II, que consiste em uma série de normas que balizam a busca por maior segurança nas operações das seguradoras e resseguradoras, definida pelo parlamento europeu por meio da Diretiva n. 138 (2009). O Solvência II possui similaridades à modelagem feita para o sistema bancário europeu, conhecida como Basileia II, e é voltada à análise de três pilares fundamentais à garantia da capacidade dos bancos honrarem seus compromissos. Após um período de discussão, revisão e atualização das normas e metodologias e trocas de capital intelectual com atuários, economistas e reguladores de diversos países dentro e fora da comunidade europeia, o parlamento europeu votou para que estas regras entrassem em vigor no início de 2016.

Em 12 de dezembro de 2014 o CNSP, emitiu a Resolução CNSP nº 317, a qual foi revogada pela Resolução CNSP nº 321, de 15 de julho de 2015, que trata do modelo regulatório para cálculo da parcela de capital de risco baseada no risco de mercado, sendo que todas as seguradoras deverão utilizar este modelo para cálculo desta parcela e demonstrar que seu Patrimônio Líquido Ajustado é suficiente para fazer frente a riscos oriundos de sua operação e de oscilações do mercado.

Como se trata de uma adaptação de uma normatização europeia, a Susep e o CNSP buscaram ajustar os mesmos à realidade do mercado brasileiro a fim de tornar os modelos regulatórios propostos por eles mais razoáveis. Porém, existem alguns pontos que tornam os modelos frágeis para a determinação dos capitais adicionais baseados em risco.

1.2. Objetivos do trabalho

Conforme apresentado anteriormente, o CNSP e a Susep implementaram modelos regulatórios para cálculo das parcelas de capitais de risco para as sociedades seguradoras, buscando se alinhar ao modelo do Solvência II. No Brasil, alguns pilares do Solvência II já estão bem difundidos, porém a parte de cálculo baseado em risco está sendo implementada aos poucos, sendo que a resolução que mensura a parcela de capital de risco de mercado foi emitida no final de 2014. A metodologia em questão será abordada com mais detalhes no capítulo 2.

Este modelo, tratado como modelo regulatório neste trabalho, possui fragilidades em sua estrutura que podem impactar no montante de capital de risco de mercado, ou seja, quando uma

sociedade seguradora se utilizar deste modelo poderá obter um valor, dito como capital de risco de mercado, que não reflete a real necessidade de cobertura de eventuais riscos de mercado a que esteja exposta.

O objetivo do presente estudo é o de utilizar uma metodologia estocástica que não possua as fragilidades do modelo regulatório, e demonstrar que os resultados obtidos pelo modelo estocástico sejam mais realistas à exposição de riscos da sociedade seguradora do que o obtido pelo modelo regulatório, pois no modelo estocástico será possível capturar valores extremos de fatores de risco os quais não são obtidos pelo modelo regulatório.

Para isso, buscou-se a utilização de modelos comumente utilizados por autores para cálculo de passivos atuariais, com tábuas de mortalidade dinâmicas, e de ativos, através de modelos estocásticos de determinação de taxas de juros e indexadores. Utilizou-se base de dados projetada com característica semelhante à de uma carteira de segurados de uma sociedade seguradora e uma carteira de ativos teórica apresentada no capítulo 3.

1.3. Estrutura da monografia

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos, incluindo esta introdução, e quatro apêndices. No capítulo 2 será feita uma revisão do material publicado sobre os diversos assuntos abordados neste trabalho. O capítulo 3 tratará da metodologia utilizada para a resposta ao problema proposto a seguir. No capítulo 4 apresentaremos os resultados obtidos por meio da aplicação da metodologia e, por fim, no capítulo 5, será dada a visão conclusiva sobre o assunto e ao problema proposto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Definição de risco para seguros

Para alguns autores, risco é algo presente no cotidiano das pessoas e a classificação, ou “atenção”, que um mesmo risco é compartilhado por um indivíduo, pode não ser a mesma que por um outro indivíduo (SECURATO, 1996). Risco pode ser associado a uma probabilidade de ocorrência de um evento não desejado e, como consequência, uma perda financeira, por exemplo.

Conforme Gitman (2001), risco é a possibilidade de perda financeira, sendo que os ativos considerados mais arriscados são os que oferecem maiores possibilidades de perda financeira. Com isso, a palavra risco pode ser utilizada como sinônimo de incerteza e refere-se à variabilidade dos retornos associados a um ativo. Segundo Jorion (2006), risco pode ser entendido como grau de incerteza a um evento. Assim, pode-se definir o risco, ou seja, “a possibilidade de perda” ou “o grau de incerteza”, como a probabilidade de ocorrência do evento da perda.

Uma sociedade seguradora tem como operação principal a comercialização do seguro, sendo este a transferência do risco de uma parte (o “segurado”) para uma outra parte (a “seguradora” ou “sociedade seguradora”), mediante o pagamento de um valor (“prêmio”), o qual seja atuarialmente justo, sem considerar encargos e demais valores incidentes no prêmio comercial, para o risco em questão. Conforme Murphy (2011), o seguro permite compartilhar o risco de que um evento não desejável ocorra, e venha a prejudicar o contratante financeiramente. Em vez de um indivíduo arcar, de forma isolada, com um possível sinistro, o seguro possui a função de diluir esta perda entre todos os segurados através do pagamento do referido prêmio.

A transferência do risco não deve ser interpretada somente quando da existência de um bem material, mas sim de modo geral quando um indivíduo deseja transferir qualquer risco para outra parte, e esta aceita mediante pagamentos de prêmios. Com isso, as ditas rendas aleatórias também se configuram na transferência de um risco, pois um indivíduo deseja transferir o risco de sobrevivência para uma sociedade seguradora, com pagamentos de prêmios/contribuições periódicos a fim de acumular uma reserva técnica até o momento de aposentadoria, sendo esta transformada em benefício atuarialmente equivalente. Nesta situação, o participante tem a intenção de transferir o risco de perda, ocasionado pela sobrevida em relação à acumulação de uma reserva que seja suficiente (risco este coberto pelo benefício atuarialmente equivalente) à sociedade seguradora, sendo que esta irá precificar os prêmios/contribuições ou o benefício atuarial com base em tábuas de mortalidade aderentes à realidade da massa de participantes segurada (Jordan, 1991).

Além do risco de sobrevida captado pelo descrito anteriormente, existe também o risco de um indivíduo falecer ou se invalidar. Para estes casos existem os pecúlios por morte e invalidez e os seguros de vida, com vigências de curto prazo, geralmente anual. Estes produtos possuem a finalidade de pagar uma importância, ou valor segurado, em caso de ocorrência da morte ou invalidez permanente de um indivíduo ao beneficiário indicado, a fim de que este, sua família ou ainda quem tiver interesse direto na manutenção de sua condição, não sofram tanto economicamente com a alteração desta condição (FERREIRA; MANO, 2009).

2.2. Solvência

Conforme citado anteriormente, a parcela de capital de risco baseado no risco de mercado requerido pela Susep é importante para as sociedades seguradoras quando do requerimento de solvência das mesmas. Para autores como Sandström (2010), uma entidade ser solvente é ter mais ativos do que passivos ou ser capaz de honrar seus compromissos conforme o atingimento de seus vencimentos. Além disso, a solvência é relevante em especial para dois participantes da economia: o regulador, que deseja garantir que os benefícios e indenizações dos segurados e beneficiários sejam pagos, e da administração da seguradora, que deseja garantir a continuidade no negócio (PENTIKÄINEN, 1967).

O capital necessário para garantir a solvência de uma seguradora não deve ser entendido como algo trivial, pois deve levar em consideração as particularidades e exposições aos riscos de cada empresa. Pentikäinen (1952) analisou uma margem mínima de solvência em face à distribuição da soma de sinistros da Teoria do Risco (Teoria da Ruína), em que as reservas deveriam ser capazes de cobrir uma variação nos sinistros com certa probabilidade de ruína p de ordem pequena (FERREIRA, 2002).

Já se utilizando de uma abordagem de *Value at Risk* (Var, JORION, 2006), Campagne (1961) propôs a utilização de um índice combinado para ramos elementares considerando uma sinistralidade em um VaR de 99,97%, de acordo com a relação $DA + Sin_{99,97\%} = (1+k).P$, em que DA representa a despesa administrativa, P é o prêmio e k , o aumento que deveria ser aplicado no prêmio para garantir a solvência com 99,97% de probabilidade por um ano.

Em similaridade ao modelo de determinação de um capital mínimo requerido por parte da Susep atualmente, Hickman et al. (1979) consideraram o valor presente esperado dos fluxos de caixa futuros dos ativos e passivos, os classificando em três grupos de riscos: depreciação de ativos (risco de crédito), inadequação do apreçamento dos seguros (risco de subscrição) e flutuação da taxa de juros (risco de mercado). No modelo atual da Susep, cada um destes riscos geram uma parcela de capital baseado em risco.

O risco de crédito pode ser definido como a probabilidade de os títulos adquiridos pelo investidor não serem honrados na data de seu vencimento, ou seja, que os títulos não sejam pagos na data ou nas condições acordadas. O risco de crédito se aplica não apenas à possibilidade de não pagamento do principal dos títulos, mas também ao não pagamento dos eventos intermediários a eles relacionados, como juros e amortizações (CHOUHY, GALAI, MARK, 2006). Além disso, o risco de crédito pode estar presente, no caso de uma sociedade seguradora, nas operações de resseguro, pois existe a possibilidade da contraparte, o ressegurador, não honrar o pagamento de um sinistro o qual possuía um contrato de resseguro entre a seguradora e a resseguradora. Portanto, o capital baseado em risco de crédito refere-se a um montante que a sociedade seguradora deverá possuir para garantir o risco de crédito a que está exposta.

O risco de subscrição pode ser definido como a possibilidade de ocorrência de perdas que contrariem as expectativas da seguradora, associadas, diretamente ou indiretamente, às bases técnicas utilizadas para cálculo de prêmios, contribuições, quotas e provisões técnicas. O capital de risco baseado no risco de subscrição deve ser entendido como o montante que a sociedade seguradora deverá manter para garantir o risco de subscrição.

Por sua vez, o risco de mercado é a parcela do risco de um título que não pode ser eliminado pela diversificação. O risco de mercado representa a incerteza em relação ao comportamento dos preços dos ativos em função de oscilações de variáveis como taxa de juros, câmbio, preço das ações, dentre outras. Pode-se dizer que o risco de mercado é o risco de oscilações dos ativos causados por oscilações dos mercados (CHOUHY, GALAI, MARK, 2006). Com isso, o risco de mercado pode ser entendido como a possibilidade de ocorrência de perdas resultantes de flutuações dos mercados financeiros, que causam mudanças na avaliação econômica de ativos e passivos de uma sociedade seguradoras. O capital de risco baseado no risco de mercado é o montante que uma seguradora deverá manter para garantir o risco de mercado a que está exposta.

Em 2004, o *Basel Committee on Banking Supervision*, baseado no modelo de classificação dos riscos em três grupos, incluiu uma nova parcela de risco, o operacional. Para Jorion (2006), o risco operacional está relacionado a possíveis perdas ocasionadas por falhas em sistemas corporativos, problemas com equipamentos ou falhas humanas, tanto na execução quanto no gerenciamento e controle das operações. O risco pode ser classificado como um risco de organização ou organizacional, quando é detectado algum problema grave na estrutura de funcionamento da empresa e na divulgação interna das informações, falhas de controles que facilitam fraudes ou utilização indevida de informações confidenciais e fragmentação excessiva das atividades que façam com que os funcionários de um departamento não conheçam as atividades exercidas pelos demais, entre outros.

2.3. Pilares do Solvência II

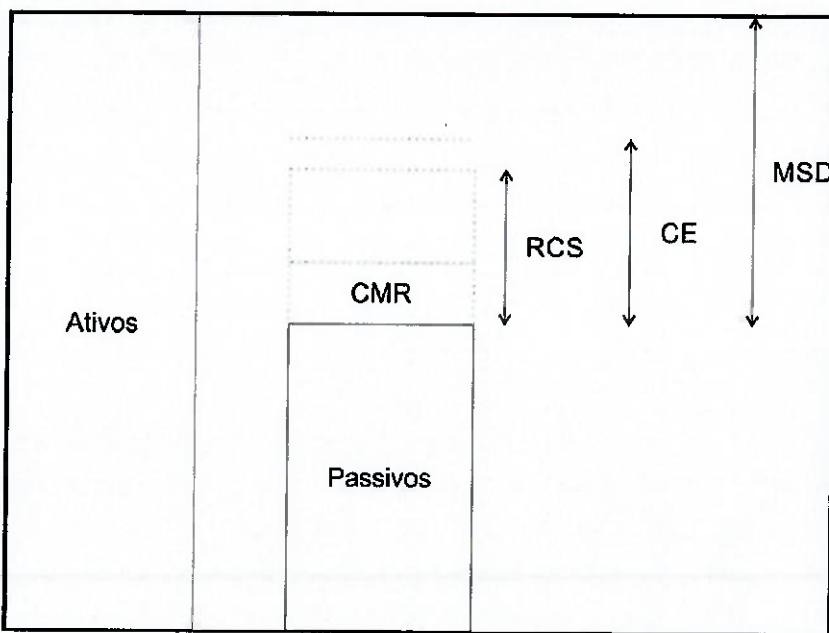
Em 2006, a Comissão Europeia iniciou a discussão de uma estrutura de solvência, denominada Solvência II, inspirada na visão de três pilares de Basileia II, do setor bancário (EUROPEAN COMISSION, 2006). Os pilares do Solvência II são similares aos do Basileia II, porém diferem em pequenos detalhes.

O Pilar I refere-se aos requerimentos quantitativos, ou seja, a modelagem matemática dos requerimentos de capital propriamente dita, com uso de metodologia padronizada pelo regulador, porém permitindo o uso de modelos internos da sociedade seguradora após aprovação pelo órgão regulador. As provisões técnicas de uma seguradora, apesar de apuradas de acordo com regulamentações rígidas, não deixam de ser estimativas contábeis e, com base nas boas práticas atuariais e no pilar em questão, estas devem ser “prudentes, confiáveis e objetivas”, permitindo a comparabilidade entre empresas similares, sendo a soma de suas melhores estimativas. Neste ponto pode-se citar o teste de adequação do passivo, calculado a partir do valor presente dos fluxos de caixa futuros, utilizando a curva de juros da taxa livre de risco e premissas realistas com a massa de participantes. Com isso, a margem de risco deve ser baseada em uma estimativa de capital econômico correspondente a uma probabilidade de ruína de 0,5% (ou seja, um VaR de 99,5%) em um horizonte de tempo de um ano, sendo esta estimativa feita por uma fórmula baseada em fatores, em uma distribuição de probabilidade, em cenários ou em uma combinação deles.

Já o Pilar II trata de requerimentos qualitativos de gestão de riscos e das atividades de supervisão. Caso seja identificada uma companhia com um perfil de risco alto, pode ser necessário uma manutenção de capital superior ao calculado no Pilar I, ou tomar medidas para reduzir os riscos. Neste caso, o Solvência II difere do Basileia II, pois é demandada cooperação entre supervisores e revisores.

Por fim, o Pilar III trata dos relatórios de reporte e da divulgação pública de informações das seguradoras além dos reportes contábeis, de modo que os supervisores sejam capazes de trabalhar. Ainda, os reportes contábeis devem ser compatíveis com os do setor bancário (EUROPEAN COMISSION, 2006). Com base nestes conceitos, Sandström (2010) elaborou um diagrama o qual foi nomeado de Estado de Solvência, conforme a seguir:

Figura 1 – Estado de Solvência.

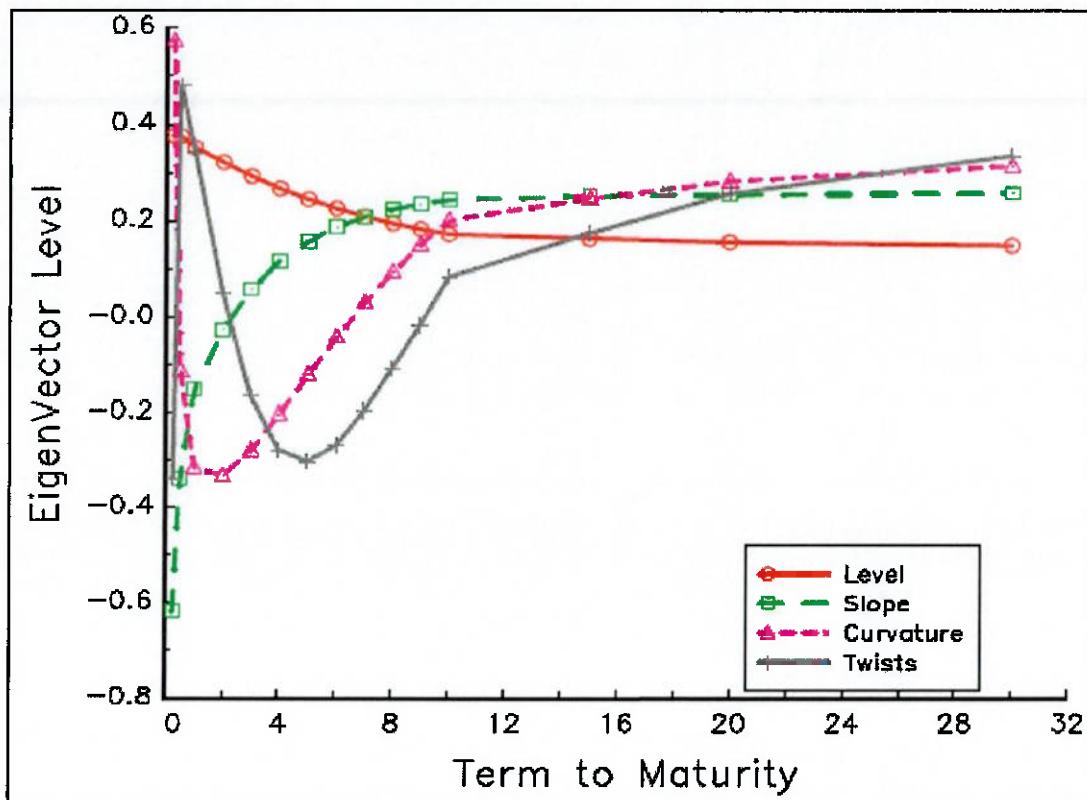


De acordo com a Figura 1, no balanço contábil os ativos devem ser suficientes para cobrir, além dos passivos atuariais e demais passivos contábeis da sociedade seguradora, o Capital Mínimo Requerido (CMR), o Requerimento de Capital de Solvência (RCS) e o Capital Econômico (CE), sendo a diferença entre os ativos e os passivos, nomeada de Margem de Solvência Disponível (MSD). Neste método de comparação dos ativos com os demais componentes é possível verificar a solvência da seguradora para uma data, como a data de reporte de balanço patrimonial. Ressalta-se que nesta comparação não é considerada a situação de solvência da seguradora para o longo prazo. A Margem de Solvência Disponível pode ser interpretada como um amortecedor para cobrir os dois níveis teóricos definidos pelos reguladores: o Capital Mínimo Requerido e o Requerimento de Solvência.

A forma de cálculo sugerida pelo regulador europeu para o risco de mercado é o ΔNAV (*Delta Net Asset Value*), ou seja, a variação da diferença entre o ativo e o passivo. A partir deste conceito, aplica-se um choque na estrutura a termo da taxa de juros para cima e para baixo, em dois cenários diferentes para cada maturidade, multiplicando-se os $\Delta NAVs$ pelos fatores de calibragem adequados, que contém os efeitos das mudanças em nível, inclinação e curvatura da estrutura a termo (COMMITTEE OF EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS SUPERVISIORS, 2009). A calibragem dos fatores é feita pela Análise de Componentes Principais (JOLLIFFE, 2002) de dados com os comportamentos desejados (comportamento passado de taxas livres de risco e estruturas a termo sem cupons europeus), com os quatro componentes principais respondendo por 99,98% da variabilidade, sendo os três primeiros o nível, a inclinação e a curvatura de cada estrutura, e o quarto componente uma torção

ou inflexão em alguns vértices. A decomposição encontrada no estudo original pode ser vista na Figura 2. A partir dos coeficientes obtidos, é feita uma normatização para utilização em um modelo regressivo em função da maturidade a fim de se testar a sensibilidade das taxas, e essas taxas são estressadas ao nível 99,5% VaR, finalmente linearizando para as maturidades inexistentes. O mesmo é feito para a volatilidade, gerando um total de quatro cenários (COMMITTEE OF EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS SUPERVISIORS, 2010b). Por fim, o maior valor de ΔNAV é o resultado do estresse do risco de taxa de juros (CEIOPS, 2009).

Figura 2 – Decomposição dos componentes principais da estrutura da taxa de juros do estudo europeu.



Para o risco cambial, inserido no risco de mercado, a estrutura utilizada é semelhante, com o uso do ΔNAV , com a análise de cenários com a taxa de câmbio superior e outro inferior, para cada ativo ou passivo em moeda diferente que faça parte da carteira de investimentos, independentemente (COMMITTEE OF EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS SUPERVISIORS, 2009).

Para o risco patrimonial, também é utilizado do ΔNAV com análise de cenários (COMMITTEE OF EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS SUPERVISIORS, 2009), com fator de estresse de 25% para cima e para baixo, a fim de se atingir

o VaR 99,5% (COMMITTEE OF EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS SUPERVISIORS, 2010b).

O risco de *spread* considera a abertura da taxa de juros em relação à estrutura a termo da taxa livre de risco. Desta forma, qualquer ativo atrelado à taxa livre de risco não requer capital adicional. A avaliação é feita para derivativos de crédito, também por cenários, e para os demais a partir do valor de mercado do instrumento, levando em consideração o *rating*, *duration* e outras propriedades dos ativos (COMMITTEE OF EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS SUPERVISIORS, 2009).

No caso de riscos de ações, houve um estudo específico que buscou reduzir o efeito pró-cíclico do aporte de capital, danoso à economia. Considerando o Δ NAV, a conclusão foi em favor do uso de um fator de estresse de 45% para ações ditas globais, pertencentes a nações do Espaço Econômico Europeu ou da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, e 55% para as demais ações. Em relação à volatilidade, o efeito para cima deve ser de 50% e de 15% para baixo (COMMITTEE OF EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS SUPERVISIORS, 2010a).

2.4. Modelo regulatório Susep

O Capital Mínimo Requerido é definido pelo CNSP, em sua Resolução nº 321/2015, como o “capital total que a sociedade supervisionada deverá manter, a qualquer tempo, para operar, sendo equivalente ao maior valor entre o capital base (...) e o capital de risco”, prevendo consequências interventivas ou mesmo liquidações judiciais em caso de insuficiência do Patrimônio Líquido Ajustado em relação ao CMR. O capital base, também definido na Resolução CNSP nº 321, é um valor mínimo classificado por ramo de operação e região do país, podendo atingir R\$ 15.000.000,00, independentemente do tamanho da empresa. Já o capital de risco, definido na mesma resolução, é dado pela seguinte equação:

$$CR = \sqrt{\sum_i \sum_j \rho_{ij} \cdot CR_i \cdot CR_j} + CR_{oper} \quad (1)$$

Para o cálculo do capital de risco, cada parcela CR_i e CR_j é o capital de risco de um dos três riscos – subscrição, crédito e mercado – e o fator ρ_{ij} é obtido através da matriz de correlação entre os riscos, sendo esta matriz contida na referida resolução. A matriz de correlações é apresentada a seguir:

Tabela 1 – Matriz de correlações entre os riscos – Resolução CNSP nº 321/2015.

ρ_{ij}	CR_{subs}	CR_{cred}	CR_{merc}
CR_{subs}	1,00	0,50	0,25
CR_{cred}	0,50	1,00	0,25
CR_{merc}	0,25	0,25	1,00

O modelo de cálculo do capital de risco é amplamente utilizado pelo mercado segurador e caracteriza-se, na maioria dos casos, a formulação que definirá o Capital Mínimo Requerido de uma seguradora pois acaba sendo a parcela mais relevante quando comparada ao capital base. Infelizmente o modelo utilizado para cálculo do capital de risco é uma fórmula padrão determinada pela Susep e, além disso, algumas premissas, como a matriz de correlação, é apresentada na norma e não possui o embasamento técnico necessário apresentado. Com isso, o capital de risco pode não refletir a real situação de uma seguradora, já que por se tratar de fórmula padronizada, o regulador buscou o equilíbrio no mercado para determinação dos CMRs das sociedades seguradoras. O presente estudo buscou apresentar as vantagens que o cálculo estocástico, mais aplicável à realidade de uma seguradora pois leva em consideração a real exposição aos riscos da mesma, na mensuração do capital necessário para manter-se solvente. O estudo analisou apenas a parcela de capital de risco baseada no risco de mercado.

O Solvência II também trata de outro risco, o de liquidez, mas que no cenário brasileiro não é abordado na forma de uma parcela de capital adicional, mas sim como na mensuração de um índice de liquidez que utiliza o CMR e o montante de ativos líquidos.

2.5. Considerações sobre Capital Econômico

O capital econômico pode ser entendido, conforme Bhatia (2009), como um colchão para absorver perdas inesperadas e garantir confiança aos investidores e clientes. Bhatia (2009) também expõe que o Capital Econômico é uma medida de risco de perdas futuras em um determinado nível de confiança e em um horizonte de tempo específico, se baseando na causa de distribuições probabilísticas, e esse nível de confiança é definido pela própria instituição de acordo com o apetite ao risco que deseja correr ou ao risco que objetiva se proteger.

Portanto, o Capital Econômico pode ser interpretado como sendo o montante de capital de risco que uma entidade estima para que permaneça solvente, a um dado nível de confiança e horizonte de tempo. Este capital difere do capital regulatório (Capital Mínimo Requerido), o qual reflete o montante de capital que uma entidade necessita, dadas as regras e normas do órgão regulador. O capital econômico é altamente relevante pois pode fornecer pontos chaves para decisões de negócio específicos ou para a avaliação das diferentes unidades de risco de negócio.

de uma entidade. Enquanto a figura do capital econômico de uma entidade é, em parte, impulsionada pelo seu apetito de risco (o desejo de risco), a exigência de capital regulatório é impulsionada por métricas de supervisão estabelecidos nas orientações e regras dos órgãos reguladores.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, descreveremos os modelos, dados e parâmetros utilizados para o cálculo das simulações estocásticas.

3.1. Base cadastral

A base de dados utilizada para projeção do passivo atuarial foi obtida por meio de simulação dos cadastros, determinada a partir de parâmetros de uma base real de um produto previdenciário de uma seguradora do mercado brasileiro. As informações cadastrais encontram-se descritas a seguir:

Tabela 2 – Parâmetros cadastrais utilizados na simulação da base de dados.

Campo cadastral	Frequência relativa	Média	Desvio-Padrão
Sexo participante	45% feminino	-	-
	55% masculino		
Sexo cônjuge	55% feminino	-	-
	45% masculino		
Idade participante	-	50	7
Idade cônjuge	-	45	5
Valor benefício anual	-	22.000,00	12.347,13

A partir das informações anteriores determinou-se a base de dados utilizada na projeção dos fluxos de passivo atuarial. A base em questão considerou a segregação dos participantes de acordo com sexo e o status de cônjuge. Em relação ao campo “idade participante” e “idade cônjuge”, assumiu-se que a distribuição de idades possui distribuição gaussiana, truncada com idades maiores que zero, com parâmetros descritos de acordo com os apresentados na Tabela 2. O mesmo procedimento foi efetuado para determinação do campo “valor benefício anual”, considerando que os benefícios possuem também distribuição gaussiana, truncada com valores maiores que zero, cujos parâmetros são os mesmos descritos na Tabela 2.

3.2. Carteira teórica de ativos

A carteira de ativos seguiu processo semelhante à base cadastral, ou seja, não foi utilizada carteira de ativos de uma sociedade seguradora existente. Para este conjunto de informação buscou-se utilizar ativos que costumam ser observados nas carteiras de investimentos deste tipo de empresa. Optou-se por utilizar títulos de renda fixa, destacando os títulos públicos federais em especial as Notas do Tesouro Nacional – série B (NTN-B), Notas do Tesouro Nacional – série C (NTN-C) e as Letras Financeiras do Tesouro (LFT), sendo os vencimentos dos mais variados.

As NTN-B e NTN-C são título públicos de renda fixa pós-fixados emitidos pelo Governo Federal e com rentabilidade vinculada à variação do Índice Nacional de Preços ao Consumidor – IPCA e Índice Geral de Preços do Mercado- IGPM, respectivamente, acrescidos de juros definidos no momento da compra dos mesmos. Além disso, seus rendimentos são recebidos pelo investidor ao longo do investimento, por meio de cupons semestrais de juros e, na data de vencimento do título, quando do resgate do valor de face (valor investido somado à rentabilidade) e pagamento de cupom de juros.

Já as LFT são títulos de renda fixa pós-fixado cuja rentabilidade segue a variação da taxa SELIC, a taxa básica da economia. Sua remuneração é dada pela variação da taxa SELIC diária e registrada entre a data de liquidação da compra e a data de vencimento do título, acrescido, se houver, de ágio ou deságio no momento da compra.

A composição hipotética da carteira de investimentos considerou a utilização, em um cenário base, apenas os títulos NTN-B e LFT, sendo o primeiro representando os investimentos de longo prazo e o segundo, os investimentos de curtíssimo prazo como a remuneração das disponibilidades. As NTN-C foram utilizadas quando dos demais cenários analisados. Com isso, a composição inicial (cenário 1) da carteira de investimentos foi:

Tabela 3 – Composição da carteira de investimentos teórica.

Título	Data vencimento	Quantidade	Preço unitário	Valor
Nota do Tesouro Nacional - série B	15/08/2017	118.063	2.649,94	312.859.051,56
Nota do Tesouro Nacional - série B	15/08/2020	314.834	2.572,80	810.004.521,22
Nota do Tesouro Nacional - série B	15/08/2022	314.834	2.576,41	811.141.071,41
Nota do Tesouro Nacional - série B	15/08/2024	118.063	2.576,69	304.210.959,33
Nota do Tesouro Nacional - série B	15/08/2035	118.063	2.635,33	311.134.155,63
Nota do Tesouro Nacional - série B	15/08/2040	260.279	2.597,73	676.135.357,99
Letra Financeiro do Tesouro	01/09/2021	55.593	6.925,33	385.000.000,00
Total				3.610.485.117,15

3.3. Projeção dos fluxos de passivos atuariais

O fluxo atuarial do passivo de uma sociedade seguradora representa o comportamento das obrigações ao longo do tempo, considerando a massa de beneficiários atuais e futuros beneficiários, riscos demográficos de sobrevivência e sobrevida, cobertura do benefício contratado, prazo de duração do respectivo benefício e oscilações das taxas de desconto considerados para avaliação a valor presente.

A matemática atuarial considera a projeção de um fluxo de pagamentos não de maneira apenas financeira, mas as possibilidades de sobrevivência de um indivíduo. A probabilidade de sobrevivência de um indivíduo pode ser descrita através de uma função de sobrevivência, a qual possui a estrutura apresentada na Figura 3. Conforme verifica-se no gráfico, as funções de sobrevivência possuem a propriedade de serem decrescentes, considerando a probabilidade igual a 1 (um) na idade inicial, decrescendo até atingir a probabilidade 0 (zero) na última idade considerada (normalmente, idade 115 anos). O gráfico em questão apresenta as probabilidades de forma contínua em relação às idades, porém para o presente trabalho utilizou-se a tábua biométrica AT 2000 segregada por sexo, a qual apresenta as probabilidades de morte, sendo possível determinar as probabilidades de sobrevivência a partir do complemento dos eventos possíveis, dos indivíduos em cada idade, segregada pelo sexo masculino e feminino. A tábua AT 2000 representa as probabilidades de morte com base na população norte-americana, sendo o ano 2000 o ano base do estudo. As tábulas biométricas apresentam as probabilidades de morte de forma discreta por idade completa.

A partir da tábua biométrica tomamos a probabilidade de morte de cada indivíduo na idade de referência x . Seja q_x a probabilidade de um indivíduo falecer entre a idade x e $x+1$, temos que p_x é a probabilidade do indivíduo sobreviver entre as idades x e $x+1$. Portanto, temos que:

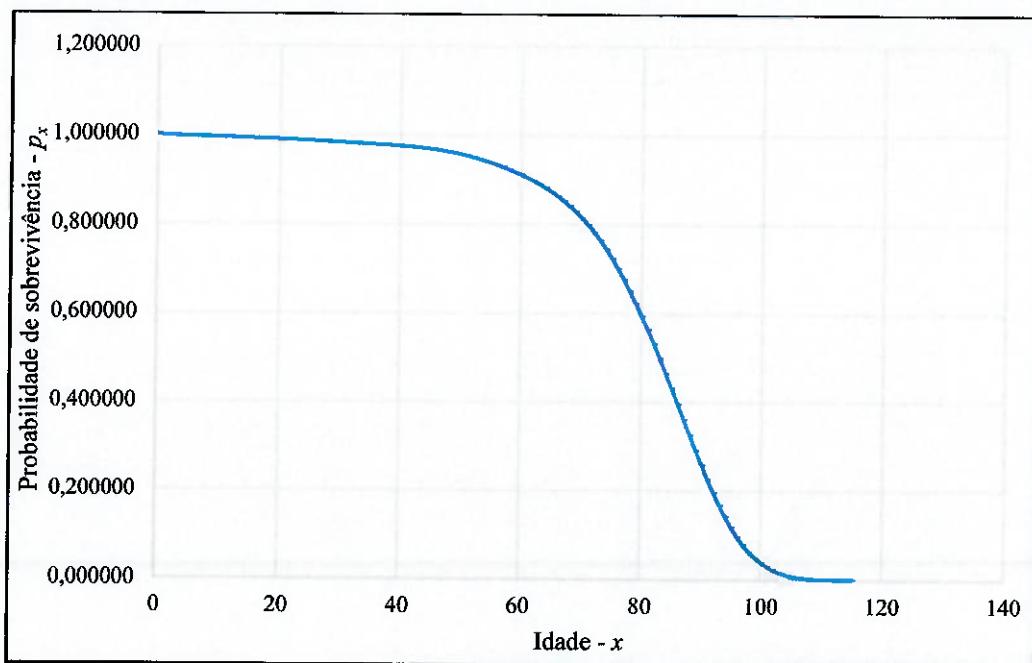
$$p_x = 1 - q_x \quad (2)$$

Além disso, podemos considerar a probabilidade de um indivíduo com idade x atingir a idade $x + t$, sendo esta probabilidade representada por φ_x e formulada conforme a seguir:

$$t\varphi_x = \prod_{i=0}^t p_{x+i} \quad (3)$$

Através da expressão anterior é possível verificar que φ_x representa a probabilidade acumulada de sobrevivência de um indivíduo entre as idades x e $x+t$.

Figura 3 – Distribuição da probabilidade de sobrevivência por idade – Tábua AT 2000 Masculina.



O cálculo financeiro considera em sua estrutura, de forma geral, a aplicação de uma taxa de juros, tanto para capitalização a valor futuro quanto para desconto a valor presente. Já o cálculo atuarial é realizado de maneira similar ao financeiro, porém, além da capitalização/desconto financeiro, existe a ponderação dos fluxos de caixa por um evento aleatório, a sobrevivência de um indivíduo, sendo esta ponderação inserida através da probabilidade de sobrevivência do indivíduo de acordo com sua idade.

O valor presente do fluxo atuarial, chamado também de valor presente atuarial (a_x), pode ser obtido através da seguinte relação:

$$a_x = \sum_{t=1}^{\omega-x-1} \left(\frac{1}{(1+i)} \right)^t \cdot {}_t p_x = \sum_{t=1}^{\omega-x-1} v^t \cdot {}_t p_x \quad (4)$$

Sendo que:

- t representa a quantidade de anos do fluxo considerado;
- x representa a idade do indivíduo;
- ω representa a última idade considerada na tábua biométrica;
- i representa a taxa de juros do fluxo;
- v representa o fator de desconto financeiro; e
- p_x representa a probabilidade de um indivíduo de idade x atingir a idade $x + t$.

Como a base de dados utilizada considera a existência de um cônjuge no plano, faz-se necessário incorporar ao cálculo atuarial as probabilidades de sobrevivência de mais um indivíduo. É importante ressaltar que o fluxo de pagamento é considerado em sua totalidade em

caso de sobrevivência do participante e do cônjuge ou em caso de sobrevivência apenas do participante. Em caso de sobrevivência apenas do cônjuge, há redução do valor do benefício para o percentual definido no plano ou produto (para este estudo, utilizou-se o percentual de 70%), em relação ao inicial (podemos entender esta cobertura como sendo uma pensão ao cônjuge em caso de falecimento do participante). A fim de simplificar o entendimento, a consideração de um benefício genérico de acordo com a sobrevivência do grupo familiar se encontra na Tabela 4:

Tabela 4 – Consideração do benefício de acordo com a sobrevivência do grupo familiar.

Valor do benefício inicial (R\$)	Evento ocorrido	Valor (R\$)
1.000	Participante e cônjuge sobrevivem	1.000
1.000	Apenas participante sobrevive	1.000
1.000	Apenas cônjuge sobrevive	700

A redução do benefício ocorre apenas na situação de falecimento do participante e sobrevivência do cônjuge. O valor presente atuarial de um fluxo de caixa que considera a sobrevivência do participante (x) e de seu cônjuge (y) é formulada conforme a seguir:

$$a_{xy} = \sum_{t=1}^{\omega-x-1} v^t \cdot {}_t p_x \cdot {}_t p_y \quad (5)$$

O item a_{xy} representa o valor presente de um fluxo atuarial ponderado pela sobrevivência dos dois indivíduos. Ao considerarmos que há uma redução do benefício (β) em caso de falecimento do participante, o valor presente atuarial (VPA) possui a seguinte formulação:

$$VPA = a_x + \beta \cdot (a_y - a_{xy}) = \sum_{t=1}^{\omega-x-1} v^t \cdot [{}_t p_x + \beta \cdot ({}_t p_y - {}_t p_x \cdot {}_t p_y)] \quad (6)$$

As formulações descritas até o momento representam o valor presente atuarial de um fluxo de caixa e podem ser utilizadas também para projetar o fluxo atuarial futuro, porém de maneira determinística. O propósito do presente trabalho é o de utilizar um cálculo estocástico de projeção de ativos e passivos e mensurar o nível de capital baseado no risco de mercado necessário para a regulação de uma sociedade seguradora. O incremento estocástico adotado foi a utilização de tábuas biométricas dinâmicas.

O conceito de tábua biométrica utilizado até este momento, e refletido nas expressões de valor presente atuarial, é o de tábua estática no tempo, isto é, um indivíduo que em $t = 0$ possui idade de 50 anos, pela AT 2000 Masculina, possui probabilidade de morte igual a 0,00333. Ao considerarmos um outro indivíduo que no momento $t = 10$, por exemplo, possuir 50 anos (no momento $t = 0$ este mesmo indivíduo possuía 40 anos), a probabilidade de morte também será de 0,00333. Portanto, as tábua classificadas como estáticas não consideram a alteração horizontal

da probabilidade de morte de uma idade específica de acordo com o passar dos anos. Em contrapartida, as tábuas dinâmicas capturam esta alteração de acordo com a experiência recente de evolução demográfica de uma população, ou seja, utiliza-se a tendência de envelhecimento de uma população, a qual pode apresentar aumento da expectativa de vida, e utiliza esta tendência na determinação de novas probabilidades de morte ao longo do tempo dentro de uma idade específica.

Para a construção das tábuas dinâmicas utilizou-se o método proposto por Lee e Carter (1992). O modelo proposto por Ronaldo Lee e Lawrence Carter visa a previsão da mortalidade através de um modelo demográfico, segregado por idade, combinado com um modelo de séries temporais, no qual as matrizes de mortalidade são decompostas a fim de se extrair um único índice que representa a variação da mortalidade com o tempo. Segundo Lee e Carter (1992), o modelo proposto trata-se de um método estocástico de projeção da mortalidade para cada idade, o qual não considera as influências dos avanços de medicina, das alterações nas condições de higiene e sanitária, bem como aspectos comportamentais e sociais. O método baseia-se apenas nas tendências históricas do padrão da mortalidade e fornece intervalos de confiança para as projeções efetuadas (SILVA, 2010).

O método assume que o logaritmo das taxas centrais de mortalidade pode ser representado pelo seguinte modelo demográfico:

$$\ln(m_{x,t}) = \alpha_x + \beta_x \cdot k_t + \varepsilon_{x,t} \quad (7)$$

$$\varepsilon_{x,t} \sim N(0, \sigma^2)$$

Sendo que:

- $m_{x,t}$ representa a taxa central de mortalidade para a idade x no ano t ;
- α_x , β_x e k_t são parâmetros do modelo; e
- $\varepsilon_{x,t}$ representa o termo de erro aleatório com distribuição gaussiana com média zero e variância σ^2 .

Com isso, o parâmetro α_x representa um vetor de constantes específicas para cada idade x , descrevendo a forma geral do perfil de mortalidade por idade, sem levar em consideração o tempo (LEE; CARTER, 1992). Já o parâmetro k_t representa a variação do nível de mortalidade com o tempo t , capturando a tendência temporal principal da mortalidade. Caso o índice k_t caia ao longo do tempo, significa que houve uma redução na mortalidade e, consequentemente, aumento na expectativa de vida (LEE; CARTER, 1992; SILVA, 2010).

O coeficiente β_x descreve as alterações nas taxas de mortalidade na idade x devido as alterações no nível geral da mortalidade k_t . O parâmetro β_x indica quais taxas declinam mais

rapidamente e quais declinam mais lentamente dada uma alteração no parâmetro k_t (SILVA, 2010).

O termo de erro aleatório $\varepsilon_{x,t}$ reflete as influências históricas específicas a cada idade que não são capturadas pelo modelo.

Para a estimativa dos parâmetros do modelo é necessário dispor de um conjunto de tábuas de mortalidades, a fim de extrair as taxas centrais de mortalidade e as tendências. Estas tábuas de mortalidade devem refletir, preferencialmente, a evolução de uma população durante um horizonte de tempo. O IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, produz tábuas de mortalidade, com periodicidade anual, da população brasileira, segregada por sexo. A partir deste conjunto de tábuas, realizou-se a estimativa dos parâmetros descritos anteriormente, sendo que estes resultados se encontram no Apêndice B.

Através das formulações dos valores presentes atuariais, descritas anteriormente, e da utilização das tábuas biométricas dinâmicas determinadas com base no modelo de Lee-Carter, projetaram-se os fluxos de caixa do passivo atuarial. Vale ressaltar que a estrutura de juros utilizada para desconto a valor presente do fluxo projetado também foi estocástica, sendo o modelo utilizado e computo das curvas estão descritos na seção seguinte.

3.4. Projeção dos fluxos de ativos

Para a determinação do capital baseado no risco de mercado é necessário também a projeção da carteira de investimentos e estudar o comportamento dos fatores de risco a que os ativos estão expostos no longo prazo. Conforme mencionado na seção 3.2, optou-se por uma carteira composta por títulos públicos, sendo que no cenário 1 a carteira é essencialmente de NTN-Bs e LFTs, e para alguns cenários foram inseridos títulos NTN-C. Ao analisarmos estes títulos é possível identificar, em linhas gerais, os fatores de risco os quais estão expostos: estrutura a termo da taxa de juros (ETTJ) e indexador.

A ETTJ é um conceito central da teoria financeira e econômica usado para precisar qualquer conjunto de fluxos de caixa (FABOZZI, 1993; RAY, 1993; ALLEN; KLEINSTEIN, 1991). A ETTJ é representada por um conjunto de pontos no espaço “taxa de juros” versus “prazo”, em que cada conjunto de pontos $(t, r(t))$ corresponde a uma taxa de juros $r(t)$, associada a um prazo (ou maturidade) t , taxa essa obtida com base em algum título negociado no mercado (FRANKLIN et al.; 2011). No caso do presente estudo as ETTJs mencionadas serão dos títulos públicos federais NTN-B e NTN-C, e serão utilizadas para avaliação do valor do título a mercado. Portanto, as ETTJs são consideradas como fatores de risco pois as mesmas variam de acordo com o cenário econômico do mercado, refletindo no valor de mercado da carteira de ativos. Para determinar o valor de mercado de um título de renda fixa calcula-se o valor futuro do título

considerando a taxa definida na emissão e este valor no momento atual, “marcando a mercado” este valor futuro através das taxas de mercado (ETTJ de mercado). É importante ressaltar que os fluxos de passivo, a valor presente, são impactados pelas ETTJs em questão.

Já os indexadores dos títulos também são considerados fatores de risco pois influenciam no valor de mercado da carteira de ativos, uma vez que os fluxos de pagamento são atualizados pela variação do IPCA, no caso da NTN-B, e IGP-M, no caso da NTN-C. Além disso, os fluxos de passivos também são reajustados por indexadores definidos no momento da contratação e pode existir o risco de ativos e passivos estarem com vencimentos iguais, porém com indexadores diferentes. Esta situação de descasamento de indexadores pode representar uma parcela importante na mensuração do risco de mercado.

A seguir são apresentados os modelos utilizados para estimação dos fatores de risco, bem como os resultados obtidos na definição de cada parâmetro.

3.5. Estrutura a Termo da Taxa de Juros

O fator de risco em questão leva em consideração a volatilidade da ETTJ, sendo esta associada ao cenário econômico do mercado e acarreta em altas e baixas na estrutura de juros. Caso a taxa de mercado, obtida pela ETTJ de mercado, for superior à taxa de juros que o título irá remunerar o comprador, existe uma desvalorização do título, devido a marcação a mercado, e o inverso também é verdade, ou seja, caso a taxa de juros de mercado esteja abaixo da taxa de juros que irá remunerar o título, este possui uma valorização a mercado. Portanto, esta oscilação do valor de mercado do papel ocasionado pela flutuação da ETTJ resulta em risco de mercado elevado e, consequentemente, maior necessidade de capital baseado em risco de mercado.

Para estimar as ETTJs utilizadas no presente estudo foi necessário analisar os modelos comumente utilizados para este tipo de problema. Ao revisar a literatura de modelos de estimativa de taxa de juros verificamos que os modelos de Vasicek (1977) e Cox, Ingersoll e Ross – CIR (1985).

O modelo de Vasicek (1977) supõe que a taxa de juros siga um movimento Browniano conforme a equação diferencial estocástica a seguir:

$$dr = a(b - r)dt + \sigma dz \quad (8)$$

Sendo que:

- r é a taxa de juro de curto prazo;
- dt é o intervalo de tempo infinitesimal;
- b é uma constante que representa a taxa de juro de longo prazo.

- a é uma constante que representa a velocidade de reversão da taxa de juro de curto prazo à taxa de juro de longo prazo;
- σ é o parâmetro de volatilidade; e
- dz é o componente aleatório do modelo, baseado na distribuição gaussiana com média zero e variância dt (Processo de Wiener).

O modelo de Vasicek possui o parâmetro de reversão à média, ou seja, quando a taxa de juros de curto prazo encontra-se abaixo da taxa de juros de longo prazo, o termo expresso por $(b - r)$ se torna positivo, o que faz com que a taxa de juros de curto prazo volte a se aproximar da taxa média de longo prazo. De forma similar, quando a taxa de juros de curto prazo fica acima da taxa de juros de longo prazo, o termo expresso por $(b - r)$ se torna negativo, e a taxa de juros de curto prazo é revertida para a taxa média de longo prazo. Uma particularidade do modelo Vasicek é que o mesmo permite que as taxas de juros possam assumir valores negativos, sendo este o principal motivador para não utilização deste modelo no presente estudo.

O modelo CIR também supõe que a taxa de juros siga um movimento Browniano descrito pela seguinte equação diferencial:

$$dz = a(b - r)dt + \sigma\sqrt{r}dz \quad (9)$$

Sendo que:

- r é a taxa de juros de curto prazo;
- dt é o intervalo de tempo infinitesimal;
- b é uma constante que representa a taxa de juros de longo prazo;
- a é uma constante que representa a velocidade de reversão da taxa de juros de curto prazo à taxa de juros de longo prazo;
- σ é o parâmetro de volatilidade; e
- dz é o componente aleatório do modelo, baseado na distribuição gaussiana com média zero e variância dt (Processo de Wiener).

O modelo CIR pode ser entendido como uma extensão do modelo Vasicek, e vem sendo referência por possuir tratamento analiticamente razoável e por impedir que as taxas de juros se tornem negativas, particularidade que não ocorre no modelo Vasicek. Neste modelo, o componente de volatilidade é proporcional a \sqrt{r} . Com isso, quando a taxa de juros se aproxima a zero, o componente de volatilidade também se aproxima de zero, fazendo com que o efeito da aleatoriedade seja cancelado, assegurando, assim, que as taxas permaneçam positivas. Além disso, este modelo também incorpora a reversão à média, da mesma forma que o modelo Vasicek.

Considerando o fato de o modelo CIR não resultar em taxas negativas e pelo fato de ser amplamente utilizado na estimativa de taxas de juros com fatores estocásticos, optou-se por utilizá-lo para estimar as estruturas de taxas de juros de mercado dos títulos NTN-B e NTN-C, além de utilizá-lo também na projeção da taxa Selic, utilizada na valoração dos títulos LFT.

Após a definição do modelo a ser utilizado, o passo seguinte foi o de estimar os parâmetros inseridos no modelo de acordo com dados observados no passado. Para tanto, estudou-se o comportamento das taxas de títulos vigentes e que possuíam uma profundidade histórica de dados razoável para que os parâmetros refletissem a variabilidade da taxa em cenários bem distintos, ou seja, a fim de considerar que os parâmetros a serem utilizados tenham sido estimados considerando um ciclo econômico razoável e estas tendências de aumento e queda sejam observadas nas simulações a serem realizadas. As séries estudadas (retiradas da ECONOMÁTICA) para a estimação possuem as seguintes informações:

Tabela 5 – Informações cadastrais das séries históricas das taxas de juros.

Titulo/Taxa	Nome	Início da série estudada	Fim da série estudada	Período
NTN-B	NTN-B 760199	31/12/20103	30/06/2015	Mensal
NTN-C	NTN-C 770100	31/12/20103	30/06/2015	Mensal
Selic	-	31/12/20103	30/06/2015	Mensal

A estimação dos parâmetros dos modelos foi através do método de máxima verossimilhança. O método da máxima verossimilhança consiste em estimar os parâmetros de um modelo utilizando as estimativas que tornam máximo o valor da função de verossimilhança, ou seja, baseado nos resultados obtidos por uma amostra de dados, o método da máxima verossimilhança determina qual a distribuição, dentre todas aquelas definidas pelos possíveis valores de seus parâmetros, com maior possibilidade de ter gerado tal amostra. Com isso, o método da máxima verossimilhança escolhe os parâmetros a , b e σ (todos pertencentes ao modelo CIR) que melhor explica a amostra observada. A função de verossimilhança para um parâmetro genérico é dada por:

$$L(\theta; x_1, \dots, x_n) = f(x_1; \theta) \times \dots \times f(x_n; \theta) = \sum_{i=1}^n f(x_i; \theta) \quad (10)$$

O estimador de máxima verossimilhança de θ é o valor que maximiza $L(\theta; x_1, \dots, x_n)$. Para as estruturas de taxas de juros estimadas, obteve-se os seguintes valores de parâmetros estimados:

Tabela 6 – Parâmetros estimados - Modelo CIR.

Estrutura de taxa de juros	Parâmetros			Máxima verossimilhança
	<i>a</i>	<i>b</i>	σ	
NTN-B	0,0325	0,0611	0,0031	601,4979
NTN-C	0,0239	0,0570	0,0024	633,9328
Selic	0,0120	0,1060	0,0040	567,8007

Através desses parâmetros e do modelo CIR foi possível construir estruturas de taxas de juros em cada simulação em cada cenário estudado.

O fator de risco restante e que foi base de análise foram os indexadores dos títulos NTN-B, dado pela IPCA, e NTN-C, dado pelo IGPM. Com isso, foi necessário adotar um modelo de projeção de tais indexadores e estimar os parâmetros dos mesmos. Para ambos os casos se adotou que a variação de cada indexador possuía distribuição Gaussiana, dadas pelos parâmetros observados em determinada série histórica.

Tabela 7 – Informações série histórica e parâmetros indexadores.

Indexador	Início da série estudada	Fim da série estudada	Período	Parâmetros	
				μ	σ
IPCA	01/01/2007	30/06/2015	Mensal	0,4870%	0,2537%
IGPM	01/01/2007	30/06/2015	Mensal	0,5095%	0,5688%

3.6. Determinação do capital baseado no risco de mercado

Uma vez determinadas as metodologias de cálculo e estimados os parâmetros dos modelos, o passo seguinte consistiu na efetiva simulação (10.000 por cenário) dos cenários propostos e cálculo do capital de risco baseado no risco de mercado.

Diferentemente do cálculo disposto no Solvência II e nos normativos do CNSP, que se baseiam em fatores de ponderação e metodologia de ΔNAV, a metodologia utilizada neste trabalho utilizou-se do método de simulações estocásticas para determinar os valores presentes líquidos de cada cenário. O cálculo de diversas simulações para cada cenário substitui a aplicação de fatores de ponderação, obtendo-se, assim, o valor presente líquido estressado com base nas simulações aleatórias, as quais consideram projeções extremas de fatores de riscos (descritos anteriormente). Com isso, a formulação do valor presente atuarial dos fluxos de caixa de passivos é apresentada a seguir:

$$VPA = (FV_t + FR_t) \cdot (1 + i)^{-t} \quad (11)$$

Sendo que:

- VPA é o valor presente atuarial;
- FV_t é o fluxo atuarial de renda vitalícia no instante t ;
- FR_t é o fluxo atuarial de renda reversível no instante t ;
- i é a taxa de juros projetada conforme metodologia *CIR*, no instante; e
- t é o momento futuro do fluxo de caixa, variando no intervalo de zero até o último momento do fluxo de caixa da simulação realizada.

De maneira similar, a formulação do valor presente dos fluxos de caixa de ativos é apresentada a seguir:

$$VP = (F_{NTN-B_t} + Caixa_t) \cdot (1 + i)^{-t} \quad (12)$$

Sendo que:

- VP é o valor presente dos ativos;
- F_{NTN-B_t} é o fluxo do título de NTN-B (ou NTN-C, no caso de o cenário simulado possuir o título em questão) no instante t ;
- $Caixa_t$ é o saldo de caixa no no instante t ;
- i é a taxa de juros projetada conforme metodologia *CIR*, no instante; e
- t é o momento futuro do fluxo de caixa, variando no intervalo de zero até o último momento do fluxo de caixa da simulação realizada.

A consolidação dos fluxos de caixa de passivos e ativos foi realizada através do valor presente dos mesmos, conforme a seguir:

$$VPL = VPA - VP \quad (13)$$

Sendo que:

- VPL é o valor presente líquido - diferença do valor presente atuarial e do valor presente dos ativos;

Com base nos valores presentes líquidos (VPL), utilizou-se a ferramenta *Value-at-Risk* (VaR) para se calcular a diferença entre o valor presente líquido médio observado e o valor presente líquido estressado, observados pelas simulações estocásticas, a um nível qual o nível de 99,5% (conforme percentil definido pelo Solvência II). Esta diferença foi nomeada de capital de risco baseado no risco de mercado do modelo estocástico. Como um dos objetivos do presente estudo é o de confrontar o resultado desta metodologia com o resultado obtido pelo modelo regulatório, aplicou-se a metodologia Susep no cenário em questão para determinar o capital de risco de mercado e confrontar este resultado com o obtido pelo modelo estocástico.

4. RESULTADOS OBTIDOS

Após a apresentação dos modelos propostos pelos autores e o adotado pela Susep para determinação do capital de risco baseado no risco de mercado, é possível analisar que neste modelo, devido a não consideração estocástica do mesmo, faz-se necessário a determinação prévia de fatores de ponderação, ou de risco, a serem aplicados em cada vértice dos fluxos de caixa, relacionado o vencimento, o indexador do passivo e a do ativo. É importante ressaltar que estes fatores são determinados pela própria Susep, não sendo exposto o método utilizado, base de dados e profundidade histórica dos dados necessários para determinação de tais fatores.

A seguir, apresentaremos o perfil do fluxo de passivo, o perfil do fluxo de ativo, sendo este apresentado apenas pelas NTN-Bs no cenário 1, os fluxos de ativos e passivos juntos, a fim de identificar possíveis descasamento de fluxos no curto e longo prazo. Em seguida, apresentaremos o resultado do capital de risco de mercado segundo o modelo estocástico, conforme metodologia descrita no capítulo 3. Por fim, apresentaremos os resultados para o modelo regulatório, tanto a alocação dos fluxos nos vértices como o resultado do capital obtido com o referido modelo.

Os cenários projetados levaram em consideração qual o indexador de cada fluxo, variando a escolha entre IPCA e IGPM, conforme a seguir:

Tabela 8 – Cenários propostos para simulação.

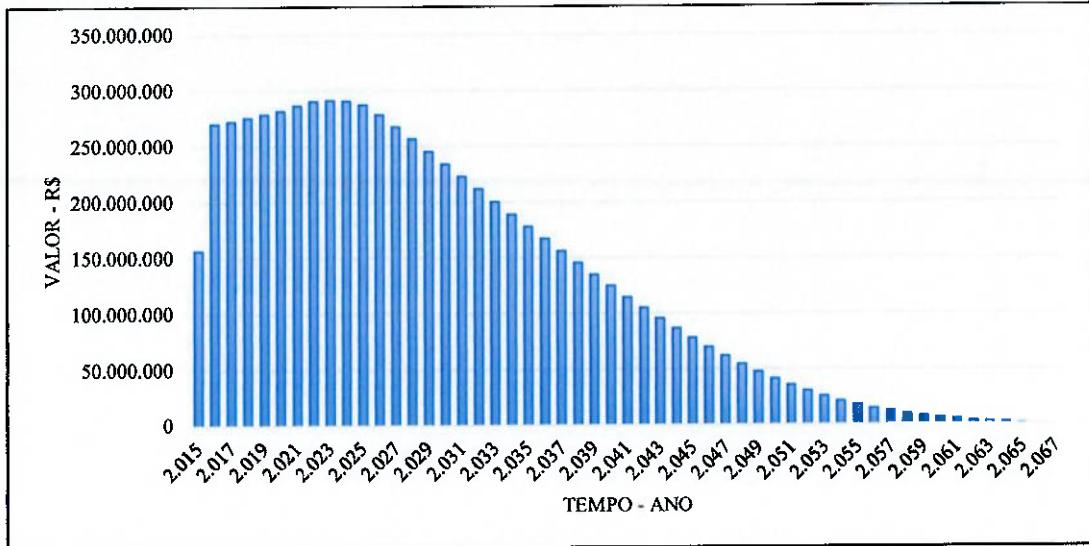
Cenário	Indexador	
	Ativo	Passivo
01	IPCA	IPCA
02	IGPM	IGPM
03	IGPM	IPCA
04	IPCA	IGPM
05	50% IPCA 50% IGPM	IPCA
06	50% IPCA 50% IGPM	IGPM

O cenário 1 foi considerado a alocação da carteira total em NTN-B e os passivos indexados pelo IPCA. Já o cenário 2, foi considerada a alocação da carteira em NTN-C e o indexador dos passivos em IGPM. Já os cenários 3 e 4 foram considerados descasamentos entre indexadores de ativos e passivo, ou seja, no cenário 3 foi considerado a alocação da carteira de ativos em IGPM e o passivo indexado a IPCA e, no cenário 4, o inverso, sendo a carteira de investimentos alocada em NTN-B e o indexador do passivo em IGPM. Com estes dois cenários é importante demonstrar o efeito do descasamento de indexadores no capital de risco baseado no risco de mercado, pois além dos fatores de riscos de taxas de juros e outros, o descasamento de

indexadores pode representar impacto relevante no capital de risco de mercado. Por fim, foram estipulados mais dois cenários adicionais, os quais consideram uma carteira de ativos mista, composta por 50% de NTN-B e 50% de NTN-C, mas que no cenário 5 o passivo esteja totalmente indexado pelo IPCA e, no cenário 6, indexado pelo IGPM.

Considerando os critérios definidos para a base cadastral e as formulações atuariais necessárias para projeção do fluxo de passivo, ambos expostos no capítulo 3, o fluxo médio de passivo possui a seguinte característica:

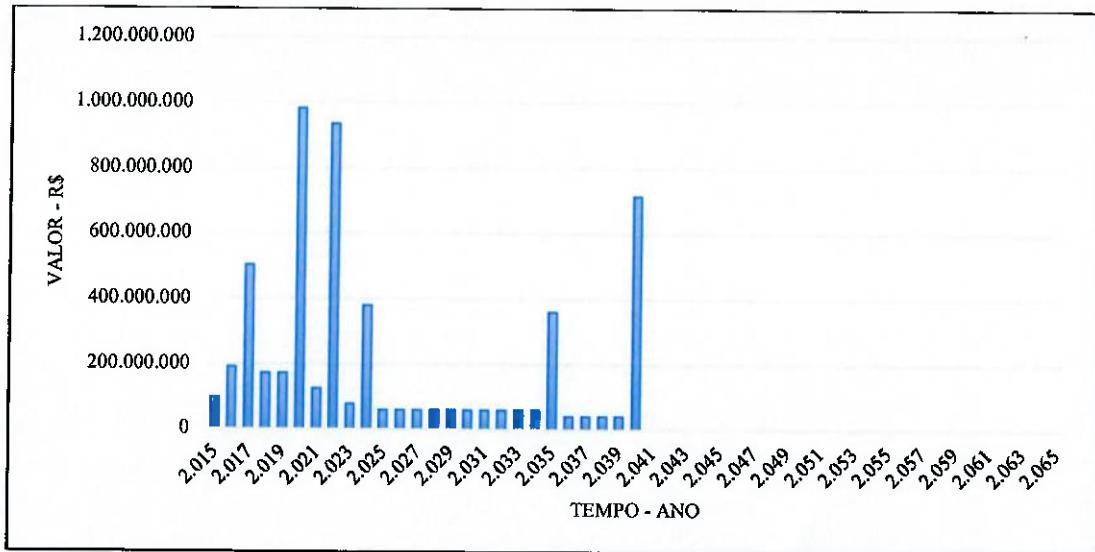
Figura 4 – Fluxo de passivo médio projetado



O fluxo de passivo possui característica decrescente ao passar dos anos, pois os participantes do plano de previdência, de idades variadas, vão falecendo ao passar do tempo e deixando de ter direito ao benefício. Neste caso, o cálculo atuarial considera apenas as saídas dos participantes ocasionadas pelo evento morte e o saldo de passivo decresce até atingir zero.

Já o fluxo de títulos públicos, representado no cenário 1 pelas NTN-Bs, possui o fluxo de caixa, desconsiderando efeitos de inflação, da seguinte maneira:

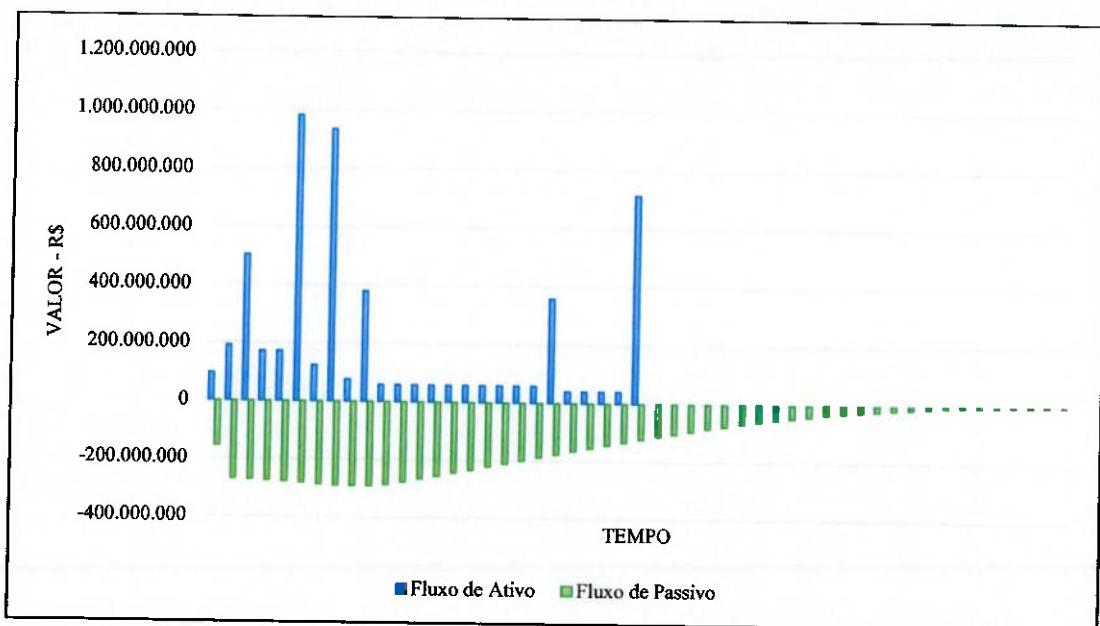
Figura 5 – Fluxo de ativo projetado.



O gráfico anterior representa o comportamento dos fluxos de caixa dos cupons e principal das NTN-Bs em seus respectivos vencimentos. É importante ressaltar que o fluxo de LFT não está considerado, uma vez que pela liquidez do referido título o mesmo foi interpretado como valor disponível em caixa, porém rentabilizado pela variação da Selic, para pagamento de benefícios de curtíssimo prazo.

Estes dois fluxos podem ser analisados de forma conjunta, em um só gráfico conforme a seguir, e fica mais evidente visualizar um possível descasamento de ativos e passivos. O risco de mercado não deve ser capturado apenas pelo descasamento de indexadores, mas sim pelo descasamento de fluxos de caixa, ao considerar, a valor presente, que a sociedade seguradora tenha o mesmo volume de ativos e passivos, porém com vencimentos muito distintos. Nesta situação, a referida sociedade seguradora do exemplo teria uma necessidade elevada de capital de risco baseado no risco de mercado.

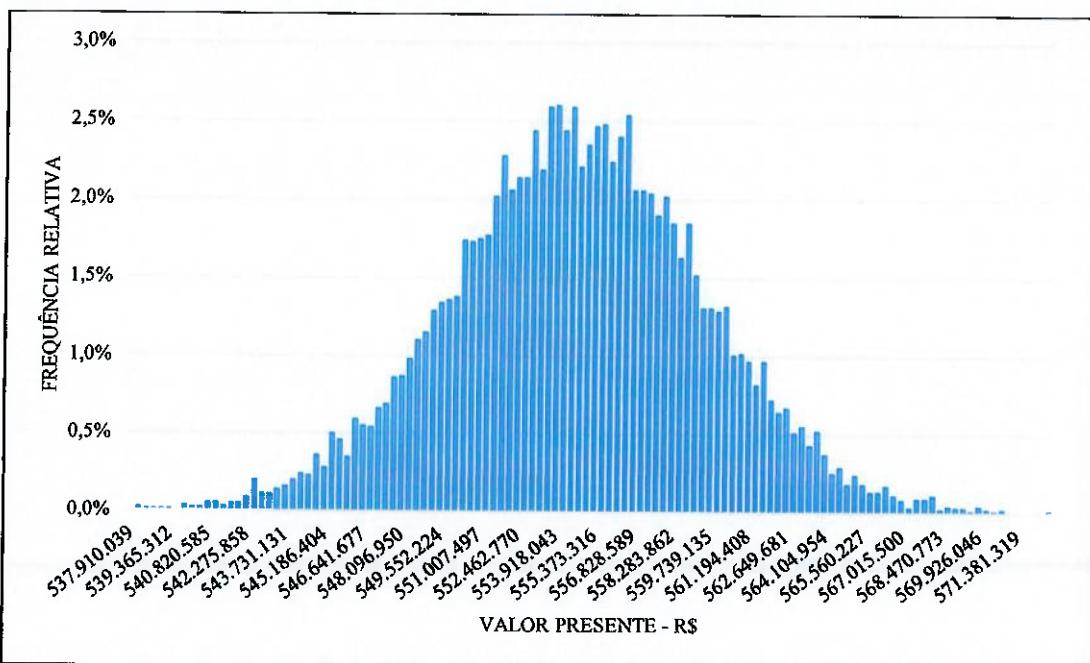
Figura 6 – Análise conjunta dos fluxos de ativos e passivos.



Ao analisarmos a Figura 6 é possível verificar que os fluxos de caixa como um todo apresentam um descasamento no longo prazo. Nos períodos com vencimento de principal existe uma discrepância relevante, agravada por possível descasamento de indexadores, pois ao considera-los, a diferença nominal entre os fluxos de ativos e passivos pode ser superior do que a diferença real dos mesmos fluxos. Além disso, o fluxo de passivo apresenta comportamento mais homogêneo ao longo do tempo, decrescendo até atingir o saldo de zero, e o fluxo de ativo, representado no gráfico apenas pelos cupons e principais das NTN-Bs, possui fluxos mais espaçados. O saldo de caixa, representados no modelo pelas LFTs, é utilizado para sanar possíveis descasamentos entre o fluxo de passivo com o de ativo, quando o de passivo é maior do que o de ativo em determinado período.

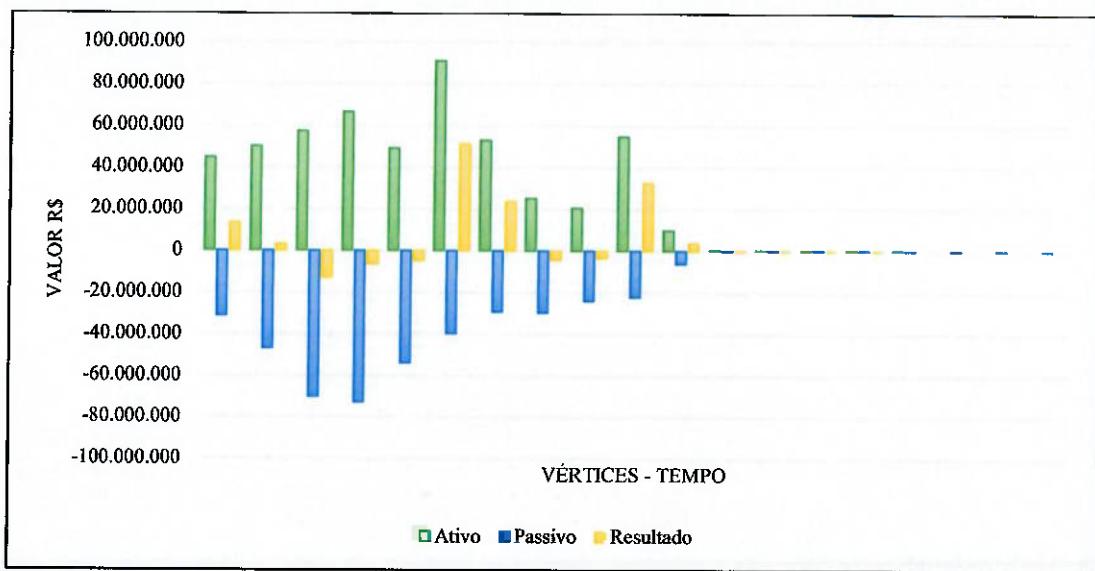
Os fluxos apresentados do gráfico anterior foram relacionados entre sim, ou seja, foi calculada a diferença entre eles a fim de identificar o descasamento e o valor de tal descasamento a valor presente. Esta análise foi realizada em cada uma das 10.000 simulações efetuadas em cada cenário. Em seguida, através da ferramenta VaR, calculou-se qual o capital de risco baseado no risco de mercado da sociedade seguradora, através do valor presente de cada simulação do cenário proposto. A distribuição dos resultados destes valores presentes, para o cenário 1, encontram-se a seguir:

Figura 7 – Distribuição do valor presente dos fluxos de caixa projetados – Cenário 1.



A distribuição dos resultados, a partir do gráfico anterior, possui características de uma distribuição gaussiana. O capital de risco baseado no risco de mercado é calculado como sendo aquele que seja suficiente para cobrir 99,5% das perdas esperadas oriundas de risco de mercado da instituição em neste cenário, foi de R\$ 12.851.412. Como um dos objetivos do presente estudo é o de comparar os resultados do modelo apresentado com os resultados obtidos pelo do modelo regulatório, faz-se necessário o cálculo do capital de risco de mercado segundo a Resolução CNSP nº 321/2015. Para tanto, alocou-se os fluxos deterministas de ativos e passivos em vértices, conforme descrito na referida resolução, e utilizou os fatores de ponderação presentes na mesma para, enfim, obter o capital de risco de mercado. A seguir apresentamos o gráfico que relaciona os saldos de passivos e ativos em cada vértice e o resultado da diferença dos fluxos em cada vértice.

Figura 8 – Alocação dos fluxos deterministas de ativos e passivos em vértices – Cenário 1.



Neste gráfico é possível notar que no longo prazo, mesmo os fluxos de ativos finalizando antes do que os de passivo, existe saldo suficiente em caixa para arcar com os fluxos de benefícios, porém, conforme exposto anteriormente, esta situação agrava a necessidade e o valor de possuir capital de risco de mercado elevado. A partir do modelo regulatório, o capital de risco baseado no risco de mercado foi de R\$ 4.426.622.

A diferença de necessidade de capital, considerando o cenário 1, foi em torno de 268% a mais de necessidade de capital para o modelo estocástico do que o modelo determinístico. Dentre as razões para esta discrepância pode-se citar o fato de que numa análise estocástica, devido a utilização de modelos probabilísticos e simulações de possíveis cenários econômicos e demográficos, é possível capturar necessidades extremas de capital de risco de mercado, em que por alguma combinação das variáveis simula-se um cenário que represente extremo impacto para a solvência da sociedade seguradora e o capital de risco necessário para esta simulação seria demasiadamente elevado. Em outras palavras, no modelo estocástico se calcula cenários extremos, considerando “piores” e “melhores” situação da sociedade seguradora, do ponto de vista de solvência, e o capital deste “pior” cenário é interpretado como o capital econômico necessário para cobrir perdas oriundas do risco de mercado.

Outro motivo que pode estar ocasionando esta elevada diferença entre as necessidades de capital de risco de mercado pode ser os fatores de ponderação dos fluxos em cada vértice, pois, conforme mencionado anteriormente, não se sabe qual o modelo utilizado, série histórica, entre outras, que de alguma maneira poderiam representar de maneira não assertiva os riscos de cada indexador.

O mesmo processo de cálculo foi efetuado para os demais cenários propostos, a fim de analisar o comportamento e a necessidade de capital de risco de mercado. Os resultados gráficos encontram-se no Apêndice D, sendo a tabela de resultados comparativos apresentada a seguir:

Tabela 9 – Resultados obtidos para o capital de risco de mercado.

Cenário	Indexador		Capital baseado no risco de mercado (R\$)		Incremento (%)
	Ativo	Passivo	Modelo estocástico	Modelo regulatório	
01	IPCA	IPCA	12.851.412	4.426.622	190,3209
02	IGPM	IGPM	25.711.442	4.954.327	418,9695
03	IGPM	IPCA	19.357.750	15.775.688	22,7062
04	IPCA	IGPM	16.686.035	14.469.940	15,3152
05	50% IPCA 50% IGPM	IPCA	15.581.574	7.993.907	94,9181
06	50% IPCA 50% IGPM	IGPM	21.173.307	7.380.233	186,8921

Ao analisarmos os resultados é nítido que, no modelo estocástico, os resultados dos capitais de risco de mercado são superiores ao do modelo regulatório. Isto decorre, dentre outros fatores, do fato de que esta metodologia captura valores e cenários extremos com as simulações estocásticas e o modelo regulatório, por ser limitado deste ponto de vista, não é possível capturar estes valores extremos.

No cenário 2, tanto os passivos como os ativos foram simulados indexados ao IGPM e o resultado do capital de risco pelo modelo estocástico foi bem superior ao modelo regulatório. Apesar de não existir descasamento de indexadores neste cenário, a variabilidade deste índice, quando comparada ao IPCA, é superior em torno de 124%, conforme dados contidos na tabela 7. Este fato pode agravar o risco de mercado a que os fluxos de ativos e passivos estão expostos.

Já para os cenários 3 e 4 simulou-se um descasamento de indexadores entre ativos e passivos. Pelo modelo regulatório, o capital de risco de mercado não sofreu tanto impacto, resultando em patamar muito similar, porém, pelo modelo estocástico, houve uma sensibilidade maior. No cenário 3, quando os ativos estavam indexados ao IGPM e os passivos pelo IPCA, o capital de risco de mercado resultou em R\$ 19.357.750, e no cenário 4, com os indexadores invertidos, a necessidade de capital para o risco de mercado foi de R\$ 16.686.035. Curiosamente, estes resultados estão entre os resultados dos cenários 1 e 2, quando foram simulados cenários de casamento de indexadores de ativos e passivos. Com isso, podemos interpretar, com base nos

resultados dos cenários 3 e 4, que mesmo existindo um descasamento de indexadores, isto impacta em uma correlação entre estes fatores de risco, reduzindo a necessidade de capital de risco de mercado, fato este não capturado pelo modelo regulatório.

Para os cenários 5 e 6 optou-se pela simulação de uma carteira de investimento mista, de 50% em títulos indexados ao IPCA e 50% em títulos indexados ao IGPM, e os passivos indexados por IPCA e IGPM. Nestes cenários é possível notar que ambos os modelos são sensibilizados quando comparados com os cenários sem descasamento de indexadores, porém menos que os cenários com descasamento total de indexadores. O cenário 6 apresentou maior necessidade de capital de risco de mercado, em linha com a maior variabilidade do IGPM em relação ao IPCA.

Com base nos resultados, fica evidente a fragilidade do modelo regulatório, pois o mesmo não captura possíveis oscilações dos fatores de risco, os quais impactam diretamente no valor do capital de risco de mercado. O modelo regulatório, conforme disposto anteriormente, propõe a utilização de fatores ponderação dos fluxos de caixa em respectivos vértices. Além disso, nos cenários 3 e 4 é possível verificar que o modelo regulatório se preocupa mais na sensibilidade de descasamento de indexadores do que em estressar os fatores de riscos, pois o descasamento provocado nestes cenários acarretou em grande aumento no capital de risco de mercado regulatório.

Além disso, é importante ressaltar, mesmo que não tenha sido escopo deste estudo, que a Susep já implementou modelos de cálculo de capitais de risco operacional crédito e subscrição para o mercado segurador, sendo este modelo baseados na mesma lógica do de risco de mercado, ou seja, são modelos determinísticos que dependem de fatores de ponderações diversos. Quando se leva em consideração a utilização destes modelos para determinação de um capital mínimo necessário, infelizmente este capital não deve refletir a necessidade real da sociedade seguradora, pois não considera a exposição dos riscos e particularidades da entidade.

5. CONCLUSÃO

A implementação do modelo de capital de risco baseado no risco de mercado pela Susep é algo positivo para a gestão financeira das sociedades seguradoras, uma vez que proporcionará uma maior segurança na gestão de risco das mesmas. O capital em questão deverá fazer frente a impactos bruscos nos valores dos passivos e ativos resultantes de fatores de risco de mercado. Porém, o modelo implementado pela Susep possui limitações que fazem com que este não seja a melhor ferramenta de cálculo para definir o capital necessário para fazer frente aos riscos de mercado das sociedades seguradoras, sendo tais limitações como o método de cálculo determinístico, fatores de risco definidos pela própria Susep, entre outros.

O presente estudo buscou apresentar um cálculo de capital de risco de mercado estocástico, levando em consideração os efeitos aleatórios dos passivos atuariais, determinados com base em probabilidades de sobrevivência dos participantes, aumento e redução da expectativa de sobrevida futura. Além dos passivos atuariais, os ativos também foram sensibilizados de forma estocástica, considerando uma carteira hipotética, formada por títulos públicos, projetada e descontada a valor presente por estruturas de juros estocásticas com base em modelos amplamente utilizados pelos autores deste tema.

Em seguida, foram realizadas simulações estocásticas a fim de determinar o capital de risco baseado no risco de mercado de uma sociedade seguradora e comparou-se este resultado com o modelo regulatório. Neste cenário, e nos demais propostos, ficou evidente a fragilidade do modelo regulatório, uma vez que os resultados obtidos pelo modelo estocástico foram bem superiores do que os resultados obtidos pelo modelo regulatório. Este fato nos leva a uma interpretação de que o método determinístico, utilizado no modelo regulatório, não captura possíveis cenários extremos, fundamentais quando se tenta mensurar o capital de risco de uma entidade.

Quando se analisou cenários em que existia um descasamento de indexadores, o modelo regulatório foi sensibilizado automaticamente, demonstrando a preocupação do regulador a possíveis carteiras de ativos e de passivos que não possuam o mesmo índice de reajuste. Nesta situação, para o modelo estocástico, o mesmo foi sensibilizado, porém em menor grau, uma vez que uma possível correlação entre os indexadores resultou em um nível de capital de risco de mercado inferior quando analisado em relação ao cenário sem descasamento.

Atualmente, as sociedades seguradoras devem utilizar o modelo regulatório e a expectativa é que no médio prazo a Susep aceite que as entidades possuam um modelo interno

próprio, o qual reflete a exposição de riscos das mesmas e o nível de capital de risco de mercado mais adequado, não se limitando a utilização do modelo regulatório.

É importante ressaltar que a implementação de um modelo interno estocástico pode ser importante para a gestão da sociedade seguradora, porém não é simples, pois requer equipe altamente qualificada, recursos de *software* e disponibilidade de dados suficiente para tal modelagem.

A intenção do presente estudo não foi a de implementar um modelo estocástico, mas sim a de chamar a atenção dos gestores das sociedades seguradoras de que o modelo regulatório possui fragilidades e que a entidade, mesmo seguindo as normas estipuladas pelo regulador, pode não estar protegida adequadamente em relação aos riscos de mercado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASEL COMMITTEE ON BANKING SUPERVISION. (2004). *International convergence of capital measurement and capital standards: A revised framework.* Recuperado de <http://www.bis.org/publ/bcbs107.pdf>

BATISTA, J. Verossimilhança e Máxima Verossimilhança. Centro de Métodos Quantitativos – Universidade de São Paulo. 2009.

BHATIA, M. (2009). *An introduction to economic capital.* London: Risk Books. Diretiva n. 138 (2009).

BOWERS, N., GERBER, H., HICKMAN, J., JONES, D., NESBITT, C. *Actuarial mathematics.* Cambridge: Cambridge University Press, 1997.

BRAGA, V. Adições à proposta do modelo Susep de risco de mercado. São Paulo, 2014. Dissertação (Mestrado em Gestão Empresarial). Escola Brasileira de Administração Pública e de Empresas da Fundação Getúlio Vargas.

CAMPAGNE, C. *Minimum standards of solvency for insurance firms—Report of the adhoc working party on minimum standards of solvency.* OEEC, TP/AS (61), 1, 1961.

CROUHY, M.; GALAI, D.; MARK, R. *The essentials of risk management.* McGraw-Hill. 2006.

COMMITTEE OF EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS SUPERVISORS. (2009). *Advice for Level 2 implementing measures on solvency II: SCR standard formula - Article 109 - Structure and design of market risk module.* Frankfurt: CEIOPS.

COMMITTEE OF EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS SUPERVISORS. (2010a). *Advice for Level 2 implementing measures on solvency II: Article 111 - Equity risk submodule.* Frankfurt: CEIOPS.

COMMITTEE OF EUROPEAN INSURANCE AND OCCUPATIONAL PENSIONS SUPERVISORS. (2010b). *Advice for Level 2 implementing measures on solvency II: SCR standard formula – Article 111b - Calibration of market risk module.* Frankfurt: CEIOPS.

COX, J.; INGERSOLL, J.; ROSS, S. *A theory of the term structure of interest rates.* Econometrica 53, 1985.

EUROPEAN COMMISSION (2006). Solvency II – Amended framework for consultation.

Recuperado de: https://eoipa.europa.eu/fileadmin/tx_dam/files/requestsforadvice/SIIAmended/FrameworkforConsultation.pdf

FERREIRA, P. **Modelos de precificação e ruína para seguros de curto prazo.** Rio de Janeiro: Funenseg, 2002.

FERREIRA, P.; MANO, C. **Aspectos Atuariais e Contábeis das Provisões Técnicas.** Rio de Janeiro, Funenseg, 2009.

FRANKLIN, S.; DUARTE, T.; NEVES, C.; MELO, E. **A estrutura a termo de taxa de juros no Brasil: modelos, estimação, interpolação e testes.** Susep, 2011.

GITMAN, L. **Princípio de Administração Financeira.** 2ed Porto Alegre: Bookman, 2001.

HICKMAN, J., CODY, D., MAYNARD, J., TROWBRIDGE, C., & TURNER, H. (1979). *Discussion of the "Preliminary report of the committee on valuation and related problems".* Record of the Society of Actuaries, 5, 241-284. Daykin *et al.* (1987).

JOLLIFFE, I. (2002). *Principal component analysis.* New York: Springer.

JORDAN, C. *Life Contingencies.* The Society of Actuaries. Second Edition, 1991.

JORION, P. **Value at Risk: The new benchmark for managing financial risk.** Third Edition. McGraw-Hill, 2006.

LEE, R.; CARTER, L. *Modeling and Forecasting U.S. Mortality.* Journal of the American Statistical Association, vol. 87, n. 419, p. 659-671, sep. 1992. sep., 1992.

MURPHY, R. (2011). *The social function of insurance.* 1967.

PENTIKÄINEN, T. (1952). *On the net retention and solvency of insurance companies.* Scandinavian Actuarial Journal, 1952(1-2), 71-92.

PENTIKÄINEN, T. (1967). *On the solvency of insurance companies.* Astin Bulletin (4.3).

Resolução n. 302, de 16 de dezembro de 2013. (2013). Dispõe sobre o capital mínimo requerido para autorização e funcionamento e sobre o plano de regularização de solvência das sociedades seguradoras, das entidades abertas de previdência complementar, das sociedades de capitalização e dos resseguradores locais. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Conselho Nacional de Seguros Privados.

Resolução n. 317, de 12 de dezembro de 2014. (2014). Dispõe sobre os critérios para apuração do capital de risco baseado no risco de mercado das sociedades seguradoras, entidades abertas de previdência complementar, sociedades de capitalização e resseguradores locais. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Conselho Nacional de Seguros Privados.

Resolução n. 321, de 15 de julho de 2015. (2015). Dispõe sobre provisões técnicas, ativos redutores da necessidade de cobertura das provisões técnicas, capital de risco baseado nos riscos de subscrição, de crédito, operacional e de mercado, patrimônio líquido ajustado, capital mínimo requerido, plano de regularização de solvência, limites de retenção, critérios para a realização de investimentos, normas contábeis, auditoria contábil e auditoria atuarial independentes e Comitê de Auditoria referentes a seguradoras, entidades abertas de previdência complementar, sociedades de capitalização e resseguradores.. Diário Oficial da União. Brasília, DF: Conselho Nacional de Seguros Privados.

SANDSTRÖM, A. (2010). *Handbook of solvency for actuaries and risk managers: theory and practice.* Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.

SANTOS, R.. **Técnicas de modelagem do improvement para construção de tábua geracionais.** Rio de Janeiro: 2007. Dissertação (Mestrado em Gestão de Riscos Financeiros e Atuariais). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

SECURATO, J. Crédito, Análise e Avaliação do Risco de Pessoas Físicas e Jurídicas. São Paulo: Saint Paul Institute of Finance, 2002.

SILVA, F. Impacto do Risco de Longevidade em plano de Previdência Complementar. São Paulo: 2010. Tese (Doutorado em Ciências Contábeis). Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo.

VASICEK, O. *An equilibrium characterization of the term structure,* Journal of Financial Economics, p. 177-188, 1992.

APÊNDICE A. TÁBUA DE MORTALIDADE AT-2000

A tábua de mortalidade AT-2000 representa a probabilidade de um indivíduo, para cada idade, vir a falecer dentro de um ano. Esta tábua é segregada por sexo, sendo que teoricamente a probabilidade de falecimento de um indivíduo do sexo masculino é diferente de um do sexo feminino devido a características distintas entre ambos. A seguir, as probabilidades da tábua AT-2000 são apresentadas:

Tabela 10 – Tábua de mortalidade AT-2000 Masculina.

x	qx	x	qx	x	qx	x	qx
0	0,00231	29	0,00077	58	0,00627	87	0,09696
1	0,00091	30	0,00078	59	0,00669	88	0,10563
2	0,00050	31	0,00079	60	0,00717	89	0,11486
3	0,00041	32	0,00079	61	0,00771	90	0,12461
4	0,00036	33	0,00079	62	0,00835	91	0,13486
5	0,00032	34	0,00079	63	0,00909	92	0,14558
6	0,00030	35	0,00079	64	0,00997	93	0,15673
7	0,00029	36	0,00079	65	0,01099	94	0,16829
8	0,00033	37	0,00082	66	0,01219	95	0,18025
9	0,00036	38	0,00087	67	0,01357	96	0,19257
10	0,00039	39	0,00095	68	0,01516	97	0,20523
11	0,00041	40	0,00104	69	0,01695	98	0,21868
12	0,00043	41	0,00117	70	0,01892	99	0,23337
13	0,00045	42	0,00132	71	0,02107	100	0,24974
14	0,00046	43	0,00151	72	0,02339	101	0,26824
15	0,00047	44	0,00172	73	0,02587	102	0,28931
16	0,00048	45	0,00195	74	0,02855	103	0,31339
17	0,00050	46	0,00220	75	0,03148	104	0,34094
18	0,00051	47	0,00246	76	0,03469	105	0,37240
19	0,00053	48	0,00274	77	0,03823	106	0,40821
20	0,00055	49	0,00303	78	0,04213	107	0,44882
21	0,00057	50	0,00333	79	0,04643	108	0,49468
22	0,00060	51	0,00365	80	0,05113	109	0,54623
23	0,00063	52	0,00398	81	0,05625	110	0,60392
24	0,00066	53	0,00433	82	0,06181	111	0,66819
25	0,00069	54	0,00470	83	0,06783	112	0,73948
26	0,00071	55	0,00508	84	0,07432	113	0,81825
27	0,00074	56	0,00547	85	0,08133	114	0,90495
28	0,00076	57	0,00586	86	0,08886	115	1,00000

Tabela 11 – Tábua de mortalidade AT-2000 Feminina.

<u>x</u>	<u>qx</u>	<u>x</u>	<u>qx</u>	<u>x</u>	<u>qx</u>	<u>x</u>	<u>qx</u>
0	0,00231	29	0,00077	58	0,00627	87	0,09696
1	0,00091	30	0,00078	59	0,00669	88	0,10563
2	0,00050	31	0,00079	60	0,00717	89	0,11486
3	0,00041	32	0,00079	61	0,00771	90	0,12461
4	0,00036	33	0,00079	62	0,00835	91	0,13486
5	0,00032	34	0,00079	63	0,00909	92	0,14558
6	0,00030	35	0,00079	64	0,00997	93	0,15673
7	0,00029	36	0,00079	65	0,01099	94	0,16829
8	0,00033	37	0,00082	66	0,01219	95	0,18025
9	0,00036	38	0,00087	67	0,01357	96	0,19257
10	0,00039	39	0,00095	68	0,01516	97	0,20523
11	0,00041	40	0,00104	69	0,01695	98	0,21868
12	0,00043	41	0,00117	70	0,01892	99	0,23337
13	0,00045	42	0,00132	71	0,02107	100	0,24974
14	0,00046	43	0,00151	72	0,02339	101	0,26824
15	0,00047	44	0,00172	73	0,02587	102	0,28931
16	0,00048	45	0,00195	74	0,02855	103	0,31339
17	0,00050	46	0,00220	75	0,03148	104	0,34094
18	0,00051	47	0,00246	76	0,03469	105	0,37240
19	0,00053	48	0,00274	77	0,03823	106	0,40821
20	0,00055	49	0,00303	78	0,04213	107	0,44882
21	0,00057	50	0,00333	79	0,04643	108	0,49468
22	0,00060	51	0,00365	80	0,05113	109	0,54623
23	0,00063	52	0,00398	81	0,05625	110	0,60392
24	0,00066	53	0,00433	82	0,06181	111	0,66819
25	0,00069	54	0,00470	83	0,06783	112	0,73948
26	0,00071	55	0,00508	84	0,07432	113	0,81825
27	0,00074	56	0,00547	85	0,08133	114	0,90495
28	0,00076	57	0,00586	86	0,08886	115	1,00000

APÊNDICE B. PARÂMETROS ESTIMADOS – MODELO LEE CARTER

Os parâmetros do modelo Lee-Carter (1992) foram estimados com base no disposto na seção 3 e são apresentados a seguir:

Tabela 12 – Parâmetros estimados Modelo Lee-Carter – Sexo Masculino.

Idade x	α_x	β_x	Ano	k_t	Idade x	α_x	β_x	Ano	k_t
0	-6,1115	0,0083	2015	-0,2726	40	-6,8677	0,0150	2055	-0,0019
1	-7,0820	0,0087	2016	-0,0269	41	-6,7551	0,0145	2056	-0,0019
2	-7,6544	0,0099	2017	-0,0042	42	-6,6316	0,0142	2057	-0,0019
3	-7,8654	0,0087	2018	-0,0021	43	-6,5022	0,0139	2058	-0,0019
4	-7,9916	0,0115	2019	-0,0019	44	-6,3715	0,0138	2059	-0,0019
5	-8,0745	0,0073	2020	-0,0019	45	-6,2442	0,0136	2060	-0,0019
6	-8,1354	0,0052	2021	-0,0019	46	-6,1233	0,0135	2061	-0,0019
7	-8,1715	0,0029	2022	-0,0019	47	-6,0090	0,0132	2062	-0,0019
8	-8,0201	0,0095	2023	-0,0019	48	-5,9015	0,0128	2063	-0,0019
9	-7,9123	0,0148	2024	-0,0019	49	-5,8004	0,0123	2064	-0,0019
10	-7,8377	0,0127	2025	-0,0019	50	-5,7041	0,0118	2065	-0,0019
11	-7,7898	0,0115	2026	-0,0019	51	-5,6123	0,0114	2066	-0,0019
12	-7,7595	0,0102	2027	-0,0019	52	-5,5244	0,0111	2067	-0,0019
13	-7,7300	0,0095	2028	-0,0019	53	-5,4399	0,0111	2068	-0,0019
14	-7,6929	0,0114	2029	-0,0019	54	-5,3589	0,0112	2069	-0,0019
15	-7,6419	0,0101	2030	-0,0019	55	-5,2817	0,0113	2070	-0,0019
16	-7,6156	0,0123	2031	-0,0019	56	-5,2083	0,0113	2071	-0,0019
17	-7,5854	0,0158	2032	-0,0019	57	-5,1386	0,0112	2072	-0,0019
18	-7,5550	0,0186	2033	-0,0019	58	-5,0724	0,0110	2073	-0,0019
19	-7,5204	0,0198	2034	-0,0019	59	-5,0066	0,0107	2074	-0,0019
20	-7,4817	0,0207	2035	-0,0019	60	-4,9384	0,0104	2075	-0,0019
21	-7,4393	0,0197	2036	-0,0019	61	-4,8656	0,0101	2076	-0,0019
22	-7,3958	0,0195	2037	-0,0019	62	-4,7866	0,0099	2077	-0,0019
23	-7,3517	0,0195	2038	-0,0019	63	-4,7008	0,0097	2078	-0,0019
24	-7,3071	0,0193	2039	-0,0019	64	-4,6084	0,0096	2079	-0,0019
25	-7,2663	0,0195	2040	-0,0019	65	-4,5099	0,0094	2080	-0,0019
26	-7,2288	0,0192	2041	-0,0019	66	-4,4062	0,0092	2081	-0,0019
27	-7,1985	0,0187	2042	-0,0019	67	-4,2982	0,0091	2082	-0,0019
28	-7,1731	0,0187	2043	-0,0019	68	-4,1873	0,0090	2083	-0,0019
29	-7,1536	0,0184	2044	-0,0019	69	-4,0759	0,0089	2084	-0,0019
30	-7,1423	0,0181	2045	-0,0019	70	-3,9656	0,0088	2085	-0,0019
31	-7,1378	0,0175	2046	-0,0019	71	-3,8578	0,0087	2086	-0,0019
32	-7,1388	0,0174	2047	-0,0019	72	-3,7532	0,0085	2087	-0,0019
33	-7,1388	0,0172	2048	-0,0019	73	-3,6518	0,0082	2088	-0,0019
34	-7,1386	0,0170	2049	-0,0019	74	-3,5527	0,0078	2089	-0,0019
35	-7,1383	0,0168	2050	-0,0019	75	-3,4547	0,0075	2090	-0,0019
36	-7,1366	0,0166	2051	-0,0019	76	-3,3571	0,0071	2091	-0,0019
37	-7,1017	0,0163	2052	-0,0019	77	-3,2595	0,0068	2092	-0,0019
38	-7,0449	0,0159	2053	-0,0019	78	-3,1617	0,0064	2093	-0,0019
39	-6,9655	0,0154	2054	-0,0019	79	-3,0642	0,0061	2094	-0,0019

Idade x	α_x	β_x	Ano	k_t	Idade x	α_x	β_x	Ano	k_t
80	-2,9734	0,0000	2095	-0,0019	98	-1,5201	0,0000	2113	-0,0019
81	-2,8779	0,0000	2096	-0,0019	99	-1,4551	0,0000	2114	-0,0019
82	-2,7837	0,0000	2097	-0,0019	100	-1,3873	0,0000	2115	-0,0019
83	-2,6908	0,0000	2098	-0,0019	101	-1,3159	0,0000	2116	-0,0019
84	-2,5993	0,0000	2099	-0,0019	102	-1,2403	0,0000	2117	-0,0019
85	-2,5093	0,0000	2100	-0,0019	103	-1,1603	0,0000	2118	-0,0019
86	-2,4207	0,0000	2101	-0,0019	104	-1,0760	0,0000	2119	-0,0019
87	-2,3335	0,0000	2102	-0,0019	105	-0,9878	0,0000	2120	-0,0019
88	-2,2478	0,0000	2103	-0,0019	106	-0,8960	0,0000	2121	-0,0019
89	-2,1641	0,0000	2104	-0,0019	107	-0,8011	0,0000	2122	-0,0019
90	-2,0826	0,0000	2105	-0,0019	108	-0,7038	0,0000	2123	-0,0019
91	-2,0035	0,0000	2106	-0,0019	109	-0,6047	0,0000	2124	-0,0019
92	-1,9271	0,0000	2107	-0,0019	110	-0,5043	0,0000	2125	-0,0019
93	-1,8532	0,0000	2108	-0,0019	111	-0,4032	0,0000	2126	-0,0019
94	-1,7821	0,0000	2109	-0,0019	112	-0,3018	0,0000	2127	-0,0019
95	-1,7134	0,0000	2110	-0,0019	113	-0,2006	0,0000	2128	-0,0019
96	-1,6473	0,0000	2111	-0,0019	114	-0,0999	0,0000	2129	-0,0019
97	-1,5836	0,0000	2112	-0,0019	115	0,0000	0,0000		

Tabela 13 – Parâmetros estimados Modelo Lee-Carter – Sexo Feminino.

Idade x	α_x	β_x	Ano	k_t	Idade x	α_x	β_x	Ano	k_t
0	-6,3783	0,0043	2015	-0,2057	46	-6,8240	0,0120	2061	-0,1635
1	-7,2798	0,0008	2016	-0,1623	47	-6,7238	0,0116	2062	-0,1635
2	-7,9233	0,0038	2017	-0,1635	48	-6,6226	0,0112	2063	-0,1635
3	-8,2258	0,0066	2018	-0,1635	49	-6,5208	0,0108	2064	-0,1635
4	-8,4427	0,0089	2019	-0,1635	50	-6,4200	0,0103	2065	-0,1635
5	-8,6343	0,0068	2020	-0,1635	51	-6,3198	0,0099	2066	-0,1635
6	-8,8142	0,0095	2021	-0,1635	52	-6,2227	0,0096	2067	-0,1635
7	-8,9745	0,0029	2022	-0,1635	53	-6,1274	0,0095	2068	-0,1635
8	-8,9608	-0,0028	2023	-0,1635	54	-6,0351	0,0094	2069	-0,1635
9	-8,9299	-0,0057	2024	-0,1635	55	-5,9438	0,0094	2070	-0,1635
10	-8,8875	-0,0044	2025	-0,1635	56	-5,8540	0,0093	2071	-0,1635
11	-8,8408	0,0004	2026	-0,1635	57	-5,7654	0,0091	2072	-0,1635
12	-8,7857	0,0072	2027	-0,1635	58	-5,6780	0,0088	2073	-0,1635
13	-8,7223	0,0133	2028	-0,1635	59	-5,5895	0,0084	2074	-0,1635
14	-8,6588	0,0179	2029	-0,1635	60	-5,4984	0,0079	2075	-0,1635
15	-8,5945	0,0212	2030	-0,1635	61	-5,4036	0,0076	2076	-0,1635
16	-8,5267	0,0236	2031	-0,1635	62	-5,3049	0,0073	2077	-0,1635
17	-8,4590	0,0255	2032	-0,1635	63	-5,2026	0,0071	2078	-0,1635
18	-8,3963	0,0271	2033	-0,1635	64	-5,0992	0,0069	2079	-0,1635
19	-8,3379	0,0284	2034	-0,1635	65	-4,9974	0,0068	2080	-0,1635
20	-8,2795	0,0296	2035	-0,1635	66	-4,8986	0,0067	2081	-0,1635
21	-8,2237	0,0304	2036	-0,1635	67	-4,8040	0,0065	2082	-0,1635
22	-8,1661	0,0305	2037	-0,1635	68	-4,7132	0,0063	2083	-0,1635
23	-8,1096	0,0299	2038	-0,1635	69	-4,6223	0,0062	2084	-0,1635
24	-8,0517	0,0288	2039	-0,1635	70	-4,5274	0,0060	2085	-0,1635
25	-7,9990	0,0276	2040	-0,1635	71	-4,4266	0,0059	2086	-0,1635
26	-7,9489	0,0264	2041	-0,1635	72	-4,3184	0,0057	2087	-0,1635
27	-7,9015	0,0254	2042	-0,1635	73	-4,2033	0,0054	2088	-0,1635
28	-7,8600	0,0243	2043	-0,1635	74	-4,0835	0,0051	2089	-0,1635
29	-7,8206	0,0235	2044	-0,1635	75	-3,9615	0,0048	2090	-0,1635
30	-7,7847	0,0227	2045	-0,1635	76	-3,8390	0,0046	2091	-0,1635
31	-7,7545	0,0219	2046	-0,1635	77	-3,7170	0,0043	2092	-0,1635
32	-7,7247	0,0209	2047	-0,1635	78	-3,5961	0,0040	2093	-0,1635
33	-7,6985	0,0201	2048	-0,1635	79	-3,4761	0,0037	2094	-0,1635
34	-7,6731	0,0194	2049	-0,1635	80	-3,3360	0,0000	2095	-0,1635
35	-7,6424	0,0186	2050	-0,1635	81	-3,2181	0,0000	2096	-0,1635
36	-7,6049	0,0179	2051	-0,1635	82	-3,1007	0,0000	2097	-0,1635
37	-7,5596	0,0171	2052	-0,1635	83	-2,9838	0,0000	2098	-0,1635
38	-7,5026	0,0163	2053	-0,1635	84	-2,8671	0,0000	2099	-0,1635
39	-7,4358	0,0155	2054	-0,1635	85	-2,7503	0,0000	2100	-0,1635
40	-7,3626	0,0147	2055	-0,1635	86	-2,6337	0,0000	2101	-0,1635
41	-7,2832	0,0140	2056	-0,1635	87	-2,5172	0,0000	2102	-0,1635
42	-7,1978	0,0134	2057	-0,1635	88	-2,4018	0,0000	2103	-0,1635
43	-7,1093	0,0130	2058	-0,1635	89	-2,2896	0,0000	2104	-0,1635
44	-7,0169	0,0126	2059	-0,1635	90	-2,1825	0,0000	2105	-0,1635
45	-6,9216	0,0123	2060	-0,1635	91	-2,0816	0,0000	2106	-0,1635

Idade x	α_x	β_x	Ano	k_t	Idade x	α_x	β_x	Ano	k_t
92	-1,9874	0,0000	2107	-0,1635	104	-1,1456	0,0000	2119	-0,1635
93	-1,9001	0,0000	2108	-0,1635	105	-1,0574	0,0000	2120	-0,1635
94	-1,8197	0,0000	2109	-0,1635	106	-0,9636	0,0000	2121	-0,1635
95	-1,7459	0,0000	2110	-0,1635	107	-0,8650	0,0000	2122	-0,1635
96	-1,6785	0,0000	2111	-0,1635	108	-0,7625	0,0000	2123	-0,1635
97	-1,6175	0,0000	2112	-0,1635	109	-0,6568	0,0000	2124	-0,1635
98	-1,5590	0,0000	2113	-0,1635	110	-0,5488	0,0000	2125	-0,1635
99	-1,5005	0,0000	2114	-0,1635	111	-0,4394	0,0000	2126	-0,1635
100	-1,4395	0,0000	2115	-0,1635	112	-0,3292	0,0000	2127	-0,1635
101	-1,3744	0,0000	2116	-0,1635	113	-0,2189	0,0000	2128	-0,1635
102	-1,3041	0,0000	2117	-0,1635	114	-0,1090	0,0000	2129	-0,1635
103	-1,2279	0,0000	2118	-0,1635	115	0,0000	0,0000		

APÊNDICE C. BASE DE DADOS UTILIZADA

A base de dados utilizada no estudo foi simulada conforme seção 3. A seguir, apresentamos a base agrupada utilizada no estudo:

Tabela 14 – Base de dados utilizada.

Idade Participante	Sexo participante	Idade Cônjugue	Sexo Cônjugue	Benefício (R\$)	Idade Participante	Sexo participante	Idade Cônjugue	Sexo Cônjugue	Benefício (R\$)
51	F	51	M	5.185.155	72	F	69	M	6.033.151
52	M	53	F	4.609.336	73	M	75	F	5.597.542
52	F	56	M	6.123.595	73	F	78	M	6.418.898
53	M	62	F	4.332.807	74	M	79	F	6.387.688
53	F	55	M	6.277.707	74	F	81	M	5.334.688
54	M	58	F	5.746.420	75	M	80	F	4.001.139
54	F	58	M	7.755.502	75	F	76	M	3.978.555
55	M	60	F	6.185.666	76	M	76	F	1.711.005
55	F	54	M	10.470.986	76	F	77	M	2.174.372
56	M	60	F	7.425.019	77	M	84	F	2.995.625
56	F	57	M	6.917.015	77	F	84	M	2.582.885
57	M	62	F	3.533.693	78	M	80	F	2.637.560
57	F	59	M	8.547.116	78	F	80	M	3.259.199
58	M	60	F	6.528.418	79	M	91	F	2.869.742
58	F	64	M	8.123.618	79	F	78	M	4.011.808
59	M	65	F	5.514.044	80	M	83	F	3.119.721
59	F	60	M	5.508.417	80	F	82	M	2.607.773
60	M	65	F	5.368.608	81	M	85	F	2.210.564
60	F	64	M	6.379.562	81	F	88	M	2.909.917
61	M	61	F	7.085.412	82	M	83	F	3.141.478
61	F	59	M	4.112.596	82	F	88	M	2.456.711
62	M	62	F	6.305.049	83	M	82	F	3.474.059
62	F	67	M	5.968.753	83	F	86	M	2.154.909
63	M	71	F	6.260.593	84	M	88	F	3.014.027
63	F	66	M	4.960.535	84	F	87	M	2.433.336
64	M	67	F	9.240.860	85	M	86	F	3.605.820
64	F	67	M	7.196.359	85	F	89	M	3.549.697
65	M	69	F	5.834.374	86	M	91	F	2.285.773
65	F	68	M	6.740.700	86	F	91	M	1.441.049
66	M	67	F	9.027.835	87	M	88	F	2.445.895
66	F	68	M	5.852.720	87	F	85	M	3.374.853
67	M	70	F	5.002.413	88	M	93	F	2.938.840
67	F	67	M	4.690.370	88	F	89	M	2.744.922
68	M	69	F	8.872.098	89	M	90	F	2.062.111
68	F	73	M	6.230.715	89	F	89	M	2.340.370
69	M	77	F	7.334.663	90	M	91	F	3.660.954
69	F	75	M	6.223.830	90	F	93	M	2.418.515
70	M	75	F	8.996.032	91	M	97	F	2.714.401
70	F	73	M	6.508.316	91	F	98	M	2.690.547
71	M	71	F	6.229.400					
71	F	77	M	4.503.934					
72	M	77	F	7.918.986					

APÊNDICE D. GRÁFICOS DOS CENÁRIOS SIMULADOS

Após efetuar as simulações para cada cenário, apresentamos a seguir os gráficos de distribuição de valor presente e o gráfico de alocação dos ativos, passivos e resultado em cada vértice para análise pelo modelo regulatório.

Figura 9 – Distribuição do valor presente – Cenário 2.

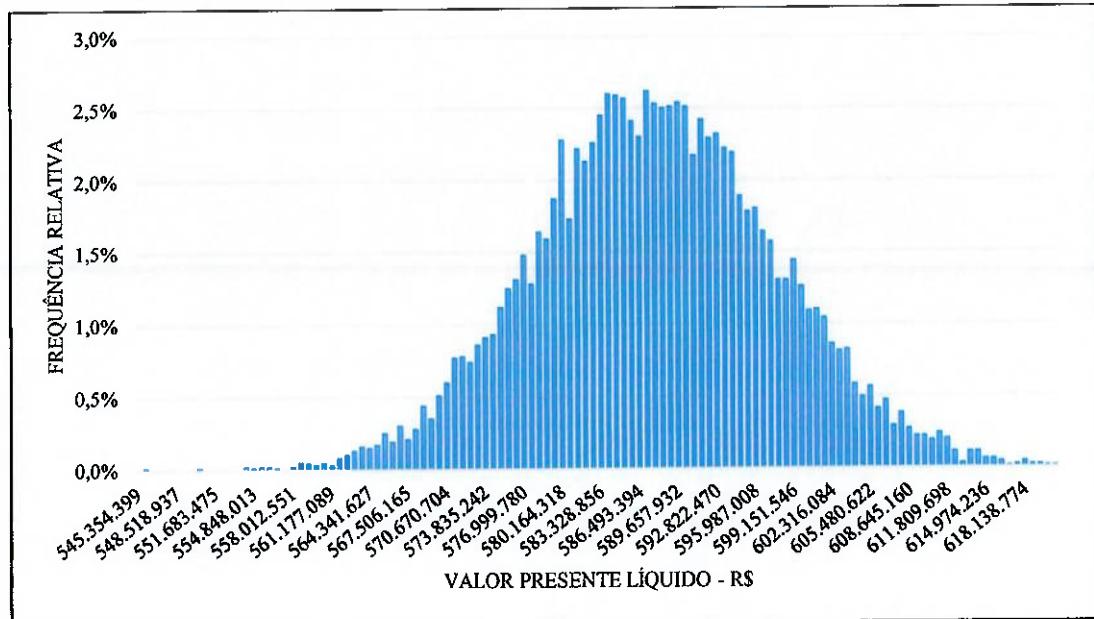


Figura 10 – Alocação de ativos e passivos em vértices – Cenário 2.

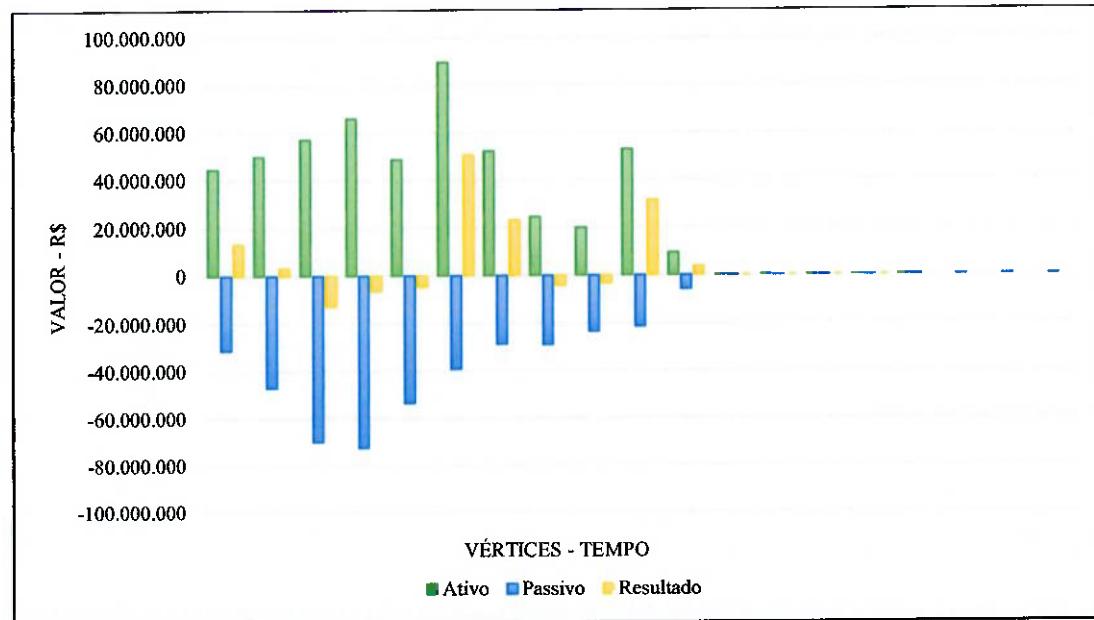


Figura 11 – Distribuição do valor presente – Cenário 3.

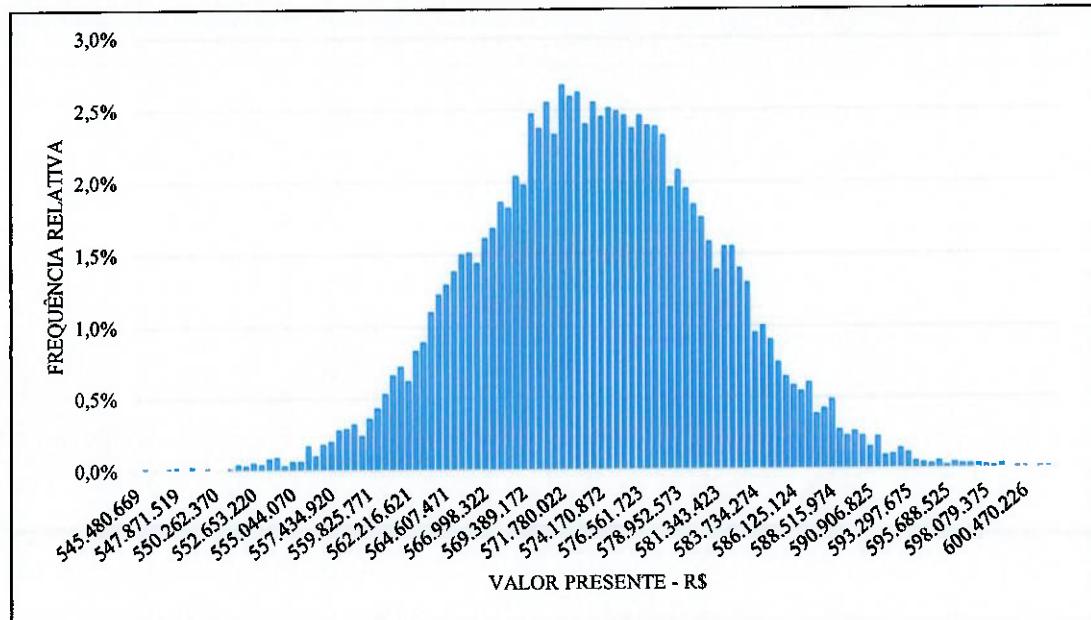


Figura 12 – Alocação de ativos e passivos em vértices – Cenário 3.

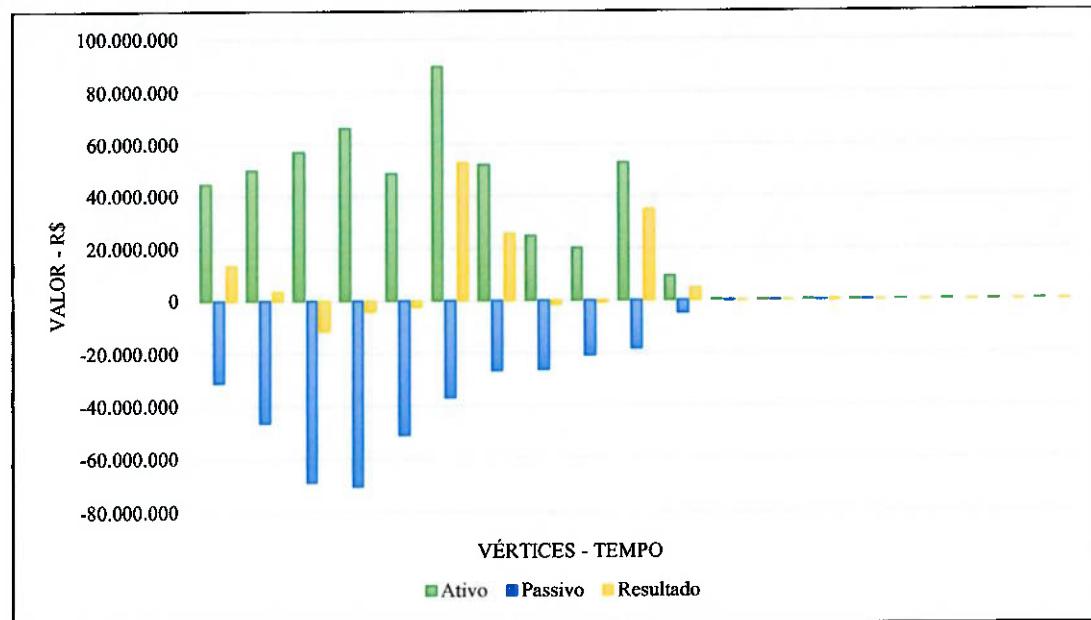


Figura 13 – Distribuição do valor presente – Cenário 4.

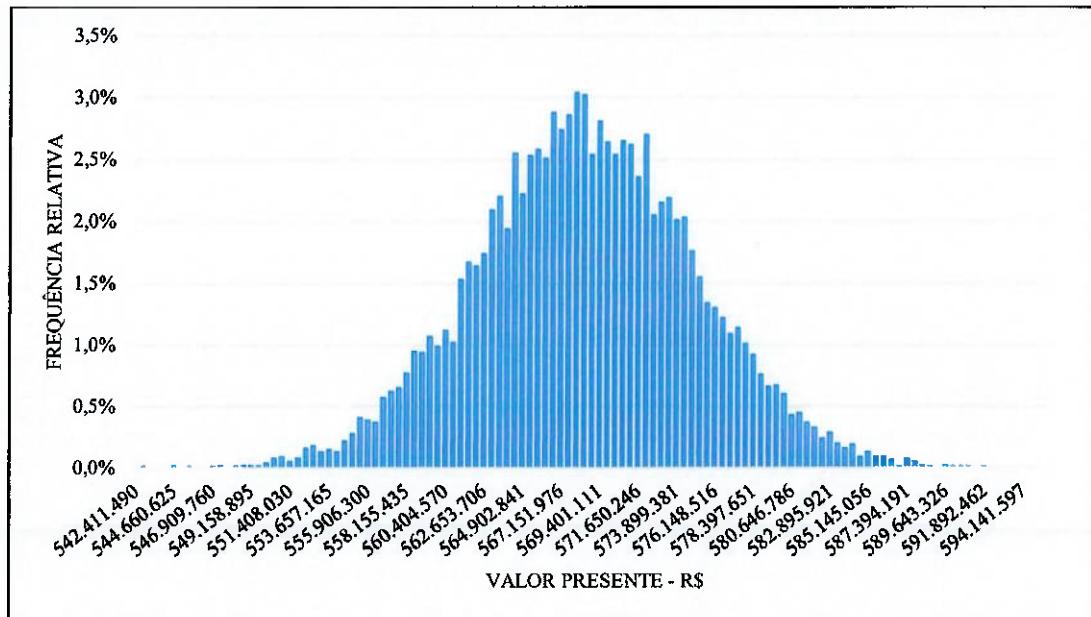


Figura 14 – Alocação de ativos e passivos em vértices – Cenário 4.

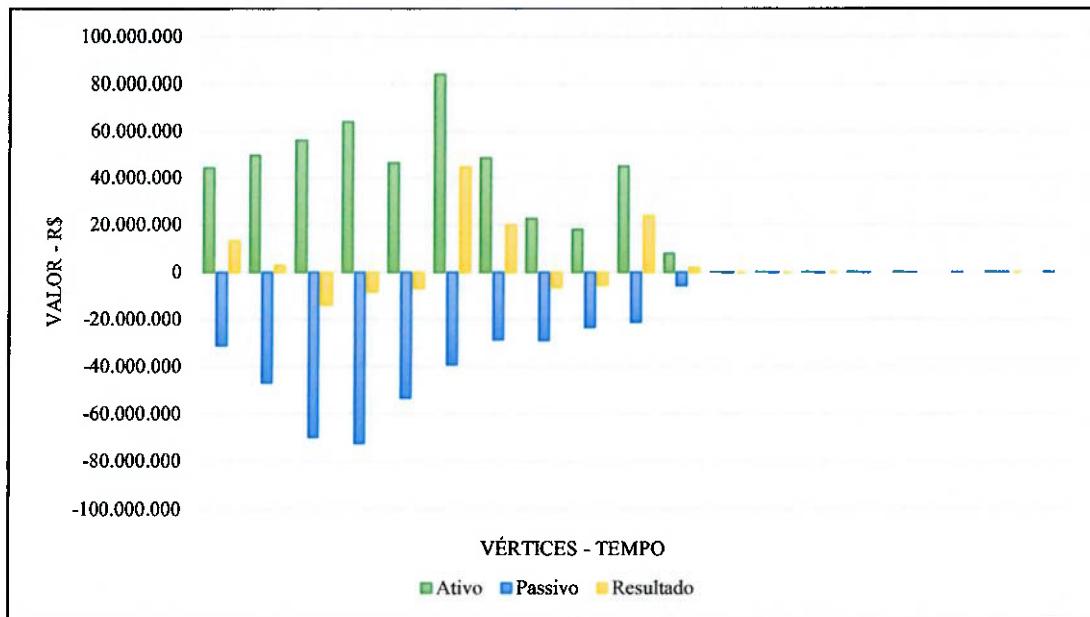


Figura 15 – Distribuição do valor presente – Cenário 5.

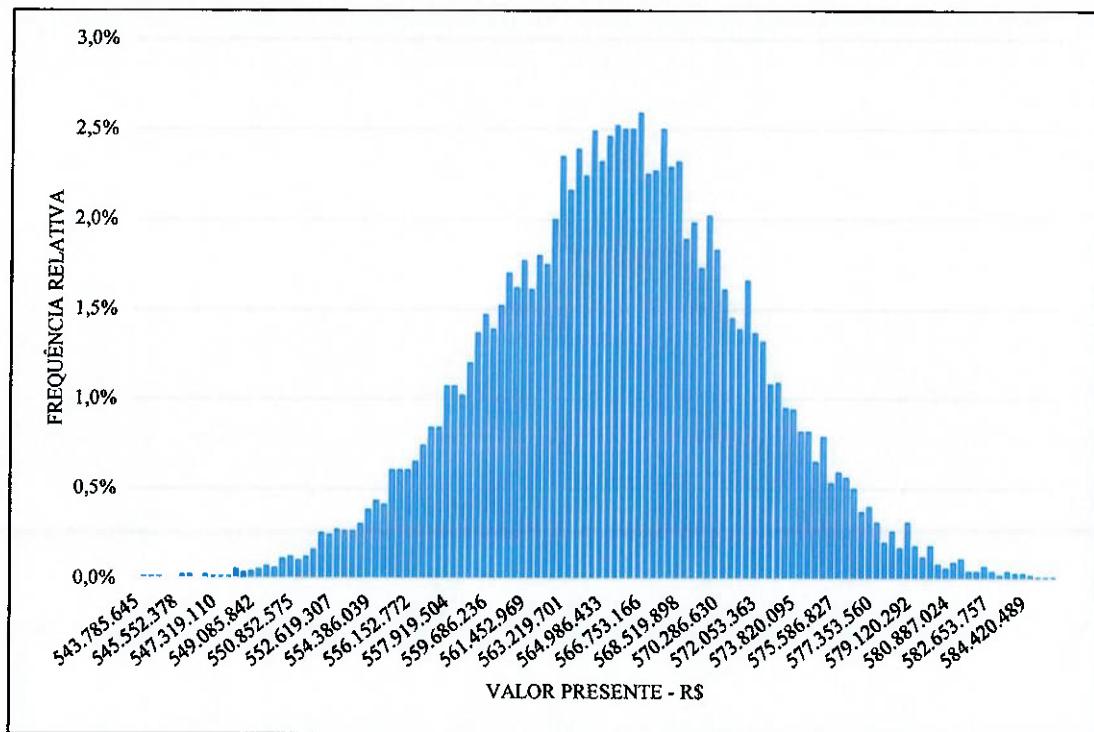


Figura 16 – Alocação de ativos e passivos em vértices – Cenário 5.

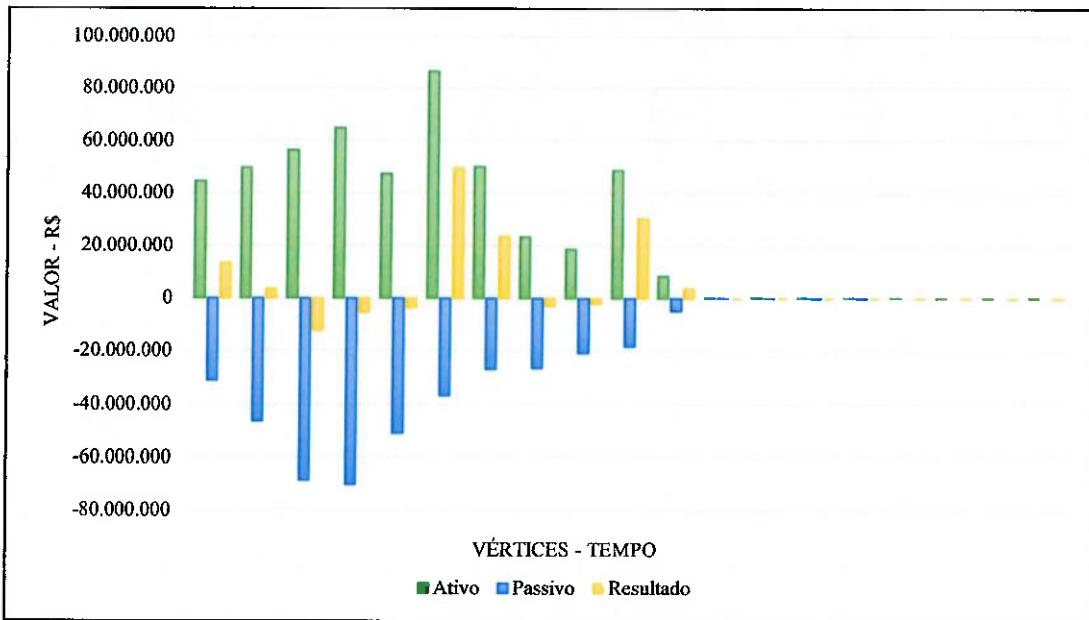


Figura 17 – Distribuição do valor presente – Cenário 6.

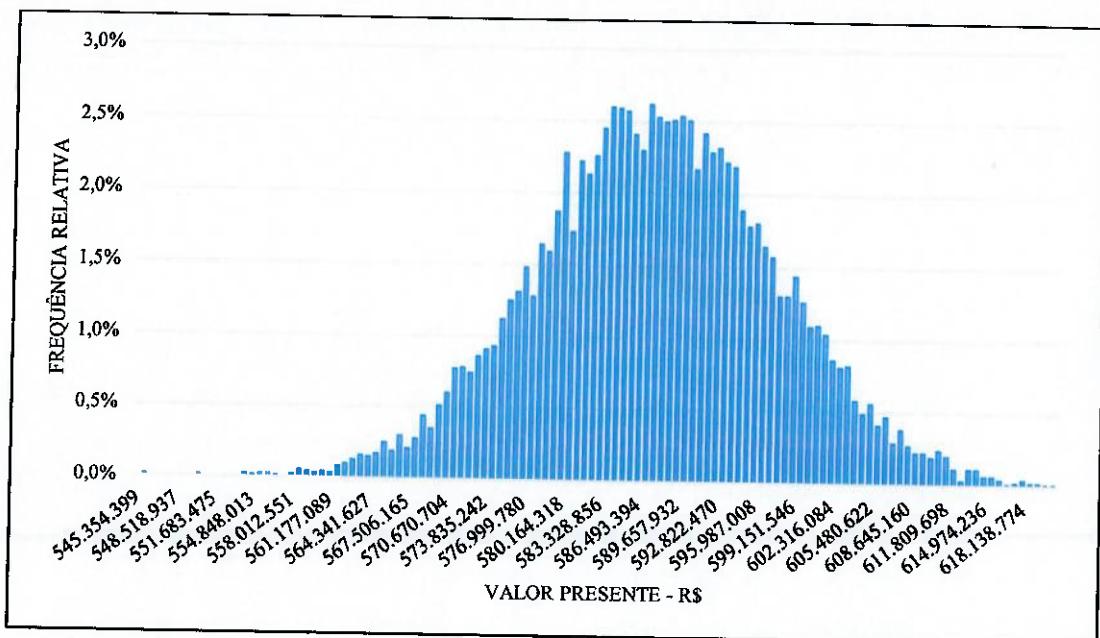


Figura 18 – Alocação de ativos e passivos em vértices – Cenário 6.

