



**USO DO VALUE-AT-RISK (VaR) PARA MENSURAÇÃO DE RISCO EM FUNDOS DE INVESTIMENTO DE RENDA FIXA A PARTIR DO MODELO DELTA-NORMAL E SIMULAÇÃO DE MONTE CARLO**

**FIXED INCOME INVESTMENT FUNDS RISK USING VALUE-AT-RISK (VaR) FROM DELTA-NORMAL MODEL AND MONTE CARLO SIMULATION**

**EL USO DEL VALOR EM RIESGO (VaR) PARA LA MEDICIÓN DEL RIESGO EM FONDOS DE INVERSIÓN DE RENTA FIJA A PARTIR DEL MODELO DELTA NORMAL Y DE LA SIMULACIÓN DE MONTE CARLO**

DOI: 10.18028/2238-5320/rgfc.v7n1p60-77

**João Carlos Félix Souza**

Doutor em Economia (UnB)

Professor Adjunto da Universidade de Brasília (UnB)

Endereço: Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia

Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte

70904-970 – Brasília/DF, Brasil

Email: jcafes@unb.br

**Pedro Henrique dos Santos**

Mestrando em Computação Aplicada (UnB)

Endereço: Universidade de Brasília, PPCA – ICC Centro, Módulo 14

Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte

70904-970 – Brasília/DF, Brasil

Email: pedro.unai@gmail.com

**Vinnícius Matheus Madeira de Andrade**

Mestrando em Computação Aplicada (UnB)

Endereço: Universidade de Brasília, PPCA – ICC Centro, Módulo 14

Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte

70904-970 – Brasília/DF, Brasil

Email: vinnicius.andrade@gmail.com

**ABSTRACT**

In the last decades, the use of the value-at-risk (var) has become widely used, especially the decision of the basel accord, forcing all financial institutions to value the risk of its assets and to create a national model, implemented by the brazil central bank, culminating in the generation of internal models, from different techniques. Among the advantages of using var measurement, there is the summary that it has to allocate to a single value the risk of application market in specific application, in addition to exposure of that in their respective market and volatility. In this sense, the objective of this article is to study the behavior of the three fixed income investment funds returns in brazil, from two models to measure market risk, delta normal simulation and monte carlo simulation, measuring the effectiveness of the

Recebido em 14.06.2016. Recomendado para publicação em 20.11.2016. Publicado em 16.01.2017



Licensed under a Creative Commons Attribution 3.0 United States License

model in the measurement of return on investment, in order to present the relationship between the change in the financial indicators and the return of the funds studied. The article demonstrates the suitability of the model and the improvement in the var evaluation using monte carlo simulation for the brazilian scenario when mutual fund investment portfolios are analyzed, pioneering work in the evaluation of equity assets in the capital market

**Keywords:** risk, delta-normal, Monte Carlo simulation, investment funds, fixed income

### RESUMO

Nas últimas décadas, o uso do value-at-risk (var) tem se tornado amplamente utilizado, com destaque para a decisão do acordo de basileia, que obrigou todas as instituições financeiras a valorar o risco de seus ativos e pela criação do modelo nacional, implementado pelo banco central do brasil, que culminou na geração de modelos internos, a partir de técnicas diversas. Dentre as vantagens do uso da mensuração por var, destaca-se o resumo na alocação de um único valor no risco de mercado de determinada aplicação, além da sua exposição no mercado e respectiva volatilidade. Neste sentido, o objetivo deste artigo é estudar o comportamento dos retornos de três fundos de investimento de renda fixa no brasil, a partir de dois modelos de mensuração dos riscos de mercado, simulação histórica delta normal e simulação de monte carlo, medindo a eficácia do modelo na estimativa do retorno do investimento, visando apresentar a relação entre a variação dos indicadores financeiros e o retorno dos fundos estudados. O artigo demonstra a adequação do modelo e a melhora na avaliação de var por simulação de monte carlo para o cenário brasileiro quando são analisadas carteiras de fundos mútuos de investimentos, trabalho pioneiro na avaliação de ativos de renda variável no mercado de capitais

**Palavras-chave:** risco, delta normal, simulação de Monte Carlo, fundos de investimento, renda fixa.

### RESUMEN

En las últimas décadas, el uso de valor en riesgo (var) ha sido ampliamente utilizado, especialmente con la decisión del acuerdo de basilea, que obligó a todas las entidades financieras a valorar los riesgos de sus activos para la creación del modelo nacional, implantado por el banco central de brasil, culminando en la creación de modelos internos, desde el uso de las más variadas técnicas. Entre las ventajas del uso del var, se destaca el resumen en la asignación de un único valor en el riesgo de mercado de ciertas aplicaciones, además de su exposición en el mercado y su volatilidad. En este sentido, el objetivo de este artículo es estudiar el comportamiento de los retornos de tres fondos de inversión de renta fija en brasil, a partir de dos modelos para medir el riesgo de mercado, simulación histórica delta normal y simulación de monte carlo, mensurando la efectividad del modelo para estimar el retorno de la inversión, con el objetivo de presentar la relación entre la variación de los indicadores financieros y el retorno de los fondos estudiados. El artículo demuestra la adecuación de la modelo y la mejora en el análisis de la variable mediante simulación monte carlo para el escenario brasileño cuando se analizan las carteras de inversión de fondos mutuos, trabajo pionero en la evaluación de los activos de renta variable en el mercado de capitales

**Palabras clave:** riesgo, delta normal, simulación de Monte Carlo, fondos de inversión, renta fija.

## 1. INTRODUÇÃO

Com a estabilização econômica ocorrida no Brasil nas últimas décadas, o cidadão vem abandonando o caráter imediatista e a perspectiva de adesão a investimentos de baixa liquidez, adotando uma visão centrada no planejamento financeiro, a fim de obter lucros consideráveis ao investir seus ganhos em ambientes antes abertos somente a grandes investidores. A melhoria visível nas condições macroeconômicas garantiu a modernização do mercado financeiro, que tornou a indústria de fundos de investimento atrativa para aplicação, gerando expansão significativa para esse nicho de mercado (IQUIAPAZA, 2005).

Ao lidar com o risco, o investidor (tanto agressivo, quanto conservador), deve estar preparado para volatilidades de curto, médio e longo prazo em suas aplicações. Desta forma, visando o benefício que o investimento pode trazer, sempre focado no investimento que busca se adequar ao seu perfil, em termos da probabilidade do risco e do retorno que o fundo lhe trará, garantindo uma continuidade do horizonte financeiro.

Nesse contexto, juntamente à expansão dos fundos de investimento, duas abordagens surgiram como forma de mensurar o risco dessas aplicações. A primeira trata-se de uma abordagem estatística envolvendo previsão de distribuição de retorno dos fundos de uma carteira de investimento, utilizando modelos probabilísticos e inferenciais. A segunda trata-se de uma referência à análise de cenários, reavaliando as diferentes carteiras sob a perspectiva de suas taxas e os preços de mercado incorridos pelo modelo escolhido como o admissível. Tais perspectivas são adjacentes e mensuram o risco do investimento no mercado de forma complementar e a elas é possível admitir o risco de Mercado em um valor que apresente ao investidor o caráter peculiar dos Ativos do fundo que se têm conhecimento. A esta mensuração dá-se o nome *Value-at-Risk*, ou VaR, que oferece a valoração do risco, como apresentado no desenvolvimento deste artigo.

Portanto, neste artigo serão realizados testes do modelo de *Value-at-Risk* utilizando duas metodologias, a saber: método paramétrico de simulação histórica Delta Normal e método paramétrico de simulação de Monte Carlo. Adicionalmente, será calculado o VaR diário para três fundos de investimento em renda fixa, a mensuração do VaR alocado individualmente em cada fundo e ainda a composição na carteira de investimento. Com isso, será possível verificar qual o método mais preciso na análise de perdas baseado em risco de mercado, utilizando-se para isso o método *Backtesting* por meio do teste de Kupiec (1995).

Em vias gerais, este artigo possui como premissa a identificação do modelo de mensuração do valor em risco de mercado mais adequado para fundos mútuos de investimento no mercado brasileiro, uma vez que as instituições financeiras possuem o livre arbítrio de decisão sobre qual o modelo será utilizado para a mensuração de risco em seus ativos financeiros. Não é conhecido na literatura brasileira nenhum estudo de *Value-at-Risk* especificamente para o mercado de fundos mútuos de investimento, sendo pioneira a pesquisa em questão, que visa corroborar os estudos já desenvolvidos para outros ativos do mercado de capitais.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

Tratar de risco não caracteriza plenamente o tratamento da incerteza. Segundo Knight (1921), com relação ao risco, torna-se importante destacar que este se refere a uma quantidade suscetível de mensuração da incerteza. Deve-se, com isso, ponderar as diferenças existentes entre eles, a depender de qual dos dois está realmente presente no tratamento dos dados e informações.

A caracterização do risco está presente na tomada de decisão gerencial, em cenários peculiares e incertos e baseia-se no princípio de aversão à perda a partir da decisão tomada. Segundo Kahneman e Tversky (1979), esse conceito sugere que a experiência ou a heurística adotada é um fator preponderante ao risco na tomada de decisão.

Especificamente na administração financeira, Gitman (2007) afirma que, essencialmente, o risco é uma possibilidade de perda financeira, porém os ativos considerados mais arriscados serão os que trarão as maiores chances de perda financeira. Neste sentido, trata-se da variabilidade dos retornos associados a um investimento.

Segundo Clemen (1996), o tratamento usual do risco e da incerteza utilizam como premissas básicas a racionalidade e o entendimento dos investidores em considerar todos os cenários possíveis e analisar suas chances de ocorrência. Porém, esse entendimento torna-se obsoleto, visto que, segundo Kahneman (2003), deve-se considerar que as decisões de investimento devem adotar outras perspectivas de cenários que vão além de históricos de investimento que tratam de ganhos e perdas de capital.

Muitas vezes os gestores de fundos estão inclinados a encarar os investimentos e seus riscos como únicos, negligenciando os recursos de terceiros, tanto na visão das estatísticas históricas quanto das garantias futuras, gerando especulação e perda expressiva de capital. Nesse cenário, o equilíbrio desses dois vieses afeta diretamente a aplicação nos fundos, onde os investidores estão muitas vezes avessos à aceitação de risco incorridos nas decisões individualizadas.

Tradicionalmente, a gestão do risco sempre foi de difícil acordo entre as organizações, uma vez que cada empresa assumia a neutralidade em relação ao risco individualizado, estando em melhor situação econômica caso agisse de forma particular em relação aos riscos de suas ações ao invés de buscar proteção no mercado, garantindo assim a concorrência plena de seus investimentos e um maior retorno aos seus investidores. Nesse mundo idealizado, as organizações assumiriam integralmente seus riscos, não tendo o mercado financeiro como braço de apoio na seguridade das suas operações. Porém, com o avanço da economia e as quedas de bancos de importante destaque mundial, o cenário tornou-se obsoleto e as instituições financeiras não-bancárias sofreram uma “corrida bancária” contra o *global shadow banking system* (MCCULLEY, 2008).

Em qualquer operação financeira, o indivíduo está constantemente conectado ao risco, que pode ser classificado a partir da sua causa e integração. Nesse sentido, Duarte Junior (2005), classifica os principais grupos de risco por fatores que acarretam a incerteza ocorrente

na sua gestão. A classificação é distribuída em riscos de mercado, operacionais, de crédito e ainda riscos legais.

O risco de mercado pode ser caracterizado como risco de perda de valor de uma carteira, devido às mudanças nos preços de mercado. Dentro da categorização de risco de mercado (DUARTE JÚNIOR, 2005), pode-se incluir o risco de taxa de juros, o risco de taxa de câmbio, o risco de preço das ações e os riscos dos preços de *commodities*.

Segundo Jorion (1997), o grande crescimento da necessidade efetiva da gestão de riscos deve-se em especial ao aumento da volatilidade das variáveis financeiras, visto que com a crescente desregulamentação do mercado financeiro, tornou-se essencial a proteção contra riscos financeiros, com destaque para os últimos acontecimentos considerados passíveis de desastres no mercado financeiro. Alguns exemplos, citados por Shaw Sain (2001) e Duarte Junior (2005) são do caso Orange County, em 1994, que acumulou prejuízo de 1,7 bilhão de dólares, do Daiwa Bank, com perda de 1,1 bilhão de dólares. Outro caso de destaque é do Barings Bank, com prejuízo de 1,3 bilhão de dólares. Todos estão relacionados à falha ou até mesmo falta de monitoramento ostensivo das operações financeiras ocorridas nestes bancos, quando perdas potenciais forma causadas por um único operador, muitas vezes atrelado à falta de conhecimento de instrumentos derivativos.

Tratando da ótica financeira que o mercado exige, a gestão do risco possui algumas características fundamentais. Segundo Yates (1994), é necessária, para a construção efetiva de uma gestão de riscos, a análise das perdas potenciais, da importância dessas perdas no cenário econômico e ainda das probabilidades que geram incertezas nessas perdas.

Segundo Apgar (2006), a mensuração dos potenciais riscos envolvidos na instituição, sua identificação clara e precisa, e o reconhecimento de suas raízes são etapas importantes para um estágio de amadurecimento da gestão de riscos, objetivando torná-los menos intensos, e com isso mitigá-los a ponto de tornarem-se estáveis e controláveis pelos gestores envolvidos. Esse aprofundamento pode ser entendido como inteligência de risco (APGAR, 2006), uma ferramenta criada para as organização que possuem foco na competitividade organizacional. As vantagens e desvantagens que se tem em estabelecer diferentes tipos de riscos e suas relações estruturais são importantes para que haja o estabelecimento de competências centrais, sendo geralmente mais restrita que experiência e mais ampla que qualquer *know-how* prático de seus gestores e operadores.

O *Value-at-Risk*, modelo inicialmente proposto pelo Banco JP Morgan, é um indicador que pode ser entendido como a maior perda esperada dentro de um determinado período de tempo e intervalo de confiança (JORION, 1997). A grande vantagem do modelo de VaR, o que motivou sua adoção em larga escala no mercado financeiro, é o fato dele capturar o efeito combinado de volatilidade e exposição aos fatores de risco incorridos em um investimento.

A explicação do intensivo uso de VaR é que ele permite englobar, em uma única medida numérica, o risco total da carteira sob análise, integrando neste cálculo todos os ativos e passivos envolvidos, permitindo com isso a comparação entre a efetividade e gestão dos riscos das diferentes classes desses ativos (MACHRY, 2003).

Neste sentido, o VaR trará uma medida determinante para a alocação de ativos por

parte do investidor considerando um nível de tolerância ao risco. Uma vez que o VaR estabelecido for superado, deverão ser tomadas medidas imediatas, visando normalizar o quadro do ativo e com isso mudar o perfil da carteira de investimento. Desta forma, será estabelecido um padrão para o ativo e com isso cria-se um limite de exposição máxima da carteira.

Porém, segundo Jorion (2000), ao tratar do VaR de uma carteira de múltiplos ativos, é necessário destacar que este não é tão somente a soma dos VaR individuais, mas sim uma correlação entre seus ativos de modo a gerar um ganho potencial, a partir de modelos estruturados de seus ganhos marginais.

Jorion (2000) retrata o uso de VaR muito relacionado às teorias de Markowitz (1952). Nesse contexto da relação entre as teorias, Markowitz considera que risco e retorno devem ser analisados em conjunto, a proposta do uso do desvio padrão como medida de dispersão e ainda o uso do *tradeoff* entre risco e retorno como relevância para o estudo de media-variância.

Tratando ainda da relação entre os dois modelos, Dowd (1998) refaz em seu artigo “*Beyond Value at Risk: The new science of Risk Management*” uma comparação entre os modelos de mensuração de VaR e Markowitz. O VaR, neste sentido, é considerado uma evolução teórica, visto que a teoria das carteiras interpreta o risco como desvio padrão do retorno, enquanto o VaR analisa a máxima perda possível da referida carteira. Outro ponto de destaque é que o VaR consegue manipular características importantes dos retornos, como sua não-normalidade e a geração de um risco global. Além disso, a teoria de carteiras limita-se aos preços de Mercado, enquanto o VaR pode elencar ainda os riscos de liquidez e de crédito.

Ao tratar da teoria de portfólio (MARKOWITZ, 1952), para referenciar as carteiras de múltiplos ativos, é necessário entender a premissa da escolha das carteiras otimizadas com base no seu retorno e ainda no desvio padrão do mesmo – caracterizando a medida de risco da carteira. A intenção do investidor, partindo desta premissa, será sempre uma carteira que maximize o seu retorno, a partir de um dado nível de risco. Neste sentido, é importante destacar que o risco de um ativo não corresponde necessariamente à volatilidade do retorno, mas o nível de risco que este ativo representa para a carteira.

### 3. METODOLOGIA

Como a principal função do cálculo de VaR é garantir uma medida de risco que seja razoavelmente exata e tenha um custo aceitável, torna-se necessária a aplicação de metodologias para sua mensuração, o que irá depender diretamente da gama de ativos a serem avaliados e a capacidade da instituição para cada uma das propostas de modelo que existem para fornecer medidas de VaR.

Dowd (1998) apresenta quatro modelos de VaR para mensuração de VaR, como sendo “Variância-Covariância”, “Simulação Histórica”, “Simulação de Monte Carlo” e “Teste de Stress”. Jorion (2000) apresenta dois grupos de metodologias para mensuração de VaR, denominados “Metodologias de Avaliação Local” e “Metodologias de Avaliação Plena”. Liu

(2008) apresenta também dois grupos de metodologias para mensuração de VaR, a saber “Metodologias Paramétricas” e “Metodologias Não-Paramétricas”.

Neste sentido, serão realizados testes do modelo de *Value-at-Risk* utilizando as metodologias de Delta Normal e Simulação de Monte Carlo. Para testar a existência de habilidade superior de seletividade, será calculado o VaR diário para três carteiras de investimento, focado exclusivamente em fundos de renda fixa.

Para o modelo proposto, considerou-se que os retornos dos ativos dos fundos de investimento analisados seguem uma distribuição normal, e para que fosse possível definir a volatilidade dos modelos, utilizou-se o método de Média Móvel Ponderada (HENDRICKS, 1996), com histórico de análise fixo em 104 dias, janela temporal de análise do risco dos fundos de investimento fixo em 42 dias, intervalo de confiança de 95% e fator de decaimento  $\lambda$  igual a 0,94, conforme recomendado pelo *RiskMetrics* (ABKEN, 2000).

Ainda no modelo proposto, é definida a exposição financeira fixa em cada fundo de investimento, visando facilitar as análises temporais dos retornos e do risco, onde mudanças bruscas no valor do risco, na janela temporal estudada, poderão ser explicadas por outros fatores que não a exposição financeira previamente fixada. Nesse sentido, definiu-se, por exemplo, em R\$ 10.000,00 (dez mil reais) a exposição financeira dos fundos. As posições das carteiras formadas pelos fundos devem ser ajustadas diariamente, visando garantir sempre a mesma exposição financeira, desta forma não interferindo no cômputo do risco da carteira.

A data estabelecida para o início histórico foi 01/10/2014, com final em 27/02/2015. A partir da série temporal dos retornos de cada dia analisado, foi possível definir a matriz de covariância para a janela de análise de risco do fundo, portanto, a janela inicia em 02/03/2015 e encerra em 30/04/2015, com o total de 42 dias. Como apresentado, e com base em outros estudos (ALEXANDER, 1997; BOUDOUKH, 1997; SANTOS, 1997 e KIMURA et al., 2008), a janela da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP, ou *Exponencial Weighting Moving Average*, EWMA) utilizada foi fixada em 104 dias para a estimação da volatilidade. Com as séries temporais de retorno, será possível computar, para cada dia analisado, a estimativa da matriz de covariância EWMA entre os ativos, com início em 02/03/2015 e término em 30/04/2015. Utiliza-se, posteriormente, o cálculo do VaR de Monte Carlo e do modelo Delta Normal, conforme esquema ilustrativo da figura 1 abaixo:

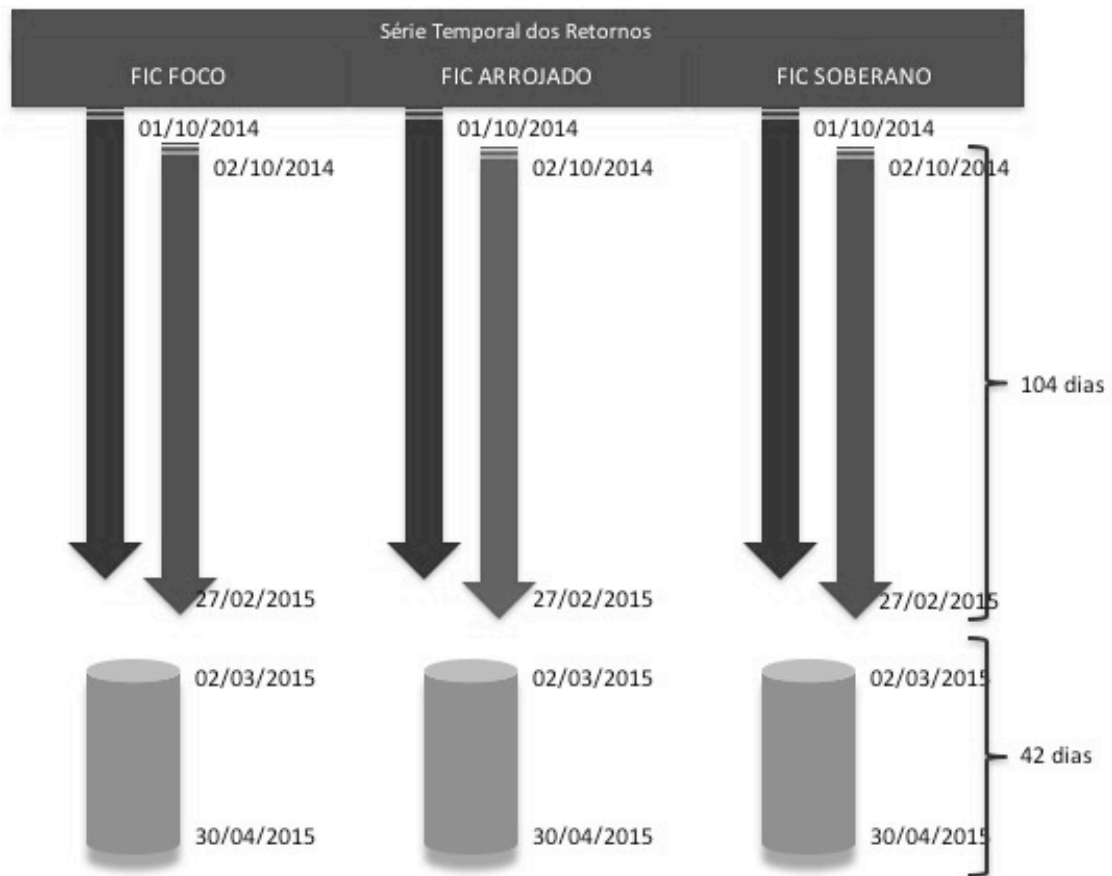


Figura 1: Série Temporal dos Retornos

Por fim, será feita uma comparação entre os valores mensurados de VaR para os três fundos destinados ao estudo. Os valores serão comparados com as efetivas perdas do fundo no período estabelecido, a fim de verificar se houve algum desvio do que foi estabelecido para perda para o referido fundo. O número de vezes que isso ocorre é contabilizado para que seja verificado qual o método mais preciso na análise de perdas. Utiliza-se para isso o método de análise de *Backtesting* por meio do teste de Kupiec (1995) para risco de mercado.

#### 4. VaR DELTA NORMAL

Também conhecido como um modelo que possui ajuste baseado no método EWMA (*Exponential Weighted Moving Average*), o VaR Delta-Normal pode ser entendido como a estimação do desvio padrão temporal referente a cada ativo com peso fixo definido. Neste caso, haverá a atribuição de um maior peso ao retorno e ao desvio padrão mais recente, e consequentemente menor peso aos valores mais antigos. Entretanto, este método de análise reflete lentidão na medida de volatilidade dos ativos, portanto, alterações nos cenários do mercado, em consonância com o cenário atual (MOLLICA, 1999).

Neste método são estabelecidos três critérios de mapeamento do fluxo de caixa analisado pelas carteiras em cada ativo, a saber: preservação do valor de mercado, preservação do risco de mercado e manutenção do sinal de fluxo de caixa dos ativos da



carteira, conforme estabelecido pelo documento técnico *RiskMetrics*<sup>TM</sup> (págs. 117-121).

Segundo Dowd (1998), a distribuição normal só é adequada caso a carteira seja linear nos riscos normais, visto que a regulação da normalidade no retorno da carteira depende das distribuições dos retornos individualizados, afetando assim o retorno final da carteira.

Este mapeamento de fluxo possui etapas de mensuração a partir da definição dos intervalos de confiança e estrutura temporal a serem considerados. Posteriormente, é necessário calcular a volatilidade de cada ativo na carteira em análise. Para isso, é necessário que seja criada uma matriz  $\sum_{n \times n}$ , sendo  $n$  o número de ativos da carteira analisada (nesta matriz, os elementos alocados na diagonal principal serão os desvios padrão de cada ativo da carteira). Para que seja calculada a volatilidade de cada ativo, é necessário:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{1}{(k-1)} \sum_{s=t-k}^{t-1} (x_s - \mu)^2}$$

(1)

onde  $\sigma_t$  é o desvio padrão estimado para o dia  $t$ ,  $k$  é o número de dias considerado na análise,  $x_s$  é a variação do valor da carteira para o dia  $s$ , e  $\mu$  é a média do valor da carteira apresentada.

Posteriormente, é apresentada uma especificação dos fatores de risco para renda fixa, o mapeamento da exposição linear de todos os ativos, e a correlação entre os ativos da carteira, para a montagem da matriz  $R$  com as respectivas correlações. Deste resultado gera-se o VaR da carteira em análise no intervalo de confiança estabelecido.

## 5. VaR MONTE CARLO

O método mais preciso de mensuração do VaR de uma carteira de ativos é capaz de considerar, na mesma análise, as não-linearidades, o risco da volatilidade e as exposições dos ativos. Este método também é flexível, o que garante a adequação do modelo às variáveis externas impactantes, as caudas gordas que alteram os resultados e a temporariedade do cenário, que pode gerar alta volatilidade de cenários. Segundo Jorion (2000), este método é também capaz de incorporar a passagem do tempo, quebrando estruturas na carteira, o que garante maior agilidade na análise do VaR.

O modelo de Simulação de Monte Carlo utiliza como premissa a geração de números aleatórios que seguem uma distribuição já determinada, garantindo a criação de diferentes cenários em análise, onde são mensurados os riscos de mercado, a partir do VaR. Neste sentido, é necessário que haja uma repetição contínua de simulação, gerando milhares de cenários, para que as variáveis aleatórias gerem um resultado consistente. Um ponto de destaque diz respeito à escolha que deve ser feita ao se computar os resultados do VaR da carteira, visto que a distribuição adotada e os parâmetros da distribuição são definidos de forma a otimizar a carteira, sem regra de definição. É importante destacar que este método de

mensuração do VaR é considerado o de maior valor agregado, visto que exige uma infraestrutura de sistemas robusta e profissionais capacitados para a geração dos valores. Além disso, o método parte de suposições sobre processos estocásticos específicos para os fatores de risco e métricas de precificação dos ativos, o que garante uma instabilidade no caso das informações estarem incorretas.

Por ser uma metodologia paramétrica de mensuração do risco de Mercado, é necessário que sejam estabelecidos o preço atual do ativo, a volatilidade e a tendência da carteira e o período de tempo considerado na análise.

Segundo Dowd (2005), as etapas para mensuração do risco de mercado a partir da simulação de Monte Carlos iniciam-se com a definição do intervalo de confiança, além da escolha pelo processo estocástico a ser simulado, considerando o preço do fator de risco  $S$  do modelo (fator de risco num horizonte alvo – conforme equação (2)).

Abordando essa sistemática a partir da ótica de um ativo de natureza linear, a melhor proposta apresenta-se no uso do modelo browniano, que serve de base para grande parte da teoria de precificação de ativos, prioritariamente na regra de opções, conforme apresentado por Tay (2000), Ammann (2001) e Glasserman et al (2000).

Posteriormente, são calculadas a volatilidade e a tendência para cada fator de risco da carteira de ativos. Com os valores apresentados, são gerados números aleatórios por distribuição normal padrão (considerando um horizonte temporal pelo fator de risco  $S$ , sendo neste caso,  $S_t$ . Este horizonte temporal pode ser definido como:

$$S_t = S_0 \exp \left[ \left( \frac{\mu - \sigma^2}{2} \right) T + \sigma \phi(T) \sqrt{T} \right] \quad (2)$$

onde  $S_0$  representa o preço do ativo no tempo presente,  $\mu$  representa a tendência do ativo,  $\sigma$  representa a volatilidade,  $T$  é o período de tempo analisado e  $\phi(T)$  é o número aleatório que representa no modelo o movimento browniano, uniformes e independentes. Com o resultado do fator de risco, para o horizonte alvo da análise, é feito o cálculo do valor da carteira. Repete-se este procedimento  $n$  vezes ( $n$  em milhares de vezes).

## 6. BACKTESTING – TESTE DE KUPIEC

Kupiec (1995) propõe um teste estatístico baseado na frequência de extrapolação do VaR numa amostra para o valor das perdas diárias de fundos de investimento. Sendo  $T$  o tamanho da amostra e  $N$  o número de vezes em que o retorno do portfólio excede o VaR calculado a um nível de confiança  $1-p^*$ , esta frequência é igual a  $N/T$ . O que se pretende testar é se  $N/T$  é significativamente diferente de  $p^*$ .

Pela construção da métrica, verifica-se que, desde que preservada a condição do percentual de extrapolações não superior a  $\alpha$ , quanto mais próximo o Ext% (percentual de extrapolações) estiver de  $\alpha$ , melhor o desempenho do modelo VaR. Sendo assim, supondo

independência dos eventos entre dias, a probabilidade E de haver N erros (retornos acima do VaR) numa amostra T é dada por uma distribuição binomial com parâmetros N, p, sendo p a probabilidade do erro, como segue:

$$E = (1 - p)^{T-N} \cdot p^N \quad (3)$$

Onde

- p: nível de confiança para rejeitar, ou não,  $H_0$ .
- T: número de observações contida na amostra
- N: número de extrapolações do VaR (Ext.)

Para testar a hipótese nula  $H_0$ , o teste LR (*likelihood ratio* – razão de verossimilhança) é uniformemente mais poderoso contra hipóteses alternativas simples. Ele é dado pela estatística do teste:

$$LR = -2 \ln [(1 - p)^{T-N} \cdot p^N] + 2 \ln \left[ \left(1 - \frac{N}{T}\right)^{T-N} \left(\frac{N}{T}\right)^N \right] \quad (4)$$

Sob a hipótese nula, LR tem distribuição qui-quadrado com 1 grau de liberdade, e neste caso, como estamos tratando da amostra de análise na janela de distribuição, apresenta-se uma distribuição qui-quadrado com 42 graus de liberdade, com um valor crítico de 58,124.

Então, para testar a hipótese nula,  $H_0$  contém o valor suposto do parâmetro populacional e é assumida como verdadeira sob o teste de hipóteses, refletindo o senso comum vigente.

$$\begin{cases} H_0 = |PC_{t+1}| \leq |VaR_{t+1}| \\ H_1 = |PC_{t+1}| > |VaR_{t+1}| \end{cases}$$

Como existe o tratamento de uma distribuição tida como Binomial, os parâmetros populacionais são apresentados como os cálculos com a média dada por:

$$E(x) = T \cdot p \quad (5)$$

A variância é dada por:

$$Variância(x) = T \cdot p \cdot (1 - p) \quad (6)$$

O desvio padrão por:

$$Desvio\ Padrão(x) = \sqrt{Variância(x)} \quad (7)$$

## 7. RESULTADOS

Ao analisar Fundo de Investimento em Cotas de Fundo de Investimento “Foco Índice de Preços Renda Fixa Longo Prazo”, trabalha-se com o fundo de investimento que remunera seus investidores com foco no Índice de Preços ao Consumidor Amplo, IIPCA + 6. Como trata-se de volatilidade medida por deltas no modelo Delta Normal e por cenários no modelo de Monte Carlo, esse fundo apresentou oscilações marcantes no primeiro modelo, visto que à medida que o fundo apresentava um menor percentual de rentabilidade, maior era o seu valor de risco.

Observa-se no gráfico 1 abaixo que o modelo Delta Normal aproxima-se da Simulação de Monte Carlos à medida que o intervalo de tempo cresce, até pelo fator de decaimento, que normaliza o resultado do risco.

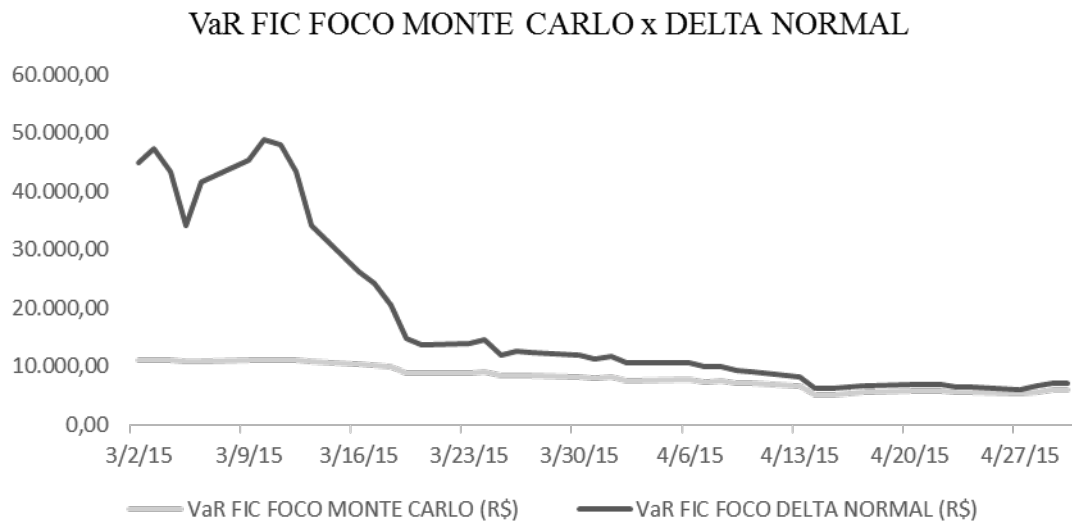


Gráfico 1: Value-at-Risk do Fundo de Investimento FOCO em Monte Carlo x Delta Normal

Durante o período analisado, o risco do investimento no fundo deveria aproximar-se de R\$ 10.000,00, que foi o valor estabelecido como métrica de exemplo ao modelo apresentado, considerada a exposição financeira. Como trata-se de investimento diretamente ligado à instabilidade inflacionaria e ao consumo, o risco desse investimento torna-se substancialmente alto. Observa-se no quadro abaixo e no gráfico exposto, que o modelo de Simulação de Monte Carlo aproxima-se, durante toda a janela temporal, desse valor, enquanto o modelo Delta Normal extrapola o valor, consideravelmente, nos primeiros dias da janela de análise. O fato do modelo Delta Normal extrapolar o valor acarreta na superestimação do valor do risco pelos gestores do fundo e, conseqüentemente, a alocação equivocada do seu capital.

É possível diagnosticar que desempenho do fundo como um percentual do IIPCA apresentou oscilação significativa no ano de 2015, com expressiva queda entre os períodos analisados, como pode ser visualizado de forma mais clara no gráfico 2. É importante frisar que o gráfico trata do percentual em uma janela histórica maior que o estudado. Desta forma, garante um entendimento melhor da oscilação deste fundo.

Uso Do Value-At-Risk (Var) Para Mensuração De Risco Em Fundos De Investimento De Renda Fixa A Partir Do Modelo Delta-Normal E Simulação De Monte Carlo

DESEMPENHO DO FIC FOCO COMO % DO IIPCA

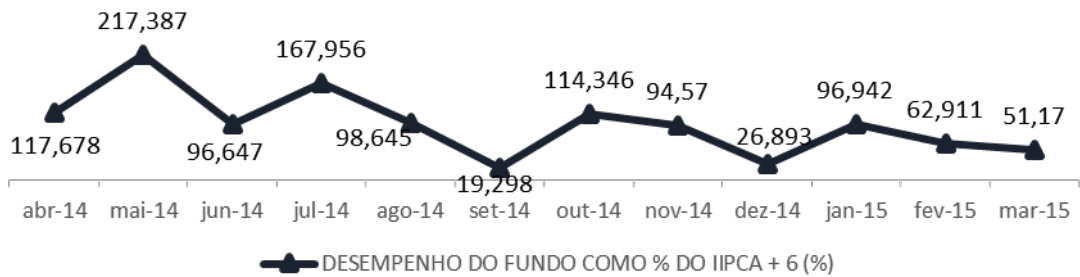


Gráfico 2: Desempenho do Fundo como % do IIPCA + 6%

Diferente do exposto no fundo de investimento acima, ao se tratar do Fundo de Investimento em Cotas de “Fundo de Investimento Arrojado Renda Fixa Crédito Privado Longo Prazo”, este se mostrou o melhor fundo de investimento, quando considerada a estabilidade do risco e o desempenho da valorização do seu indexador.

Na janela temporal de risco analisada, este fundo de investimento apresentou-se dentro do intervalo de risco considerado, não sendo observados resultados discrepantes entre o modelo Delta Normal e de Monte Carlo, conforme gráfico 3 abaixo:

VaR FIC ARROJADO MONTE CARLO x DELTA NORMAL

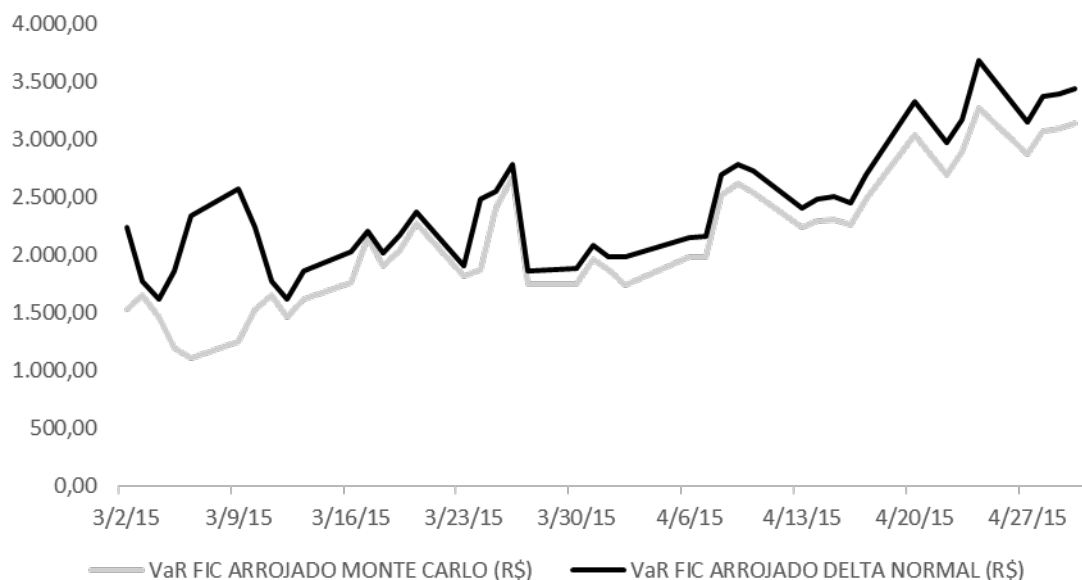


Gráfico 3: Value-at-Risk do Fundo de Investimento ARROJADO em Monte Carlo x Delta Normal

Com o decorrer do tempo, pelas correções feitas pelo fator de decaimento, o risco do investimento reduz, tendendo a um valor cada vez menor, visto que a estabilidade dos seus ativos garante que significativas mudanças não afetarão diretamente o fundo em questão. Observa-se que tanto o modelo de Simulação de Monte Carlo quanto o modelo Delta Normal aproximam-se, durante toda a janela temporal, do mesmo valor, garantindo uma estabilidade

Uso Do Value-At-Risk (Var) Para Mensuração De Risco Em Fundos De Investimento De Renda Fixa A Partir Do Modelo Delta-Normal E Simulação De Monte Carlo

entre os modelos. Destaca-se, também, o fato de ambos estarem considerados abaixo da exposição financeira fixada. Da mesma forma, os valores iguais estabelecidos para os três fundos de investimento analisados anteriormente.

Abaixo são apresentadas as diferenças significativas entre os resultados obtidos com o VaR calculado na carteira de investimento e o VaR somado dos fundos já estabelecidos. O objetivo é analisar o ganho na diversificação do VaR, ao realizar uma composição dos fundos.

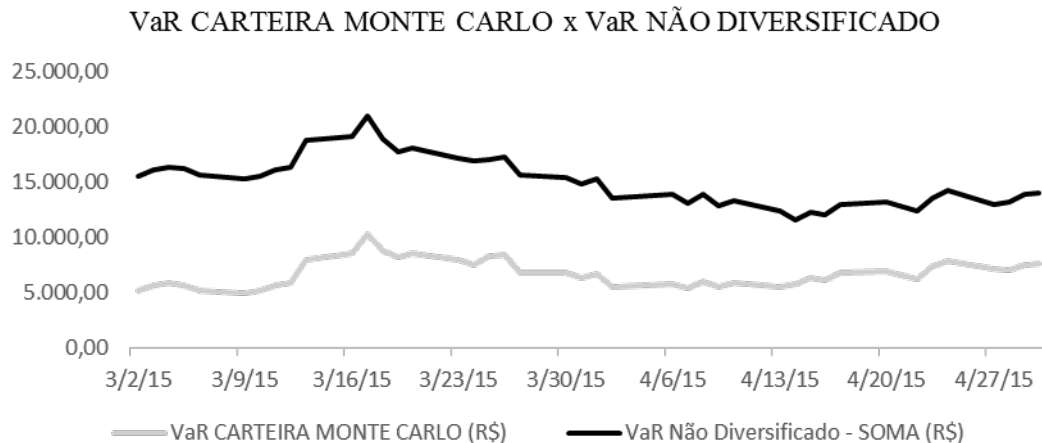


Gráfico 4: Value-at-Risk da carteira do Fundo de Investimento em Monte Carlo x VaR Não Diversificado

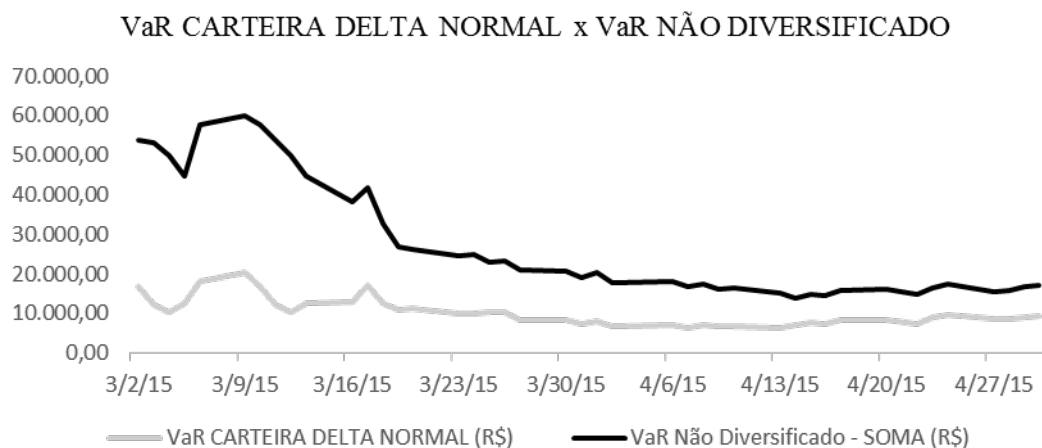


Gráfico 5: Value-at-Risk da carteira de Fundo de Investimentos em Delta Normal e VaR Não Diversificado

No gráfico, é possível observar que o VaR das carteiras quando calculadas pelos ativos subjacentes, pelo modelo de carteiras proposto por Markowitz, garante um ganho na diversificação. Levando-se em consideração as diferenças, outro ponto de destaque é que o modelo do VaR da carteira no modelo Delta Normal leva em consideração também as inconsistências do primeiro fundo de investimento analisado (FIC FOCO). Este fato não significa que o VaR da carteira não considera esse ponto, mas o suaviza quando inclui outros

Uso Do Value-At-Risk (Var) Para Mensuração De Risco Em Fundos De Investimento De Renda Fixa A Partir Do Modelo Delta-Normal E Simulação De Monte Carlo

fundos de investimento na carteira.

Ainda de acordo com o modelo proposto por Markowitz (1952), existe um ganho significativo na medida do risco quando agrupa-se um conjunto de ativos e os compõem em carteira. Esse fato ocorre pela correlação entre os ativos, onde um movimento de um ativo relaciona-se ao movimento dos demais. Um ganho de diversificação com a movimentação de mais de um ativo pode limitar ou diminuir o movimento de outro em sentido oposto, reduzindo o risco total da carteira de investimento.

Esse ganho marginal de diversificação pode ser calculado pelo somatório dos VaR de cada um dos ativos existentes na carteira de investimento, dividido pelo VaR diversificado da carteira.

Ao realizar os *backtests* pelo modelo de Kupiec, com nível de significância  $\alpha$ , ou nível de confiança  $1 - \alpha$ , 41 graus de liberdade, na amostra de 42 valores de risco, foi gerado o LR calculado, que quando confrontado ao LR crítico (qui-quadrado crítico), define-se se o modelo é adequado ou não, conforme tabela 1 abaixo:

Tabela 1: LR (Razão de Verossimilhança) calculado confrontado ao LR (Razão de Verossimilhança) crítico

Quantidade de Extrapolações de Perdas pelo VaR		7	4
Percentual de Extrapolações de Perdas pelo VaR		16,7%	9,5%
Nível de Confiança para se rejeitar, OU NÃO, H0		5%	0,05
Número de Observações contidas na amostra		42	42
Razão de log-verossimilhança (LR)		7,683640892	1,446803654
Parâmetros da Distribuição Binomial	Média	2,1	2,1
	Variância	1,995	1,995
	Desvio Padrão	1,412444689	1,412444689
Valor crítico (unilateral a esquerda) da distribuição qui-quadrado, com $\alpha = 0,05$ e 41 gl		58,124	58,124
H0: Modelo Adequado?		<b>Modelo Adequado</b>	<b>Modelo Adequado</b>
H0: $ PC  \leq  VaR $	Modelo Adequado		
H1: $ PC  >  VaR $	Modelo Não Adequado		

Porém, é notável nos três fundos analisados que o modelo de Simulação de Monte Carlo mais se aproxima do valor do qui-quadrado crítico no teste de Kupiec, o que garante a confiabilidade do modelo e a melhor opção utilizada.

Nos três fundos de investimentos analisados, também é possível notar que o modelo de Delta Normal se distanciou, significativamente, do valor crítico do qui-quadrado, superestimando as perdas, o que leva gestores de fundos, de forma indevida, a alocar mais capital nos seus ativos. Esse fator também pode ser percebido no modelo Delta Normal, onde houve uma menor quantidade de extrapolações, porém um distanciamento cada vez maior do

valor esperado da perda. Em alguns casos, esse distanciamento elevou significativamente o valor de seu ponto no modelo de Monte Carlo, e em outros casos, subestimou a perda também de forma significativa.

## 8. CONCLUSÃO

Este artigo buscou mostrar que a medida de risco de instrumentos financeiros e sua respectiva gestão deixaram de ser puramente táticas e transformaram-se em atividades estratégicas para a maior parte das instituições, possibilitando uma diversificação das operações e controlando as variáveis de ganhos, perdas e retornos em probabilidades aceitáveis, além de prever a garantia dessas instituições ao modelo que permita uma mitigação do risco de maneira proativa. Podemos citar como uma das vantagens, a melhor precificação dos ativos financeiros colaborando na tomada de decisão e na avaliação de desempenho dos referidos fundos a que se destina investir, além de uma melhor alocação de recursos.

Neste contexto, a necessidade do aperfeiçoamento da mensuração do risco nos ativos financeiros tornou-se uma premissa básica ao garantir uma medida de risco àquele investimento. Também foi possível garantir a possibilidade da medida do risco em somente um número, expresso em unidades monetárias. Cabe destacar que existem desvantagens latentes ao modelo, como a presença de caudas gordas e a subestimação dos extremos na análise.

Quantitativamente, foi possível observar que os modelos VaR Delta Normal e VaR Monte Carlo possuem vantagens específicas. Pode-se destacar o fato da robustez do modelo de Monte Carlo garantir uma maior flexibilidade aos gestores de risco, exigindo um grande esforço computacional. Desta maneira, torna-se um importante diferencial competitivo em cenários de investimentos financeiros cada vez mais complexos.

O fundo de investimento FIC FOCO mostrou-se volátil no mercado ao ter como indexador o IIPCA, que oscilou sobremaneira nos últimos meses e, em contrapartida, o FIC SOBERANO mostrou-se menos volátil por ter aplicação em títulos públicos federais e possuir o CDI como indexador.

O fator correlação mostrou-se importante ao gerar impacto significativo na otimização do risco da carteira. Como o projeto impôs a arbitrariedade de alguns parâmetros, como o intervalo de confiança e o fator de decaimento, é interessante que em trabalhos futuros seja expandida a análise, alterando-se estes parâmetros.

Em linhas gerais, pelo teste de Kupiec, provou-se que é possível aceitar o modelo exposto como adequado, sendo a Simulação de Monte Carlo mais coerente com a realidade ao aproximar-se do valor de distribuição crítico, e o modelo Delta Normal ter superestimado a perda, explicitando viés para o conservadorismo.

Esse modelo corrobora e reforça os estudos apresentados na referência bibliográfica, ao tempo que apresenta o modelo de Simulação de Monte Carlo mais eficiente, apesar da necessidade de aplicação estar diretamente relacionada à uma estrutura tecnológica robusta, quando comparado ao modelo Delta Normal.



## REFERÊNCIAS

- ABKEN, Peter A. An empirical evaluation of Value-at-Risk by scenario simulation. *The Journal of Derivatives*, v. 7, n. 4, p. 12-29, 2000.
- ALEXANDER, C. O., LEIGH, C. T. On The Covariance Matrices Used in Value-at-Risk Models. *The Journal of Derivatives*, New York, p. 50-62, Spring 1997.
- AMMANN, M. e REICH, C., “Value-at-Risk for Non-Linear Financial Instruments – Linear Approximation or Full Monte Carlo?” *Financial Markets and Portfolio Management*, nº3, p. 363-378, Jahrgang, 2001.
- BOUDOUGH, Jacob, RICHARDSON, Matthew, WHITELAW, Robert F. Investigation of a Class of Volatility Estimators. *The Journal of Derivatives*, New York, p. 63-71, Spring 1997.
- CLEMEN, R. T. Making hard decisions: an introduction to decision analysis. 2nd ed. Belmonte, Ca: Duxbury Press, 1996.
- DUARTE JUNIOR, Antonio Marcos. Gestão de riscos para fundos de investimentos. São Paulo, Prentive Hall, 2005.
- DOWD, K. Beyond. Value-at-Risk: The new science of Risk Management. West Sussex: John Wiley & Sons. 1998.
- GLASSERMAN, P., HEIDELBERGER, P., SHAHABUDDIN, P., “Portfolio Value-at-Risk with Heavy-Tailed Risk Factors”, *Scientific Literature Digital Library*, 2000.
- GITMAN, L. J. Princípios de administração financeira. 10. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2007.
- HENDRICKS, D., Evaluation of Value-at-Risk Models Using Historical Data. Federal Bank of New York, *Economic Policy Review*, 1996.
- IQUIAPAZA, A. R. Condicionantes do Crescimento dos Fundos Mútuos de Investimento no Brasil e no Peru: Um estudo das captações líquidas agregadas. CEPEAD - UFMG. Fevereiro, 2006.
- JORION, Philippe. Value-at-Risk: the new benchmark for controlling market risk. New York: McGraw-Hill, 1997.
- JORION, P. Value-at-Risk: The new benchmark for managing financial risk (2nd edition). Chicago: Richard Irwin. 2000.
- KAHNEMAN, D. A Psychological Perspective on Economics. *The American Economic Review*, Washington, DC, 2003.
- KAHNEMAN, Daniel; TVERSKY, Amos. Prospect theory: an analysis of decision under
- Revista de Gestão, Finanças e Contabilidade*, ISSN 2238-5320, UNEB, Salvador, v. 7, n. 1, p. 60-77, jan./abr., 2017.

risk. *Econometrica*, v. 47, 1979.

KNIGHT, F. H. Risk, uncertainty and profit. Boston: Houghton, 1921.

KIMURA, H. et al. Value-at-risk - como entender e calcular o risco pelo VaR: uma contribuição para a gestão no Brasil. Ribeirão Preto: Inside Books, 2008.

KUPIEC, P. Techniques for Verifying the Accuracy of Risk Measurement Models. *Journal of Derivatives*, New York, v. 2, p. 73-84, December 1995.

LIU, Yuan Chun. Comparativo de Metodologias de Mensuração de VaR para o Mercado Financeiro Brasileiro. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, USP, 2008.

MACHRY, Manuela Silva. O uso do Value-at-Risk (VaR) como medida de risco para os fundos de pensão. São Paulo: EAESP/FGV, 2003.

MCCULLEY, Paul. Comments on housing and the monetary transmission mechanism. 2007.

MOLLICA, Marcos Antônio., Avaliação de Modelos de Value at Risk: Comparação entre Métodos Tradicionais e Modelos de Variância Condicional, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, FEA – USP, 1999.

MARKOWITZ, H., Portfolio Selection. *The Journal of Finance*, vol. VII, no 1, 1952.

SAIN, Paulo K. S., Estudo Comparativo dos Modelos de Value-at-Risk para Instrumentos Pré-Fixados, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, FEA – USP, 2001, Brasil.

SANTOS, José Evaristo. Previsão de Volatilidade no Brasil: RiskMetrics 1M, GARCH, Volatilidade Implícita ou uma Combinação desses Modelos? Um Estudo Empírico. São Paulo, FGV, 1997.

TAY, L. C., “On Methods of Optimal Risk Management”. Thesis. University of Kaiserlauteru, 2000.

YATES, J. F. Risk-taking behavior. New York: Wiley, 1994.