

FREDERICO DE ANDRADE ALMEIDA

**Risco de mercado: comparação entre modelos de cálculo de VaR para carteira
de ações**

São Paulo
(2018)

FREDERICO DE ANDRADE ALMEIDA

**Risco de mercado: comparação entre modelos de cálculo de VaR para carteira
de ações**

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
como parte dos requisitos para conclusão
do MBA em Engenharia Financeira

Orientador: Prof. Dr. Danilo Zucolli
Figueiredo

São Paulo
(2018)

FREDERICO DE ANDRADE ALMEIDA

**Risco de mercado: comparação entre modelos de cálculo de VaR para carteira
de ações**

Monografia apresentada ao Programa de
Educação Continuada da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
como parte dos requisitos para conclusão
do MBA em Engenharia Financeira

Orientador: Prof. Dr. Danilo Zucolli
Figueiredo

São Paulo
(2018)

À minha querida mestra e
parceira de todos os dias,
Lilian Silva.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família que me proporcionou aprendizado e resiliência para que eu chegasse até aqui. Agradeço também a Lilian, minha nova família, com quem passarei deste ponto para atingirmos muitos outros. Por fim, agradeço ao professor Danilo Z. Figueiredo, que aceitou me ajudar a resolver este grande desafio.

As pessoas costumam dizer que a
motivação não dura para sempre.
Bem, nem o efeito do banho,
por isso recomenda-se diariamente.

(Zig Ziglar)

RESUMO

O presente trabalho visa realizar uma comparação entre os métodos de cálculo do *Value at Risk* (VaR) mais utilizados pelo mercado em relação à mensuração do risco de mercado de uma carteira de ações. Para esta avaliação foram criadas calculadoras em MatLab® com as metodologias de VaR Paramétrico (comum e com volatilidade EWMA), VaR Histórico (simples, com alisamento exponencial e com ponderação EWMA) e o VaR por simulação de Monte Carlo. Para as carteiras incluídas nos estudos, as comparações demonstraram que os métodos de estimação de VaR Paramétrico EWMA, Simulação Histórica EWMA e Simulação de Monte Carlo foram os mais adequados.

Palavras-chave: *Value at risk*. Simulação Paramétrica. Simulação Histórica. PnL, Risco de mercado.

ABSTRACT

This work aims at comparing the methods of calculation of the Value at Risk (VaR) most used by the market in relation to the measurement of the market risk of a portfolio of shares. For this evaluation, MatLab® calculators with Parametric VaR (common and with EWMA volatility), Historic VaR (simple, with exponential smoothing and EWMA weighting) and VaR methods were created by Monte Carlo simulation. For the portfolios included in the studies, the comparisons showed that the estimation methods of EWMA Parametric VaR, EWMA Historical Simulation and Monte Carlo Simulation were the most adequate

Keywords: Value at risk. Parametric Simulation. Historical Simulation. PnL, Market risk.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Curva de representação da distribuição normal (ou curva Gaussiana).....	18
Figura 2	– VaR Paramétrico x ΔMtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE...	30
Figura 3	– VaR Paramétrico Volatilidade EWMA x ΔMtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE.....	31
Figura 4	– VaR por Simulação Histórica Simples x ΔMtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE.....	32
Figura 5	– VaR por Simulação Histórica Alisamento Exponencial x ΔMtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE.....	33
Figura 6	– - VaR por Simulação Histórica EWMA x ΔMtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE.....	33
Figura 7	– VaR por Simulação Monte Carlo x ΔMtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE.....	34
Figura 8	– VaR Paramétrico x ΔMtM para a carteira do fundo MCR PRINCIPAL...	36
Figura 9	– VaR por Simulação Histórica Simples x ΔMtM para a carteira do fundo MCR PRINCIPAL.....	37
Figura 10	– VaR por Simulação Histórica EWMA x ΔMtM para a carteira do fundo MCR PRINCIPAL.....	38
Figura 11	– VaR por Simulação de Monte Carlo x ΔMtM para a carteira do fundo MCR PRINCIPAL.....	39
Figura 12	– VaR Paramétrico x ΔMtM para a carteira do fundo VENTURE FI.....	40
Figura 13	– VaR Paramétrico com volatilidade EWMA x ΔMtM para a carteira do fundo VENTURE FI.....	41
Figura 14	– VaR Simulação Histórica simples x ΔMtM para a carteira do fundo VENTURE FI.....	42
Figura 15	– VaR Simulação Histórica EWMA x ΔMtM para a carteira do fundo VENTURE FI.....	43
Figura 16	– VaR Simulação Monte Carlo x ΔMtM para a carteira do fundo VENTURE FI.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Regiões de não-rejeição do modelo de VaR para um teste de hipóteses com 95% de confiança.....	24
Tabela 2	– Carteira baseada no Fundo “MCR PRINCIPAL FUNDO”.....	26
Tabela 3	– Carteira baseada no Fundo “VENTURE FI”.....	27
Tabela 4	– Carteira baseada no Fundo “BB AÇÕES VALE”.....	27
Tabela 5	– Resultado de aprovação ou reprovação dos métodos de cálculo do VaR pelo Teste de Kupiec para o fundo BCB ACOES VALE.....	35
Tabela 6	– Resultado de aprovação ou reprovação dos métodos de cálculo do VaR pelo Teste de Kupiec para o fundo MCR PRINCIPAL.....	39
Tabela 7	– Resultado de aprovação ou reprovação dos métodos de cálculo do VaR pelo Teste de Kupiec para o fundo VENTURE FI.....	44

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REVISÃO DA LITERATURA	13
2.1	RISCOS FINANCEIROS.....	13
2.1.1	Riscos de mercado.....	13
2.1.2	Outros riscos financeiros.....	14
2.2	ESTRUTURAÇÃO DA CARTEIRA DE INVESTIMENTOS.....	16
2.3	RESULTADO FINANCEIRO (ΔMtM_T).....	16
2.4	VALUE AT RISK (VaR).....	17
2.4.1	VaR paramétrico.....	17
2.4.2	VaR por simulação histórica.....	19
2.4.3	VaR por simulação de Monte-Carlo.....	22
2.5	TESTES DE ADERÊNCIA (BACKTESTING).....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	25
4	RESULTADOS.....	29
5	CONCLUSÃO.....	45
	REFERENCIAS.....	47
	Anexo A - Quadro resultante do teste de Kupiec para ao fundo BB ACOES VALE.....	48
	Anexo B - Quadro resultante do teste de Kupiec para ao fundo MCR PRINCIPAL.....	49
	Anexo C - Quadro resultante do teste de Kupiec para ao fundo VENTURE FI.....	50

1 INTRODUÇÃO

A rápida globalização em andamento desde o final do século XX, junto ao advento da internet, propiciou às empresas o acesso a diversos mercados de negociação financeira ao redor do mundo. Neste contexto, as instituições passaram a investir mais em equipes de tesouraria com o mandato de negociar instrumentos financeiros para a proteção do capital da empresa, e também para o seu aumento.

Assim, foi necessário realizar a difusão de metodologias de mensuração do risco das carteiras de investimento, a fim de reduzir ao máximo as perdas oriundas de negociações financeiras. Somado a isso e em linha com as melhores práticas de governança corporativa, deve-se ter em mente a necessidade de que os dados calculados pelos modelos de risco sejam de fácil leitura por todos os *Stakeholders* das empresas, uma vez que os responsáveis pela manutenção das carteiras das instituições precisam prestar contas aos seus superiores e, caso a empresa tenha suas ações listadas em bolsas de valores, também a todos os acionistas e ao mercado de uma maneira geral.

Dentre as metodologias de mensuração do risco de mercado o *Value at Risk* (VaR) é uma das mais difundidas, sendo utilizada por todas as instituições financeiras do Brasil. O VaR possui diversas formas de cálculo, seguindo critérios de confiabilidade e custo operacional (computacional) para seu desenvolvimento. Dessa maneira, a motivação deste trabalho reside em aprofundar a análise desse método, avaliando a aderência de seus tipos de cálculo a carteiras de investimentos em ações.

A utilização de modelos de VaR para medição de risco de carteiras de investimentos remete a trabalhos do final do século XX, sendo capaz de mensurar um valor de perda máxima dentro de um horizonte de tempo definido e de acordo com o critério de confiança adotado. Em resumo, o modelo de VaR fornece uma informação útil à gestão de risco de carteiras e de fácil transmissão aos *Stakeholders* envolvidos, interpretada como: “[...] a maior (ou pior) perda esperada dentro de determinado período de tempo e intervalo de confiança.” (JORION, 1997. p.18).

Adotada a utilização da ferramenta VaR para a gestão do risco de mercado de uma carteira de investimentos, o objetivo deste trabalho é comparar os métodos de cálculo do VaR para uma carteira ações, buscando definir, a partir de um estudo de caso, o método de cálculo que melhor se adequa para um conjunto de dados particular. Para isso serão explorados três métodos de cálculo do VaR: (i) o cálculo de maneira paramétrica, pressupondo que os retornos dos ativos são normalmente

distribuídos, em que o VaR é obtido da distribuição estimada para os resultados financeiros da carteira num dado horizonte de tempo; (ii) o método de Simulação Histórica, que reconstrói o resultado da carteira avaliada realizando um “recuo” no tempo e precificando os ativos, sem assumir qualquer premissa quanto à distribuição dos retornos e então extraindo o valor do VaR e; (iii) a simulação de Monte Carlo, um método de cálculo computacionalmente caro, dado que realiza o sorteio de milhares de cenários estocásticos aleatórios que são transformados em variações dos preços dos ativos, para então capturar o VaR tal qual a simulação histórica. Todos os métodos avaliados possuem vantagens e desvantagens, que serão apresentadas e consideradas ao longo da pesquisa.

A avaliação dos métodos se dará por meio de Testes de Aderência (*Backtesting*), capazes de comparar a previsão realizada pelos modelos de mensuração do risco de uma carteira e o comportamento real dos ativos, por meio de avaliações de taxas de exceção.

Vale salientar que as análises realizadas neste trabalho utilizaram carteiras baseadas em fundos de investimento em ações. Dessa forma, de acordo com as adequações às regras do normativo CVM 555¹, estas carteiras são compostas unicamente por ações de empresas listadas em bolsas.

Além desta introdução, o trabalho é composto por outros quatro capítulos. O segundo apresenta as definições relacionadas aos riscos financeiros e às carteiras de investimento. O terceiro descreve a metodologia de pesquisa adotada e o procedimento realizado. No quarto capítulo estão os parâmetros que envolveram a pesquisa e os resultados obtidos, seguidos do capítulo cinco, composto pelas considerações finais.

¹ CVM555: dispõe sobre a constituição, a administração, o funcionamento e a divulgação das informações dos fundos de investimento (CVM, [2018])

2 REVISÃO DA LITERATURA

Toda ação realizada por qualquer pessoa ou instituição é passível de riscos dos mais diversos tipos, desde o risco operacional presente no ato de atravessar a rua, até uma junção complexa de riscos financeiros gerados por uma operação de investimento estruturada realizada por uma empresa. Os riscos estão presentes em todos os momentos e realizar o gerenciamento de riscos é parte necessária à sobrevivência de qualquer pessoa ou instituição “viva”.

A função da ferramenta *Value at Risk* é mensurar o risco de mercado de uma carteira de investimentos financeiros. Assim sendo, a sua avaliação depende do entendimento dos riscos aos quais uma instituição ou pessoa está submetida.

2.1 RISCOS FINANCEIROS

Os riscos financeiros são aqueles inerentes a qualquer transação financeira, no que tange tão e unicamente a aspectos sobre o resultado do negócio. De forma simplificada, a operação de venda de moeda por meio de negociação eletrônica, por exemplo, incorre em dois riscos: o risco cambial e o operacional. O risco cambial é um tipo de risco de mercado ligado à variação da cotação de uma moeda em relação à outra, podendo gerar lucro ou perda ao longo do investimento. Já o risco operacional provém de erros ocorridos durante o registro do negócio de forma incorreta, declarando a compra de 100 contratos ao invés de 1000, por exemplo.

Os riscos financeiros podem ser desdobrados em outras categorias de risco, entre elas o risco de mercado, que é o objeto de estudo deste trabalho.

2.1.1 Riscos de mercado

Os riscos de mercado podem ser definidos como riscos de variações não esperadas dos preços ou volatilidades de instrumentos financeiros negociados em operações realizadas por qualquer investidor e não podem ser eliminados, apenas mitigados. Esta mitigação depende da composição de uma carteira de investimento, utilizando a diversificação de ativos, e/ou da utilização de instrumentos de *Hedge*² de investimentos.

² *Hedges* são operações que, se realizadas da maneira correta, possuem um comportamento capaz de eliminar parte da variação do resultado financeiro a que a operação original está associada.

Uma carteira de investimentos deve ser gerida de forma a dimensionar sua exposição a cada instrumento financeiro que a compõe, a fim de que as operações forneçam lucro ou, no mínimo, não gerem perda de capital.

Parte do processo de gestão de uma carteira de investimentos passa pela mensuração do risco de mercado. Essa, por sua vez, pode ser realizada de maneira absoluta, quando o valor do risco é apresentado diretamente sobre a composição da carteira, ou então de maneira relativa, quando o risco é medido em função da variação de um índice financeiro (JORION, 1997).

2.1.2 Outros riscos financeiros

A aplicação do VaR não está restrita aos riscos de mercado, podendo ser aplicado a outras categorias como as seguintes:

- i. Risco de crédito – é aquele proveniente da possibilidade de um tomador não realizar o pagamento de suas dívidas à outra parte, o credor, que deve gerenciar o risco de crédito dada a possibilidade de não recebimento do valor fornecido em empréstimo. O risco de crédito é o mais usual e por isso detém o entendimento mais direto. Ele existe pela possibilidade do não pagamento (*Default*), e por meio desta pode-se gerar índices de qualidades de “bom pagador”, os chamados Ratings de Crédito.

De acordo com Bessis (1998), o risco de crédito é decomposto em: risco de *Default*, risco de exposição e risco de recuperação. O risco de default está associado à probabilidade do não recebimento por parte do credor em um determinado prazo; o risco de exposição decorre da incerteza em relação ao valor do crédito no momento do *default*; enquanto o risco de recuperação se refere à incerteza quanto ao valor que pode ser recuperado pelo credor no caso de default do tomador.

- ii. Risco de liquidez – pode ser dividido em risco de liquidez de fluxo de caixa e risco de liquidez de mercado. Os riscos de liquidez de fluxo de caixa provêm da impossibilidade de honrar compromissos advindos do fluxo de caixa de uma dada instituição, o que pode gerar a necessidade de antecipação de contratos de operações para realizar o pagamento de dívidas, transformando-as de escriturais para reais. Este risco é normalmente controlado por meio da plotagem dos fluxos de caixa das

instituições e pelo planejamento das receitas e despesas, afim de manter a capacidade de honrar seus pagamentos. O risco de liquidez de mercado, por sua vez, existe quando uma determinada operação não pode ser negociada pelo seu preço justo (JORION, 1997). Uma operação pode ter seu preço de negociação afetado, por exemplo, pela ausência de compradores para o tamanho da posição ofertada no mercado, de modo que o dono do instrumento a ser vendido tenha que ofertá-lo abaixo de seu preço justo para poder se desfazer da posição, dada a ausência de compradores. Este risco é ainda mais relevante em mercados pouco desenvolvidos, como o mercado de debêntures no Brasil, que possui um volume baixo de negociação e é concentrado em poucas empresas, como a Vale do Rio Doce e a Petrobrás.

Outros tipos de risco ainda assolam as operações comerciais e exigem tratativa de mitigação. Entre eles:

- iii. Riscos operacionais – Os riscos operacionais estão presentes em todas as atividades realizadas por instituições ou pessoas, entretanto também possuem muitos mecanismos de controle. Pode ser dividido em quatro principais tipos de riscos: de execução, de fraude, tecnológicos ou de modelos. O risco de execução é proveniente de falhas operacionais durante a realização de uma determinada operação. O risco de fraude está associado à realização de operações não aderentes às boas práticas de mercado e princípios de ética (JORION, 1997). Por sua vez o risco tecnológico, cada vez mais presente e importante nas instituições, é proveniente do mal dimensionamento de um sistema de realização de negócios, podendo causar perdas financeiras. Por último, os riscos de modelos são gerados pela má representação da realidade por uma formulação matemática.
- iv. Riscos legais - estes riscos são causados quando uma empresa não possui autoridade legal ou regulatória para se envolver em um tipo de transação (JORION, 1997).

2.2. ESTRUTURAÇÃO DA CARTEIRA DE INVESTIMENTOS

Os modelos de mensuração de risco constituem uma ferramenta utilizada para a gestão de carteiras de investimento com foco em definir a melhor alocação dos instrumentos financeiros de acordo com o objetivo de seu gestor. Há tipos de gestão mais agressivos, com o uso de instrumentos financeiros complexos, e outros mais passivos, que costumam utilizar instrumentos financeiros simples e com rendimento conhecido, como os títulos públicos prefixados. Entretanto todos os métodos buscam proteção ou ganho de capital.

O modo como a carteira de investimento está estruturada influenciará na escolha da ferramenta de mensuração do risco de mercado. Como exemplo, há métodos de mensuração do risco que são capazes de estimar o comportamento de instrumentos não-lineares – opções, entre outros – porém que possuem um custo computacional elevado, enquanto o cálculo de carteiras puramente lineares (ações, títulos públicos e outros) normalmente podem ter seu risco bem estimado por modelos mais simples e computacionalmente menos custosos.

2.3. RESULTADO FINANCEIRO (ΔMtM_T)

Dado que as carteiras de investimento continham apenas ações, seu valor a mercado segue um formato simples de cálculo, envolvendo apenas a quantidade e preço das ações. Assim:

$$MtM_T^{carteira} = \sum_{i=1}^N MtM_T^i \rightarrow MtM_T^i = Q^i \times Preço_T^i \quad (1)$$

Onde:

N – Número de ações que compõem a carteira avaliada;

MtM_T^i – Valor a mercado da i -ésima ação no período histórico “T”;

$MtM_T^{carteira}$ – Valor a mercado da carteira para o período histórico “T”;

Q^i – Quantidade em carteira da i -ésima ação. Valor mantido constante.

$Preço_T^i$ – Preço de fechamento ajustado da i -ésima ação para o período histórico “T”.

Partindo da definição de um resultado hipotético, para verificar se houve ganho ou perda entre duas datas, calcula-se então a variação do MtM (ΔMtM),³ (BACEN, 2013):

³ [...] O resultado hipotético corresponde à aplicação das variações de preços de mercado de um dia à carteira do final do dia útil anterior (BACEN, 2013 p. 8)

$$\Delta MtM_T = MtM_T^{carteira} - MtM_{T-1}^{carteira} \quad (2)$$

Uma vez obtidos os vetores de resultado ΔMtM_T para cada carteira, a verificação de efetividade de VaR é tão simples quanto a realização de uma comparação entre o VaR calculado para a data “T” e o resultado efetivamente obtido.

2.4. VALUE AT RISK (VaR)

No final do século XX, a utilização de modelos de VaR para medição de risco de carteiras de investimentos ganhou força. Isso se deve a capacidade do modelo em mensurar um valor de perda máxima dentro de um horizonte de tempo definido e de acordo com o critério de confiança adotado. A eleição desse método como objeto de estudo desta pesquisa ocorreu pois, diferente das modalidades de cálculo do risco que avaliam a sensibilidade dos instrumentos financeiros, como o DV01, GAP e outros, o VaR é capaz de avaliar o risco da carteira de uma forma única, integrando todos os tipos de risco, demonstrando o motivo de sua rápida aceitação por executivos de instituições financeiras e gestores das mais diversas carteiras de investimentos.

2.4.1 VaR paramétrico

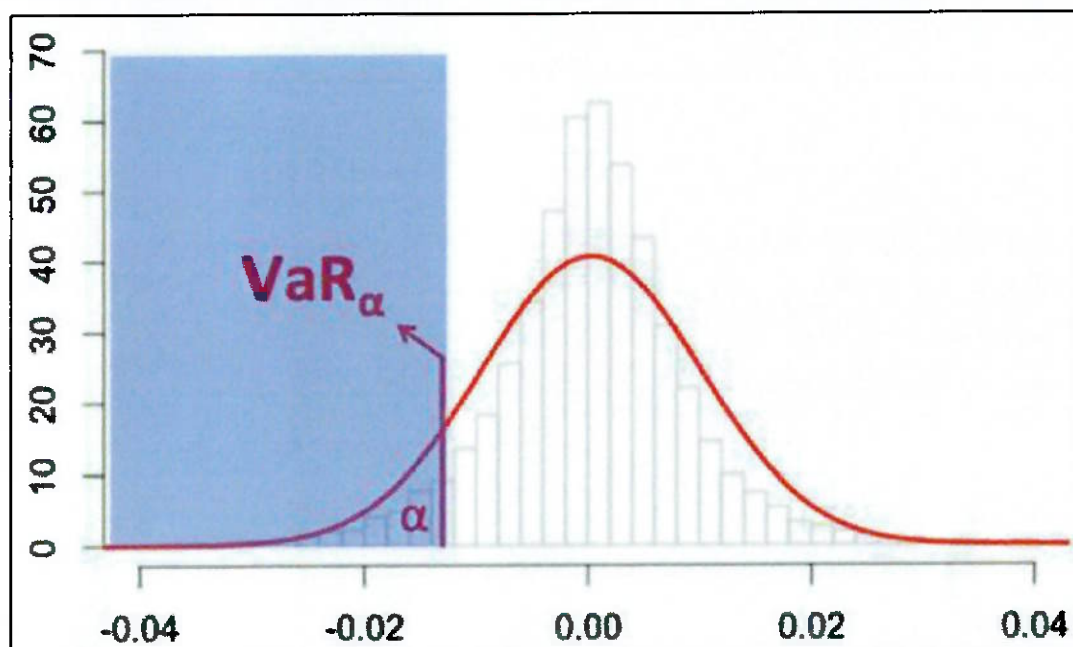
O modelo de cálculo de VaR paramétrico representa um dos modos mais difundidos de estimação de risco de mercado, sendo também aplicável ao cálculo de risco de crédito (JORION, 2012). Este método é de rápida implementação, com a ressalva de que seja adotado para a mensuração de risco de carteiras com ativos que guardem relação linear entre seu risco e retorno (DAMODARAN, 2007).

O VaR paramétrico assume que os retornos dos ativos possuem uma distribuição normal, de modo que podem ser descritos por sua média “ μ ” e desvio padrão “ σ ”. A vantagem de adotar a premissa de distribuição normal dos retornos é que a soma de ativos com retornos normalmente distribuídos resulta em uma distribuição normal, possibilitando o rápido cálculo de uma carteira de investimentos.

Dada a premissa descrita acima, uma probabilidade de ocorrência é facilmente determinável, representando uma zona abaixo da curva de distribuição normal. Desse modo, conforme a Figura 1, o VaR representará a área abaixo da curva gaussiana limitada pelo critério de confiança “ α ” ($z = 1 - \alpha$) utilizado. Sendo os retornos uma curva

normalmente distribuída, para representar uma possível perda considera-se apenas a cauda esquerda para o cálculo do VaR.

Figura 1 - Curva de representação da distribuição normal (ou curva Gaussiana)



Fonte: Adaptado pelo autor.

Seguindo notação matricial, o cálculo do VaR Paramétrico com um intervalo de confiança “ α ” pode ser representado por:

$$VaR_{\alpha}^{Param} = X_0 \times z_{1-\alpha} \times \sigma \quad (3)$$

Sendo:

VaR_{α}^{Param} – VaR paramétrico para um intervalo de confiança “ α ”;

X_0 – Vetor de exposições a cada fator de risco da carteira de investimentos;

$z_{1-\alpha}$ – Valor que representa o número de desvios padrões para o intervalo da curva normal, indicando a densidade de probabilidade da distribuição normal;

σ – Matriz de volatilidade diária calculada por meio da variância⁴ da carteira.

Para o cálculo da volatilidade simples foi utilizado o método padrão, que define que a volatilidade de um ativo é representada pelo desvio padrão dos retornos deste

⁴ Exemplo de cálculo da variância entre dois fatores de risco, onde w_i é a exposição a cada i-ésimo fator de risco e a matriz quadrada de correlações entre eles: $\sigma_c^2 = \begin{bmatrix} w_1 & w_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} \\ \sigma_{12} & \sigma_2^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \end{bmatrix}$

ativo. A fim de demonstrar um método mais rebuscado de obtenção da volatilidade, neste trabalho utilizamos também a volatilidade EWMA.

Este modelo, que é uma melhoria da média móvel, atribui maior peso às observações mais recentes e o decaimento dos pesos ao longo do tempo se dá exponencialmente. Usualmente utiliza-se o fator de decaimento (λ) de 0,94, orientação do JP Morgan com a metodologia do RiskMetricsTM, porém a única exigência para o modelo é que este fator esteja entre 0 e 1, sendo que quanto menor for o decaimento maior será a importância do último retorno. O cálculo do peso a ser atribuído a cada retorno é calculado por:

$$\sigma_t^2 = \lambda \sigma_{t-1}^2 + (1 - \lambda) r_{t-1}^2 \quad (4)$$

Onde:

λ – Fator de decaimento definido, aqui sendo 0.94 segundo sugerido por *RiskMetrics*;

σ_t – Peso a ser aplicado ao retorno utilizado para a data “t”.

2.4.2 VaR por simulação histórica

O método de cálculo do VaR por simulação histórica assume a premissa de que todas as possíveis variações futuras de preços já ocorreram no passado e, portanto, a distribuição dos retornos históricos é idêntica à distribuição futura no horizonte de tempo desejado (ALEXANDER, 2008).

Dado que o modelo não adota uma distribuição normal, tal qual é feito para o método de VaR Paramétrico, este cálculo é capaz de tratar o caso de preços de ativos não-lineares, como opções. Matematicamente, sua forma de cálculo, para uma carteira de ações, é representada por:

Seja r_i o i -ésimo log-retorno do ativo e S_{T+1}^i o i -ésimo cenário para o preço do instrumento (calculado por *Full Simulation*⁵), definido por:

$$r_i = \ln \left(\frac{S_i}{S_{i-1}} \right), \forall i = 2, \dots, T \quad (5)$$

Utilizando um vetor de retornos históricos calculamos o impacto que a carteira atual teria em cada momento “t”. Cada posição do vetor é preenchida calculando o ΔMtM para as datas:

⁵ Método de cálculo do resultado da carteira em que as operações originais têm seus preços recalculados de maneira distinto, sendo agregados em seguida para obter o valor da carteira para o dia.

$$\Delta MtM_{T+1} = Q \times P \times r_T \quad (6)$$

Onde:

Q – Vetor contendo a quantidade de cada ativo na carteira;

P – Vetor de preços atuais dos ativos;

ΔMtM_{t+1} – Valor do resultado simulado para a data “t+1”, calculada utilizando informações até a data “t”.

Para um conjunto de retornos históricos, o VaR por simulação histórica é obtido por:

$$VaRsh_{1-\alpha} = quantil(\Delta MtM, \alpha) \quad (7)$$

onde:

$VaRsh_{1-\alpha}$ – Valor do VaR calculado pelo método de simulação histórica com intervalo de confiança α ;

α – Intervalo de confiança utilizado no cálculo do VaR;

ΔMtM – Vetor de resultados históricos simulados até a data imediatamente anterior a data para a qual o VaR será calculado.

A abordagem apresentada pressupõe que todos os retornos históricos considerados para a apuração do $VaRsh$ detêm a mesma relevância. Ou seja, não há qualquer ponderação considerando que os eventos recentes possuem maior capacidade de representar o cenário atual se comparado aos retornos antigos. Este ponto trata-se de uma desvantagem do modelo.

A fim de tratar a desvantagem apresentada, este trabalho fez uso do alisamento exponencial, uma abordagem proposta por Boudoukh, Richardson e Whitelaw (1998) para o cálculo do ($VaRsh_{pond}$). Nesse tratamento são atribuídos pesos exponencialmente alocados aos retornos históricos da janela utilizada, de modo que o retorno mais recente tenha o maior peso (1). Assim o vetor de pesos será composto por ω_j :

$$\omega_j = \frac{\lambda^{N-1}}{\sum_{j=1}^N \{\lambda^{N-j}\}} \quad (8)$$

Onde:

ω – Vetor de pesos composto por j valores, utilizado para realizar a ponderação;

N – Número de datas utilizada para estimação do VaR;

λ – Fator de decaimento escolhido, sendo de 0 a 1;

O cálculo do resultado simulado com ponderação se dá pela multiplicação entre o vetor de resultados e o vetor de pesos calculados pelo alisamento exponencial.

$$PnL_{Simul}^i = PnL_{T+1}^i \times \omega_i \quad (9)$$

Sendo:

PnL_{Simul}^i – Retorno simulado da carteira para o i -ésimo valor de retorno a ser ponderado pelo peso exponencialmente calculado.

Assim, o cálculo do valor do VaR por simulação histórica ponderada utilizando pesos exponencialmente calculados segue o formato da simulação histórica simples, entretanto se utiliza o vetor de resultados históricos ponderados exponencialmente.

Uma segunda maneira de atribuir pesos aos retornos utilizados no cálculo do VaR e implementada neste trabalho foi o Exponentially Weighted Moving Average (EWMA), apresentado anteriormente. É necessário transformar o valor de EWMA calculado em um fator de ponderação para os retornos históricos. O cálculo deste fator irá levar em conta a relevância da volatilidade EWMA de uma data em análise em relação às demais datas do vetor histórico utilizado para apuração do VaR.

$$\omega_i^{EWMA} = \frac{\sigma_{i-j}^2}{\sigma_i^2}, \text{ onde } j = [0, 1, \dots, N] \quad (10)$$

Sendo:

ω_i^{EWMA} – Fator de ponderação EWMA para a i -ésima data em que o VaR é calculado;

N – Número de datas utilizada para o cálculo do VaR.

O cálculo do resultado simulado com ponderação EWMA se dá pela multiplicação entre o vetor de resultados e o vetor de pesos calculados pelo método de volatilidade EWMA.

$$PnL_{Simul_{EWMA}}^i = PnL_{T+1}^i \times \omega_i^{EWMA} \quad (11)$$

Sendo:

$PnL_{Simul_{EWMA}}^i$ – Retorno simulado da carteira para o i -ésimo valor de retorno a ser ponderado pelo peso calculado utilizando volatilidade EWMA.

Dado que este modelo utiliza a volatilidade dos retornos anteriores para o cálculo do peso a ser aplicado, após um movimento muito grande do mercado este método consegue capturar a importância do retorno do referido dia e, em seguida, decresce as importâncias de maneira exponencial. Dessa maneira, o cálculo do VaR

histórico ponderado pelo EWMA é capaz de capturar rapidamente as grandes movimentações de mercado, afim de atribuir o devido risco para uma situação de alta volatilidade.

O método de VaR por Simulação Histórica detém, ainda, outras duas limitações de ordem prática, com efeito direto em sua implementação: a primeira se dá pela necessidade de uma base de dados histórica suficientemente grande, de modo que seja possível capturar diversos eventos de mercado. A segunda limitação é a necessidade de recálculo do MtM da carteira para todas as datas da janela, o que pode gerar uma grande demanda computacional. Esta limitação não foi recorrente na pesquisa desenvolvida aqui dada a natureza das carteiras utilizadas, uma vez que o MtM de uma carteira de ações possui o cálculo tão simples quanto a multiplicação da quantidade das ações nas carteiras pelo seu valor de mercado.

2.4.3 VaR por simulação de Monte-Carlo

As ações e quase todos os instrumentos financeiros não possuem uma forma de previsão direta e com assertividade plena de seus preços de mercado, de modo que estes acabam por ser apenas estimados.

Neste contexto, o método de cálculo do VaR por Simulação de Monte-Carlo (VaRMC) foi desenvolvido com o intuito de estimar o preço dos instrumentos financeiros. O modelo, parte de cenários gerados aleatoriamente, simulando movimentações de mercado.

O método de Monte Carlo (MC) é semelhante à simulação histórica (SH) para o cálculo do VaR. Porém, enquanto para a SH os cenários utilizados são baseados em retornos históricos, no MC as variações nos preços são obtidas por meio de cenários aleatórios, construídos por um processo estocástico (JORION, 1997).

De acordo com Jorion (1997), os passos para o cálculo VaRMC são:

1. escolhe-se um processo estocástico e seus parâmetros;
2. gera-se uma pseudo-sequência de variáveis $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \dots, \epsilon_n$, a partir da qual os preços são calculados como $S_{t+1}, S_{t+2}, \dots, S_{t+n}$;
3. calcula-se o valor do ativo $F_{t+n}=F_t$ sob essa sequência particular de preços no horizonte de interesse;
4. repetem-se as etapas "2" e "3" tantas vezes quanto necessário (10.000 vezes, por exemplo), obtendo-se uma distribuição de valores $F_T^1, \dots, F_T^{10.000}$, a partir da qual o VaR possa ser calculado.

Ao nível de confiança selecionado c , o VAR é o valor da carteira excedido em c vezes 10.000 simulações. (JORION, 1997. p.228)

Neste trabalho, o primeiro passo executado foi o cálculo do retorno padronizado dos ativos para posterior aplicação dos choques de cenários simulados aleatoriamente:

$$r_{pad}^i = \frac{r^i - \overline{r^{janela}}}{DesvPad(r^{janela})} \quad (12)$$

Onde:

r_{pad}^i – Retorno padronizado para o i -ésimo cenário;

r^i – Retorno do i -ésimo cenário histórico;

$\overline{r^{janela}}$ – Média dos retornos para a janela histórica;

$DesvPad(r^{janela})$ – Desvio Padrão (volatilidade) dos retornos para a janela histórica.

Em seguida, calculou-se a matriz de correlações para os retornos padronizados e, então, aplicou-se a Fatoração de Cholesky (JORION, 1997). Assim, foi encontrada a matriz diagonal inferior “L”. Esta matriz permite o cálculo da contribuição da correlação de cada ativo ao preço dos ativos simulados aleatoriamente.

Para cada simulação foi gerado números aleatórios “A” com distribuição normal unitária em uma matriz NxM, onde “N” é o número de retornos calculados anteriormente e “M” o número de ativos da carteira. A geração dos números aleatórios com distribuição normal unitária foi feita no MatLab, utilizando a ferramenta de cálculo da distribuição normal cumulativa de um número aleatório. Posteriormente, realizou-se a multiplicação das matrizes “A” e “L”, a fim de transformar os números aleatórios independentes em números correlacionados em uma matriz “C”;

Tem-se o cálculo do retorno simulado (r_{simul}^i) da carteira para o i -ésimo cenário analisado:

$$r_{simul}^i = \overline{r^{janela}} + C \times DesvPad(r^{janela}) \quad (13)$$

O processo acima foi o mesmo para todas as janelas de tempo consideradas e, assim, foram calculados os vetores de VaRMC que, por sua vez, são capazes de apontar se houve ou não estouros de estimação de risco durante o período avaliado.

2.5 TESTES DE ADERÊNCIA (BACKTESTING)

Dada a vasta utilização do VaR no controle e gestão do risco de mercado de carteiras de investimento e considerando que há diversos métodos de cômputo desta métrica, entendeu-se a necessidade de estabelecer critérios para a escolha de cada método.

A fim de atestar a precisão do VaR, seus resultados são constantemente comparados aos valores reais por meio dos chamados dos Testes de Aderência, doravante denominados de “*Backtesting*” e consistem na contagem dos eventos de estouro de VaR, ou taxas de erros.

O mais famoso teste de aderência foi desenvolvido por Kupiec (1995) por meio de uma avaliação de hipóteses com 95% de confiança. A avaliação estabeleceu uma tabela com intervalos de confiança para a aprovação do uso de um modelo de VaR, semelhante à Tabela 5:

Tabela 1 - Regiões de não-rejeição do modelo de VaR para um teste de hipóteses com 95% de confiança

Intervalo de confiança “c” do VaR	Regiões de não-rejeição para a quantidade de estouros “N”		
	T=255 dias	T=510 dias	T=1.000 dias
99%	$N < 7$	$1 < N < 11$	$4 < N < 17$
95%	$6 < N < 21$	$16 < N < 36$	$37 < N < 65$

Fonte: Kupiec (1995), *apud* JORION (1997, p. 91). Adaptado pelo autor.

As regiões de não-rejeição desenvolvidas por Kupiec podem ser lidas como intervalos em que o modelo é seguro o suficiente para previsão de perdas ao mesmo tempo em que não é conservador ao nível de ocasionar perdas de oportunidade de investimento, informando um risco muito acima do real.

Assim, o teste de aderência por taxa de erros desenvolvido por Kupiec, permite uma comparação entre as regiões de não-rejeição do modelo e a quantidade de estouros identificados para as janelas históricas e tipos de VaR calculados.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Dado o objetivo do trabalho, que é comparar os métodos de cálculo do VaR para uma carteira de ações, buscando definir aquele que melhor se adequa a uma carteira de investimentos em ações, a pesquisa desenvolvida é de natureza exploratória. Isto pois, o objetivo se concentra em conhecer melhor o VaR. Foi adotada uma abordagem de pesquisa quantitativa, do ponto de vista que parte de dados numéricos para a realização da análise proposta. Por outro lado, é também qualitativa pois se propõe a avaliar os modelos de mensuração do risco de mercado, comparando-os.

Em relação ao método, foi utilizado o dedutivo, dado que se parte dos aspectos gerais de capacidade de estimação do risco para deduzirmos entre os modelos de VaR o que melhor se adequa a uma carteira de ações. Por último, o procedimento adotado foi o estudo de caso, realizando a comparação entre os modelos de VaR mais comuns e determinando sua qualidade para a mensuração de risco de uma carteira de investimento pré-definida.

Conforme exposto anteriormente, as definições do tipo de carteira a ser utilizada para as simulações deste trabalho influenciaram diretamente no custo computacional necessário para os cálculos. A fim de permitir o cálculo dos modelos de mensuração de risco com um poder computacional baixo e evitando utilizar carteiras sintéticas – que não fossem capazes de representar investimento reais –, foram utilizadas as composições de carteiras de Fundos de Investimento em Ações, que estão sob jurisdição da norma CVM555, descrita pelo órgão autorregulador Comissão de Valores Mobiliários (CVM). Cabe aos gestores de investimento publicar mensalmente as informações sobre o seu fundo no portal online da CVM.

Para esta pesquisa, a composição das carteiras baseada em informações sobre fundos de investimentos foi obtida diretamente no portal de internet da instituição CVM, utilizando como data base o dia 30/11/2017. Já os fundos foram escolhidos arbitrariamente na listagem disponível. Os fundos selecionados foram: “BB AÇÕES VALE”, “FUNDO MULTI FI”, “MCR PRINCIPAL” e “VENTURE FUNDO DE INVESTIMENTO”. Foram adotados apenas os instrumentos financeiros que compõem a carteira do fundo e contém risco de mercado. Assim, apenas as informações sobre ações foram utilizadas, tendo sido descartados os volumes em disponibilidades e/ou outros itens que não estavam expostos ao risco de mercado.

Posteriormente foi obtido o histórico de preços das ações que compunham cada carteira, disponibilizado no site do Yahoo Finance ([2018]). A fim de realizar o cálculo de risco utilizando janelas longas (mínimo de 4 anos, aproximadamente 1000 dias úteis), foi avaliado se havia ações sem preço ao longo de todo histórico (novas ações, por exemplo) e, para estes casos, tomou-se a decisão de substituir os ativos por outros que compunham os portfólios dos demais fundos. Esta decisão permitiu o cálculo do VaR sem qualquer empecilho durante o cálculo da métrica de risco, considerando todo o histórico de dados.

Vale salientar que o histórico de preços considerado foi o de valores de fechamento ajustado, com início em 03/01/2011 e terminando em 30/11/2017. A importância de utilizar valores ajustados reside no fato de que as ações podem sofrer queda ou elevação brusca de preço devido a eventos financeiros, como o agrupamento e desdobramento de ações, bem como do pagamento de proventos. Estas movimentações não são causadas por demandas de mercado e devem ser ajustadas, a fim de que não sejam geradas distorções nas análises de risco.

Todas as carteiras utilizadas nas simulações deste trabalho foram consultadas para a data base 30/11/2017 e baseadas nas carteiras dos fundos investimentos citados acima:

Tabela 2 – Carteira baseada no Fundo “MCR PRINCIPAL FUNDO”

Ação	Quantidade	Preço 30/11
EMBR3	1.100.000	15,58
ITSA4	800.000	10,36
UNIP6	720.000	16,28
CMIG4	700.000	6,60
MLFT4	453.500	21,29
LIGT3	357.300	16,10
VALE3	10.000	34,77

Fonte: CVM (Yahoo, [2018])

Tabela 3 – Carteira baseada no Fundo “VENTURE FI”

Ação	Quantidade	Preço 30/11
ROMI3	677.100	7,22
LIGT3	271.800	16,10
EMBR3	96.400	15,58
GRND3	46.100	25,95
CTNM4	143.100	6,15
POMO3	243.000	2,86
GUAR3	1.700	145,70
CGRA4	6.500	24,35

Fonte: CVM (Yahoo, [2018])

Tabela 4 – Carteira baseada no Fundo “BB AÇÕES VALE”

Ação	Quantidade	Preço 30/11
VALE3	15.764.269	34,77

Fonte: CVM (Yahoo, [2018])

Para a elaboração das simulações apresentadas neste trabalho foi utilizado o software MATLAB®, já reconhecido no mercado e com funcionalidades como a multiplicação de matrizes e cálculo de funções matemáticas, facilitando a obtenção do VaR das carteiras.

A fim de comparar os métodos de mensuração do risco da carteira foram implementadas três formas de apuração do VaR: VaR Paramétrico (simples e com volatilidade EWMA), VaR por Simulação Histórica (simples, com alisamento exponencial e ponderados por volatilidade) e VaR por simulação de Monte-Carlo, além do cálculo dos vetores de lucros ou perdas (ΔMtM) para cada dia. A comparação executada, entre os métodos de cálculo de VaR, deu-se utilizando testes de aderência por taxa de exceção, como o Teste de Kupiec. Os parâmetros e resultados desta análise estão descritos no capítulo seguinte.

Por último, para alcançar o objetivo deste trabalho, que é identificar o melhor método de cálculo do VaR, foi necessário obter um vetor de resultados para a confecção dos testes de aderências. Estes testes levarão à conclusão em relação aos métodos.

Para isso, a pesquisa aqui desenvolvida adotou que a composição da carteira avaliada não varia no tempo. Assim, foi mantida constante as ações que compõem as carteiras e suas respectivas quantidades, variando apenas o preço de cada ativo de

acordo com a data avaliada. Esta ação se justifica em função do objetivo do trabalho, que não pretende verificar a capacidade de gestão de uma carteira ao longo do tempo, utilizando um modelo de risco, mas sim entender se o modelo foi capaz de mensurar corretamente as possíveis perdas financeiras da carteira.

4 RESULTADOS

Adotando o conceito de VaR apresentado por Jorion (2012), entendido como a capacidade de sintetizar a maior perda esperada dentro de determinado período de tempo e intervalo de confiança, este trabalho propôs avaliar três métodos de cálculo do VaR de uma carteira de investimento: o VaR paramétrico, o VaR por Simulação Histórica (Simples e ponderado exponencialmente) e o VaR por Simulação de Monte Carlo. Esta seção apresentará os resultados obtidos.

Conforme explicitado anteriormente, as carteiras eleitas para esta pesquisa são compostas apenas por ações, suprimindo a etapa de alocação dos ativos em fatores de risco primitivos (JORION, 1997). As simulações partiram de preços históricos de cada ação, de modo que estas foram utilizadas como “seu próprio fator de risco”, quando necessário.

O trabalho optou ainda por verificar o VaR por meio de janelas de 1 ano (250 dias úteis), 2 anos (500 dias úteis) e 4 anos (1000 dias úteis), sendo estas janelas as usuais no mercado financeiro e adotadas pelo regulador local (BACEN, 2013).

Ressalta-se, ainda, que as simulações foram realizadas com dois intervalos de confiança para o cálculo do VaR: 95% e 99%, sendo que o intervalo de confiança requerido pelo Banco Central do Brasil, em sua circular 3.6466, é de 99%. Além disso, as figuras geradas contêm todas as janelas utilizadas para o cálculo do VaR.

i. Fundo - BB AÇÕES VALE

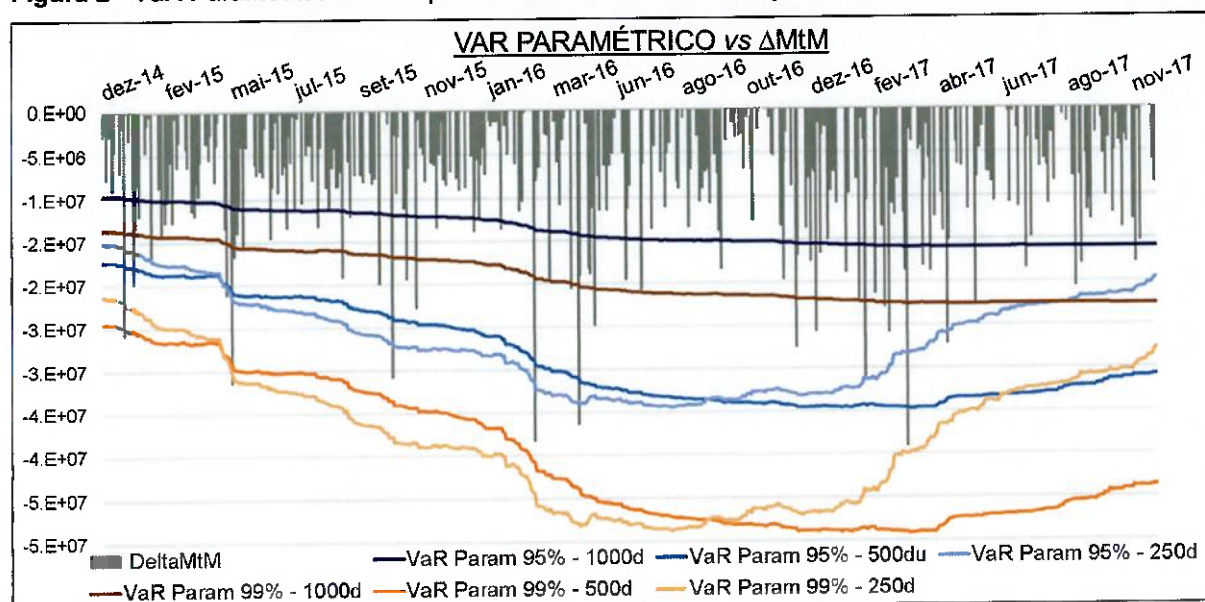
O cálculo do VaR Paramétrico para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE (figura 2) apresentou boa aderência, refletindo as variações do valor da carteira e, visualmente, contendo poucos estouros. Entende-se por estouros os eventos em que o resultado foi menor do que o VaR, ou seja, aqueles em que o modelo utilizado subestimou a perda realizada. Observou-se, entretanto, que as linhas de VaR estão afastadas dos valores de ΔMtM , indicando que este método é demasiadamente conservador e, por isso, ele pode impedir que um operador de mercado realize operações de maneira indevida.

⁶ Estabelece os requisitos mínimos e os procedimentos para o cálculo, por meio de modelos internos de risco de mercado, do valor diário referente à parcela RWAMINT dos ativos ponderados pelo risco (RWA), de que trata a Resolução nº 4.193, de 1º de março de 2013, e dispõe sobre a autorização para uso dos referidos modelos (BACEN, 2013 p. 1).

A carteira em questão é formada por apenas um ativo (VALE3), não havendo efeito de correlação. Dessa maneira, o VaR calculado deve conter apenas a influência da volatilidade desta ação para as janelas consideradas.

Ainda na figura 2, nota-se que as curvas de VaR possuem maior variação de maneira inversa ao tamanho da janela. Dessa maneira, vê-se que as linhas de risco que utilizaram 1000 dias úteis (d.u.) de histórico possuem muito menos variação, tendo um comportamento diferente da linha de risco que foi calculada com um histórico de 250d.u.. Ademais, os valores de risco calculados com intervalo de confiança de 99% estão deslocados em relação ao intervalo de 95%.

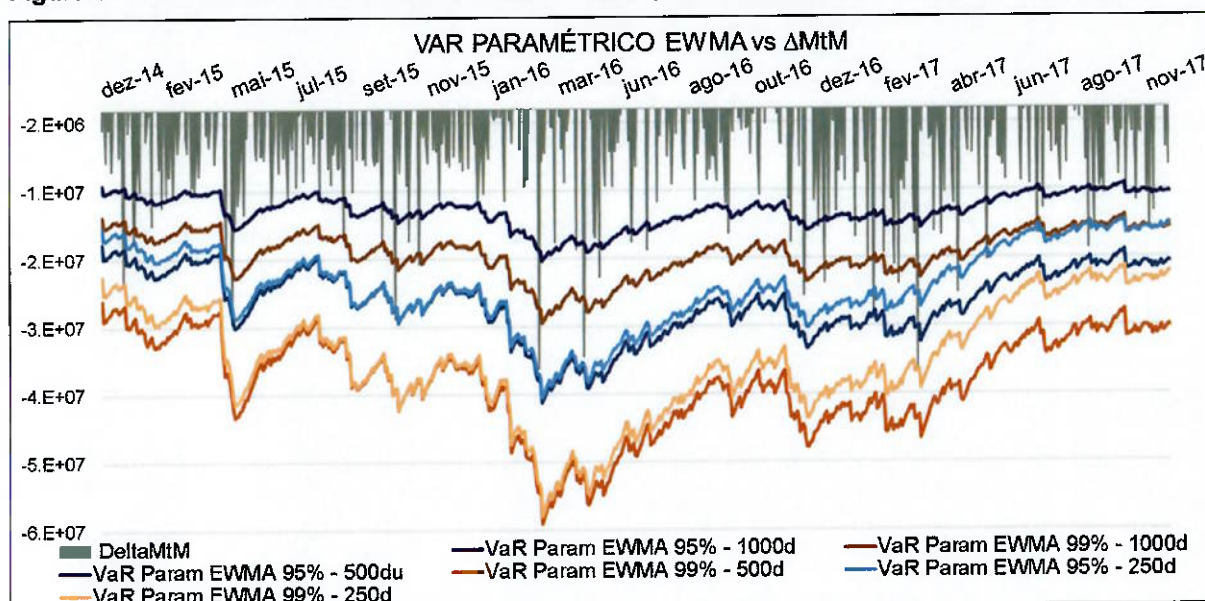
Figura 2 - VaR Paramétrico x Δ MtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE



Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao agregar o cálculo da volatilidade - figura 3 - utilizando as ponderações exponenciais (EWMA), nota-se que o comportamento do VaR passa a representar rapidamente as variações de MtM, principalmente para datas em que esta movimentação foi muito abrupta. As linhas de VaR calculadas em todas as janelas e intervalos de confiança possuem o mesmo desenho, entretanto estão deslocadas umas às outras em relação ao nível do VaR. Vê-se também que as linhas de VaR Paramétrico EWMA, com intervalos de confiança a 95%, são as que melhor se ajustam ao Δ MtM, não demonstrando ser conservadoras em excesso.

Figura 3 - VaR Paramétrico Volatilidade EWMA x Δ MtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE

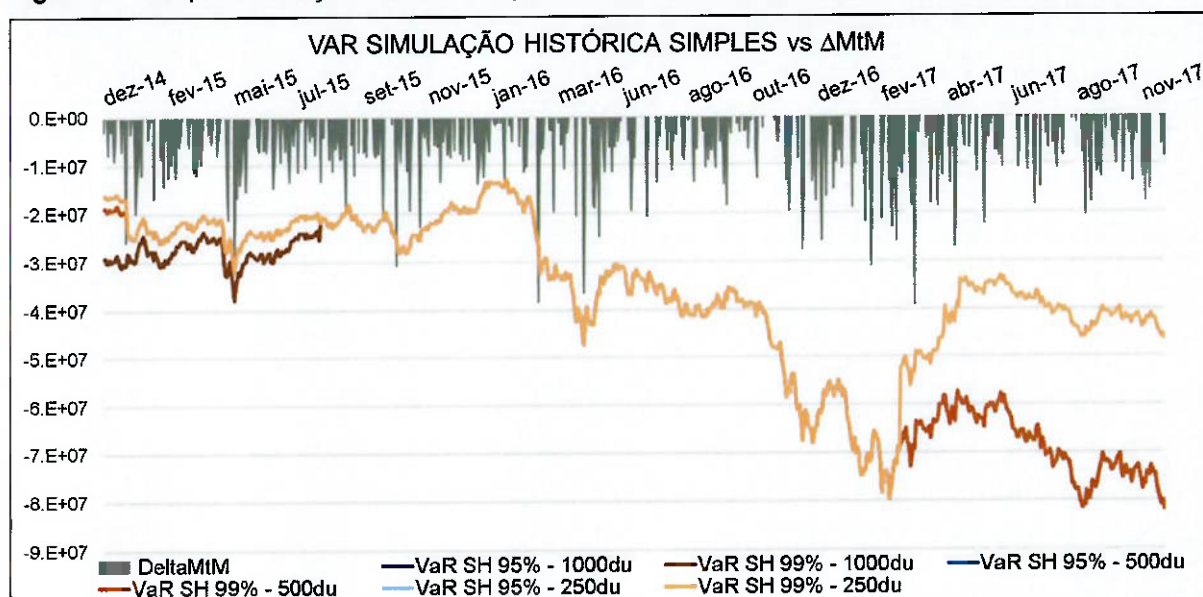


Fonte: Elaborado pelo autor.

O VaR por simulação histórica simples, representado na figura 4, possui grande influência de posições antigas, uma vez que atribui o mesmo peso a todas as observações realizadas, podendo influenciar negativamente seus resultados. Dado o risco apresentado na figura é possível inferir que há um retorno negativo alto na janela de apuração do VaR e que, este fato, pode ter contribuição da limitação citada.

Vale salientar que os figuras para o VaR a 95% e 99% de confiança coincidiram, de modo que apenas o último intervalo pode ser visualizado. Ademais, o VaR apresentou uma grande distância entre o risco calculado e o valor de Δ MtM e, em uma análise puramente de estouros, seria possível aprovar o uso deste modelo. No entanto, se levado em conta o conservadorismo excessivo apresentado, o modelo é passível de indicar um risco exacerbado em determinada operação, inviabilizando uma oportunidade de mercado.

Figura 4 - VaR por Simulação Histórica Simples x ΔMtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE

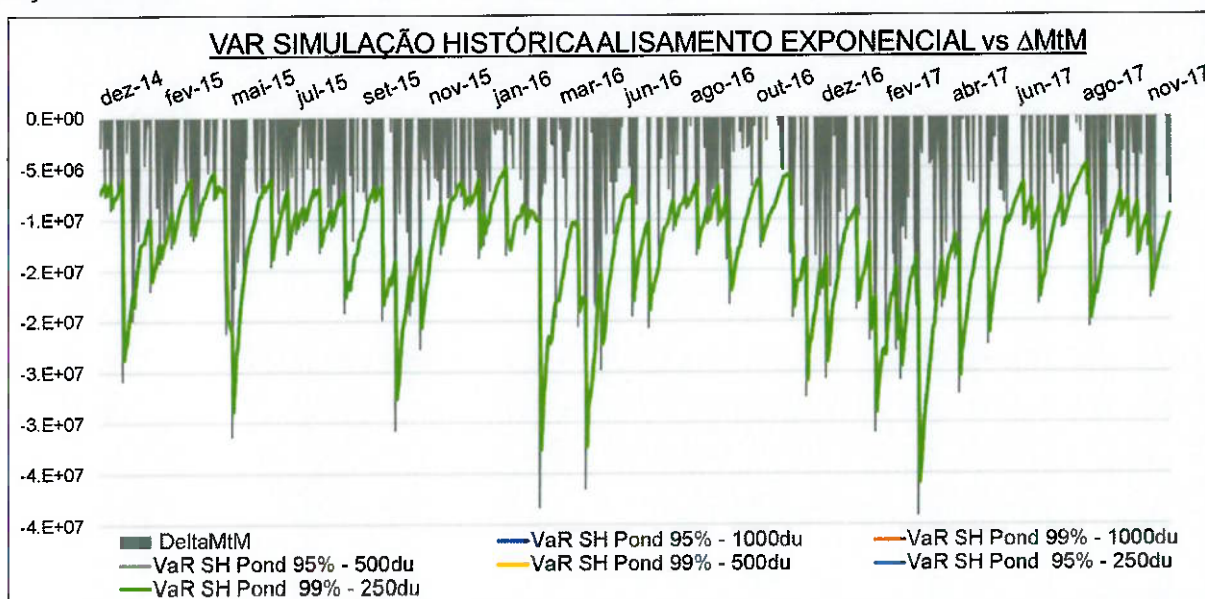


Fonte: Elaborado pelo autor.

A figura 5 apresenta o cálculo do VaR por simulação histórica com alisamento exponencial, que apesar de não guardar relação com a volatilidade dos ativos, possui um dos melhores ajustes ao ΔMtM . Este comportamento resulta da atribuição de maior peso ao retorno histórico mais recente.

O modelo ajustou-se bem ao retorno de D-1 para estimar o VaR de D0, mas é passível de estouros por adotar um peso demasiado ao histórico mais recente, sem considerar a volatilidade dos ativos.

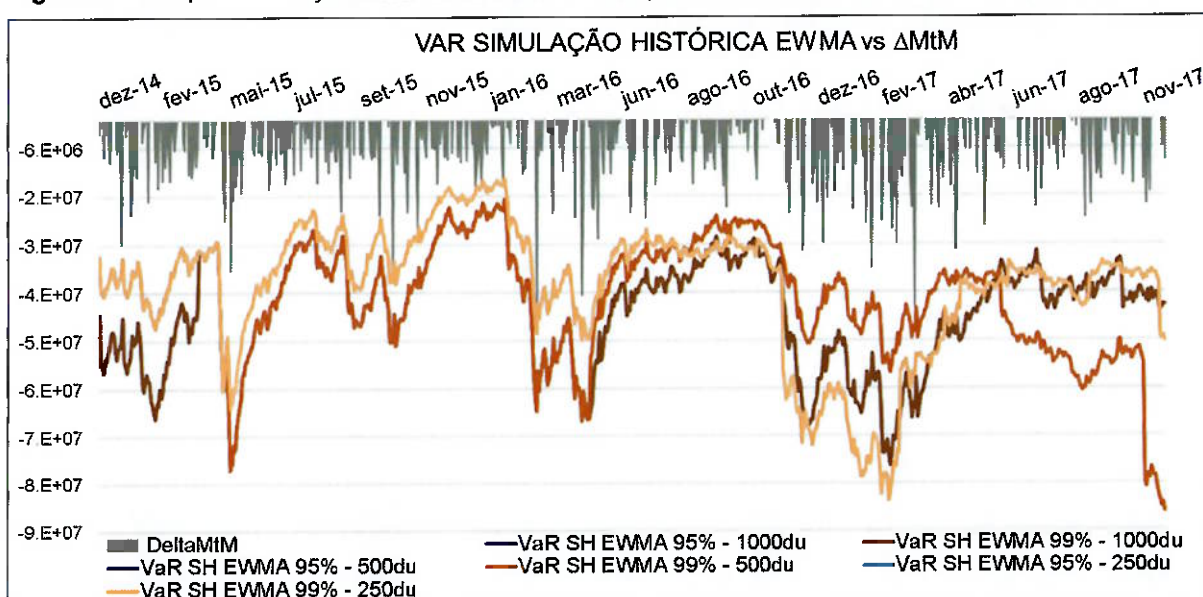
Figura 5 - VaR por Simulação Histórica Alisamento Exponencial x Δ MtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE



Fonte: Elaborado pelo autor.

A última ponderação aplicada ao cálculo do VaR por simulação histórica foi a por volatilidade EWMA. Demonstrou-se na figura 6 sua representação da variação do Δ MtM, que foi satisfatória apesar da distância significativa em relação ao VaR.

Figura 6 - VaR por Simulação Histórica EWMA x Δ MtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE

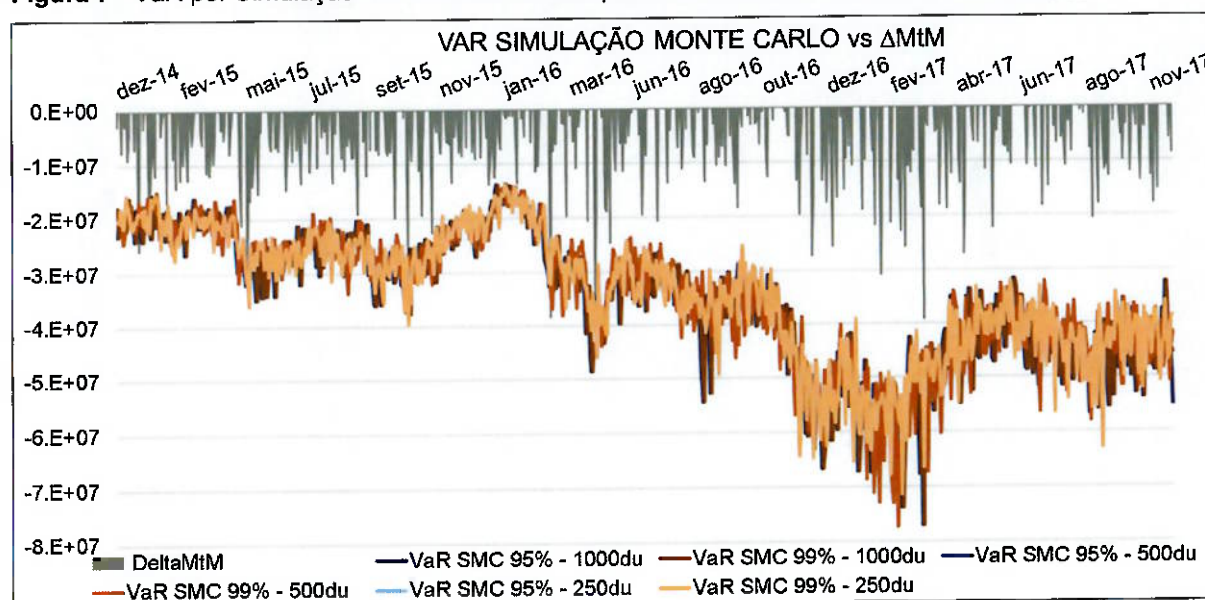


Fonte: Elaborado pelo autor.

O terceiro método apresentado para o cálculo do VaR é o por simulação de Monte Carlo. Com o objetivo de mensurar o VaR, este método considerou uma janela histórica de 250 dias para o cálculo da média e volatilidade utilizadas na estimação dos cenários arbitrários. A figura 7 indica que a análise em questão segue o comportamento do ΔMtM .

Ressalta-se que o fundo utilizado nesta primeira seção de análises (BB ACOES VALE) é composto unicamente por ações do *ticker* VALE3. Além disso, por possuir apenas um ativo não cabe considerar possíveis efeitos de correlação, assim como, o comportamento do ΔMtM desta carteira deve ser o mesmo do ativo que a compõe

Figura 7 - VaR por Simulação Monte Carlo x ΔMtM para a carteira do fundo BB AÇÕES VALE



Fonte: Elaborado pelo autor.

A contagem de estouros dos modelos apresentados anteriormente foi submetida aos intervalos apresentados na tabela 1 para o Teste de Kupiec e, de acordo com o apresentado, todos os modelos com intervalo de confiança de 99% foram aprovados, exceto o VaR por Simulação histórica com alisamento exponencial. Destaca-se em relação a tabela 5 que a aprovação dos modelos ocorreu para as janelas do Teste de Kupiec com horizonte de 255 dias, uma vez que nos horizontes de 510 dias nenhum modelo foi aprovado e, para o horizonte final de 1000 dias, apenas o modelo de simulação histórica simples com 99% de confiança foi satisfatório.

Dado o tamanho das tabelas comparativas, apresenta-se a seguir apenas os resultados aprovados. As tabelas completas serão inseridas como anexo.

Tabela 5 – Resultado de aprovação ou reprovação dos métodos de cálculo do VaR pelo Teste de Kupiec para o fundo BCB ACOES VALE

Teste de Kupiec - Horizonte 255 dias						
	Paramétrico	Paramétrico EWMA	Histórico	SH Alisamento Exp	SH EWMA	Sim Monte Carlo
Intervalo avaliado	VaR 250du com 99% de confiança					
29/11/17 - 24/11/16	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
23/11/16 - 18/11/15	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
17/11/15 - 11/11/14	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
10/11/14 - 06/11/13	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
05/11/13 - 01/11/12	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
	VaR 500du com 99% de confiança					
30/11/16 - 25/11/15	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
24/11/15 - 18/11/14	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
17/11/14 - 13/11/13	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
12/11/13 - 09/11/12	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
	VaR 1000du com 99% de confiança					
01/12/14 - 28/11/13	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
27/11/13 - 26/11/12	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO

Fonte: Elaborado pelo autor.

Após as análises de cada modelo, viu-se que apenas o modelo de VaR calculado por simulação histórica utilizando decaimento exponencial foi reprovado para o intervalo de confiança de 99%. Atribuiu-se este fato ao peso elevado dado ao retorno mais recente em detrimento dos demais. No entanto, este pode não representar o retorno da carteira para o dia seguinte, principalmente para o caso de apenas um ativo.

As análises realizadas para o fundo “BB ACOES VALE” foram replicadas para as demais carteiras – “MCR PRINCIPAL” e “VENTURE FI”. Seus resultados serão apresentados de forma sucinta, sendo incluídos ao longo do texto apenas as figuras dos métodos aprovados pelo Teste de Kupiec. As demais figuras serão anexadas ao trabalho.

ii. Fundo – “MCR PRINCIPAL”

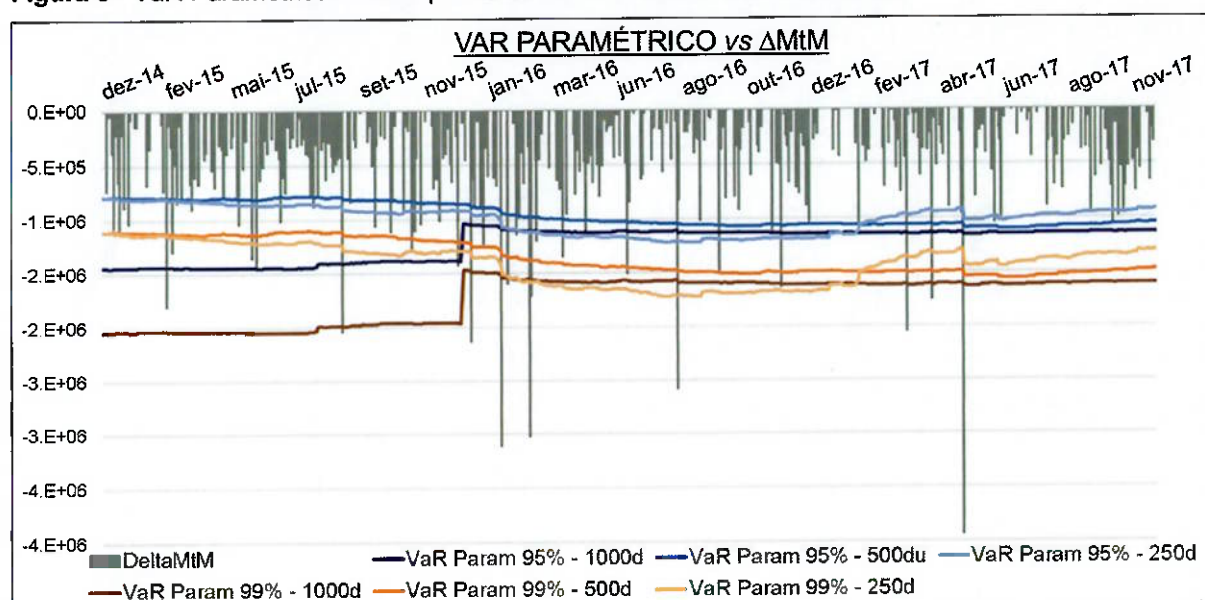
Diferente do fundo “BB ACOES VALE”, o “MCR PRINCIPAL” é composto por ações de diversas instituições. Dada esta característica, os cálculos aqui realizados sofreram um efeito de correlação entre os papéis, o que poderia resultar em um

incremento ou decremento do risco. Esta diferença, entretanto, foi objeto de estudo deste trabalho.

Conforme a figura 8, o modelo de cálculo do VaR Paramétrico simples teve um comportamento de baixa variação, semelhante ao apresentado pelo fundo “BB ACOES VALE” com os valores estimados utilizando a janela de 1000 dias.

Diferente do fundo anterior, os valores estimados com janelas de 250 e 500 dias neste possuem um comportamento que reflete as variações da carteira e estão mais próximos das variações de MtM contabilizadas, visualmente representando melhor o risco.

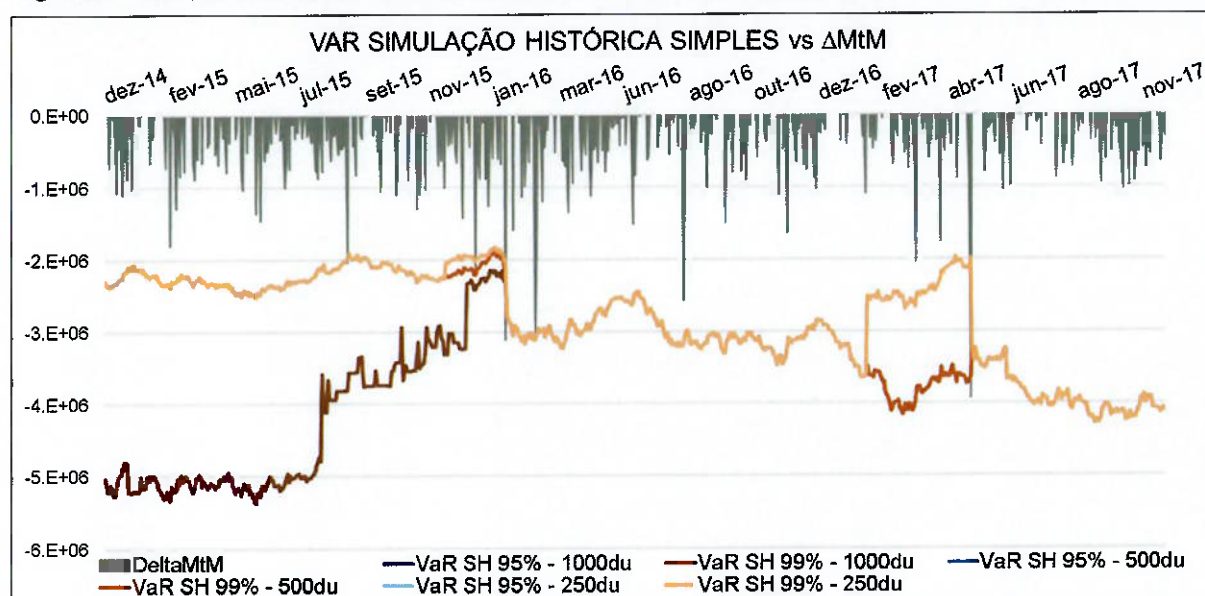
Figura 8 - VaR Paramétrico x Δ MtM para a carteira do fundo MCR PRINCIPAL



Fonte: Elaborado pelo autor.

O VaR calculado utilizando simulação histórica simples, representado na figura 9, refletiu o comportamento da carteira em suas variações de resultado. A figura indica ainda, para o VaR calculado com 1000 dias a 99%, uma forte influência de um retorno passado, descolando-o do restante das observações. Como pôde ser visto nas figuras anteriores, os valores de risco calculados com intervalo de confiança de 95% estão sobrepostos pelos valores de 99%, mas apenas estes últimos foram aprovados pelo Teste de Kupiec. Isso porque, ao se utilizar o VaR a 95% de confiança, demonstra-se um maior apetite ao risco, e isto é refletido nas tabelas de comparação do teste, que, por sua vez, considerou o VaR por simulação histórica calculado a 95% de confiança demasiadamente conservador.

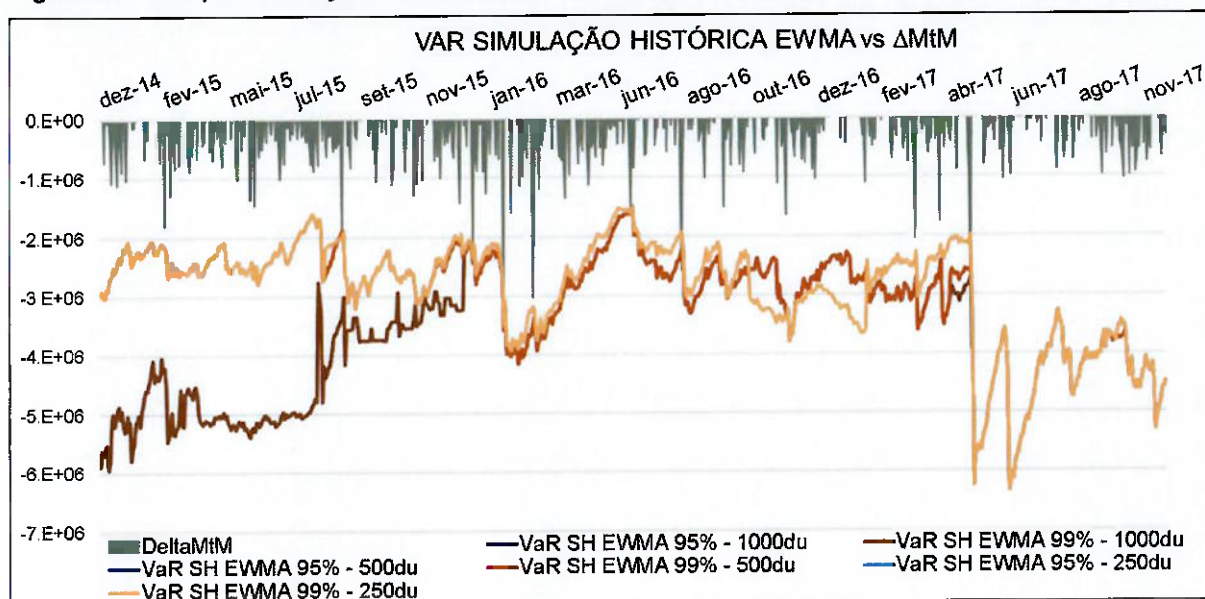
Figura 9 - VaR por Simulação Histórica Simples x Δ MtM para a carteira do fundo MCR PRINCIPAL



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o esperado, o método de simulação histórica de ponderação por volatilidade EWMA se ajustou mais rapidamente às variações do resultado da carteira. Como exemplo, vê-se o início da figura se ajustando mais rapidamente ao comportamento atual da carteira em detrimento ao possível retorno negativo elevado que houve no passado. Notam-se, na figura 10, diferenças diminutas entre os resultados, partindo das janelas de 250 e 500 dias para o cálculo do histórico. Ademais, da mesma maneira como ocorrido no VaR por simulação histórica simples, mesmo estando próximo ao VaR a 99%, o VaR com confiança 95% foi reprovado no Teste de Kupiec, dado o excesso de conservadorismo.

Figura 10 - VaR por Simulação Histórica EWMA x Δ MtM para a carteira do fundo MCR PRINCIPAL

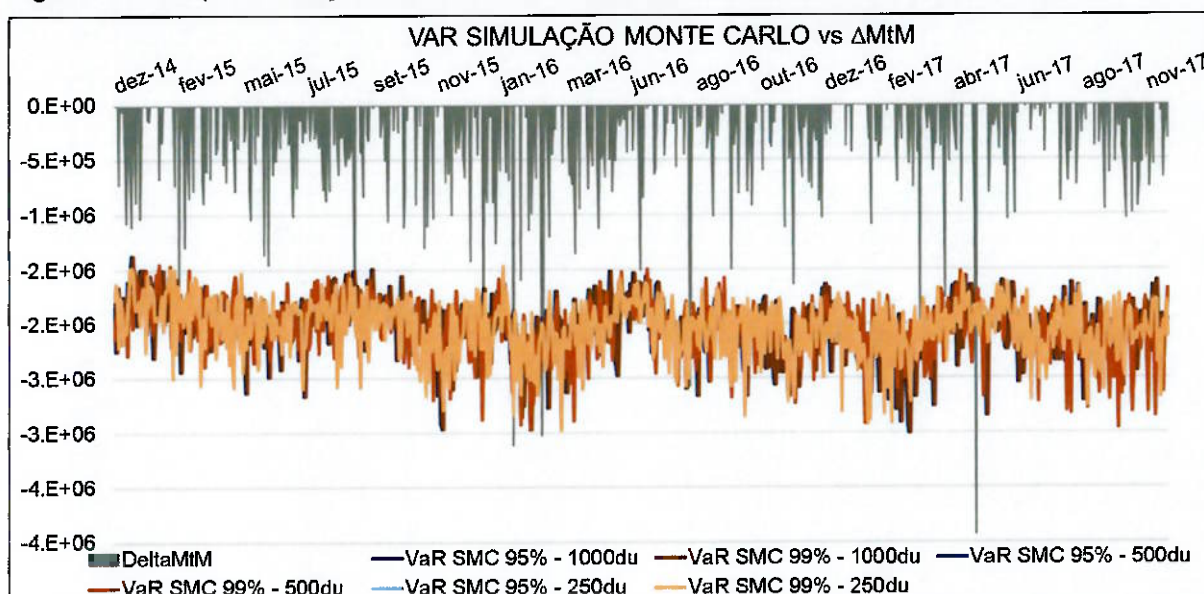


Fonte: Elaborado pelo autor.

O método de cálculo do VaR utilizando simulação de Monte Carlo foi aprovado no Teste de Kupiec com intervalo de confiança em 99% para todas as suas janelas de cálculo. Já para o intervalo de confiança de 95%, salienta-se a repetição da ocorrência de reprovação do cálculo, dado o elevado conservadorismo.

É possível avaliar o modelo de cálculo de Monte Carlo ainda por meio do viés de alocação de capital. A figura 11 indica que apesar de ter sido aprovado no teste por taxa de erros (estouros), visualmente, é perceptível que o VaR estimado não se ajusta à variação dos resultados. Para um gestor de investimento, este comportamento pode representar um problema na alocação de sua carteira, uma vez que o risco se mantém acima da relação risco-retorno apresentada e, como visto na figura 11, fica muito estável ao longo do tempo.

Figura 11 - VaR por Simulação de Monte Carlo x Δ MtM para a carteira do fundo MCR PRINCIPAL



Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o fundo “MCR PRINCIPAL” todos os métodos de cálculo do VaR foram aprovados considerando critério de confiança de 99%, exceto para o método de simulação histórica com alisamento exponencial. Para a confiança de 95% apenas o método de VaR Paramétrico simples foi aprovado no Teste de Kupiec.

Tabela 6 – Resultado de aprovação ou reprovação dos métodos de cálculo do VaR pelo Teste de Kupiec para o fundo MCR PRINCIPAL

Teste de Kupiec - Horizonte 255 dias						
	Paramétrico	Paramétrico EWMA	Histórico	SH Alisamento Exp	SH EWMA	Sim Monte Carlo
Intervalo avaliado	VaR 250du com 99% de confiança					
29/11/17 - 24/11/16	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
23/11/16 - 18/11/15	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
17/11/15 - 11/11/14	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
10/11/14 - 06/11/13	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
05/11/13 - 01/11/12	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
	VaR 500du com 99% de confiança					
30/11/16 - 25/11/15	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
24/11/15 - 18/11/14	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
17/11/14 - 13/11/13	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
12/11/13 - 09/11/12	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
	VaR 1000du com 99% de confiança					
01/12/14 - 28/11/13	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
27/11/13 - 26/11/12	REPROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO

Fonte: Elaborado pelo autor.

iii. Fundo – “VENTURE FI”

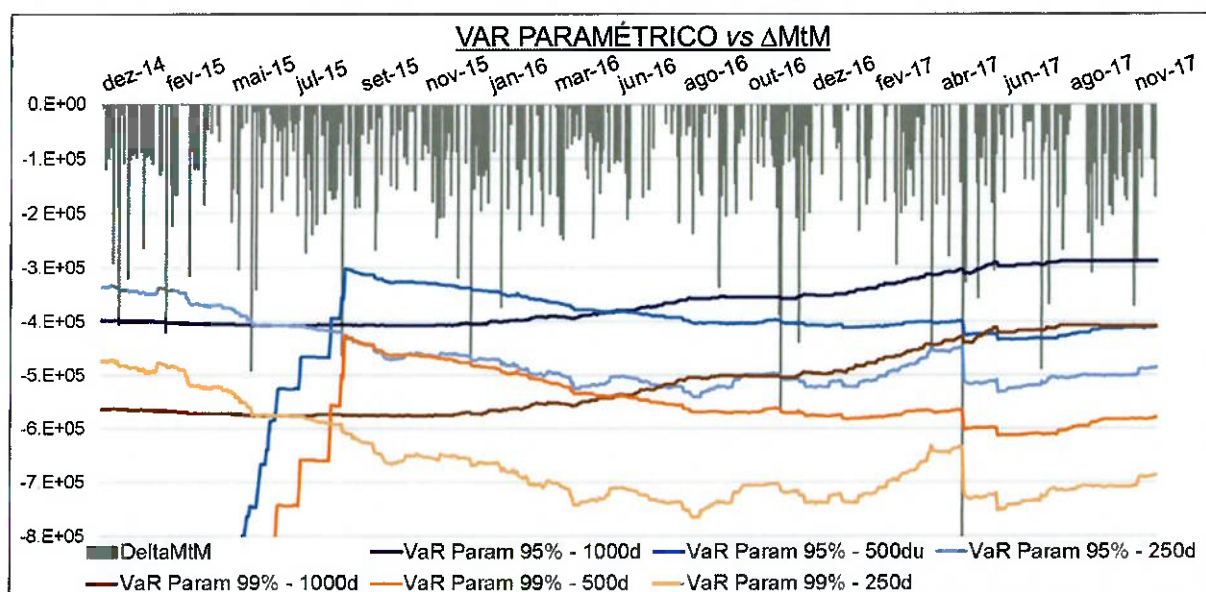
Assim como o fundo “MCR PRINCIPAL”, o “VENTURE FI” possui diversas ações em sua carteira, não havendo concentração em empresa ou seguimento.

Os cálculos realizados para este fundo consideraram o efeito de correlação entre os papéis. Contudo, diferente do ocorrido para o fundo anterior esta carteira não apresentou boa aderência por nenhum dos métodos de apuração do VaR a 95% de confiança. Já para os cálculos realizados com intervalo de confiança de 99% todos foram aprovados no teste de aderência, exceto o método de alisamento exponencial com horizonte de 255 dias.

O método de VaR paramétrico simples, apurado para janela de 500 dias, carregou informações de volatilidade sobre um histórico em que esta componente era alta, de modo que, no início da figura 12, apresenta-se um distanciamento significativo entre os valores de ΔMtM e risco. Fato contrário pode ser observado nas curvas de VaR com parâmetros calculados em janela de 250 e 1000 dias, quando os valores de ΔMtM e risco se mantêm próximos ao comportamento do retorno.

Em todo o período analisado, verificou-se ainda que as curvas de VaR paramétrico calculados com janela de 250 e 500 dias e confiança de 99% permanecem significativamente afastados dos valores máximos (mínimos) de MtM, representado uma métrica conservadora, porém aceitável ao nível de confiança estabelecido pelo Teste de Kupiec.

Figura 12 - VaR Paramétrico x ΔMtM para a carteira do fundo VENTURE FI

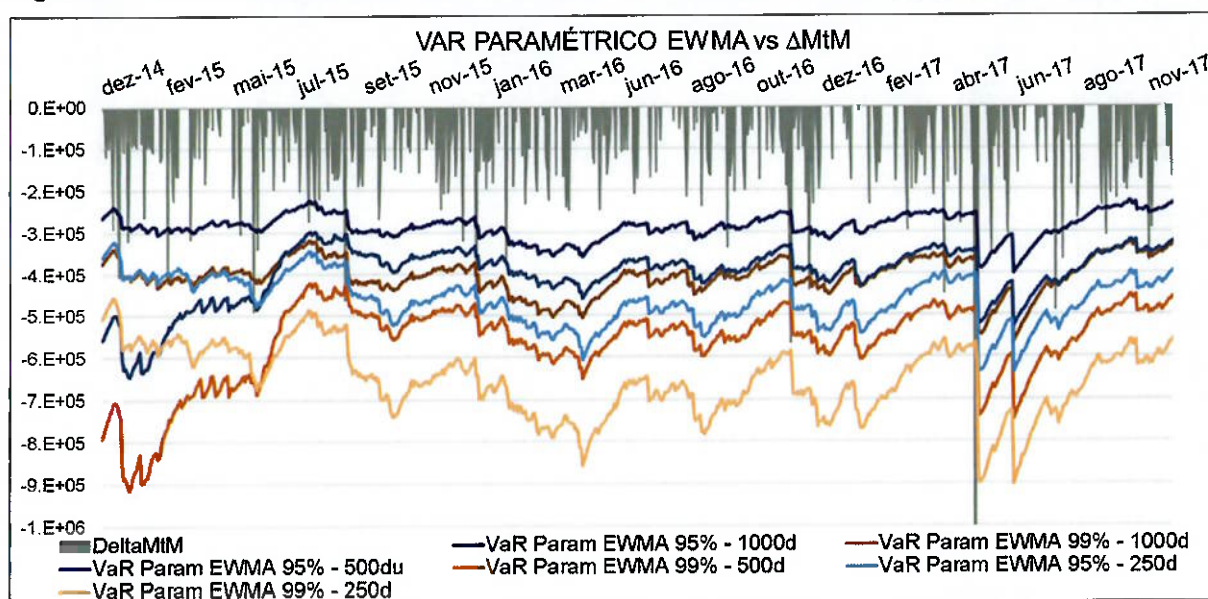


Fonte: Elaborado pelo autor.

O cálculo do VaR paramétrico utilizando a volatilidade EWMA, descrito na figura 13, foi capaz de se adequar ao comportamento dos resultados obtidos pela carteira do fundo “VENTURE FI”. A figura apresenta também a curva para todas as métricas, seu comportamento e magnitude. Assim, verificou-se que a ponderação por volatilidade EWMA foi capaz de sanar o problema do ajuste no início do período demonstrado na figura 12, atribuindo menor peso às altas volatilidades localizadas no fim da janela.

Nessa análise, apenas as curvas para o VaR com 99% de confiança foram aprovadas pelo Teste de Kupiec, uma vez que as com 95% tiveram muitos estouros, sendo pouco conservadoras para os critérios avaliativos. O comportamento de estouros pode ser verificado diretamente na figura 13.

Figura 13 - VaR Paramétrico com volatilidade EWMA x ΔMtM para a carteira do fundo VENTURE FI



Fonte: Elaborado pelo autor.

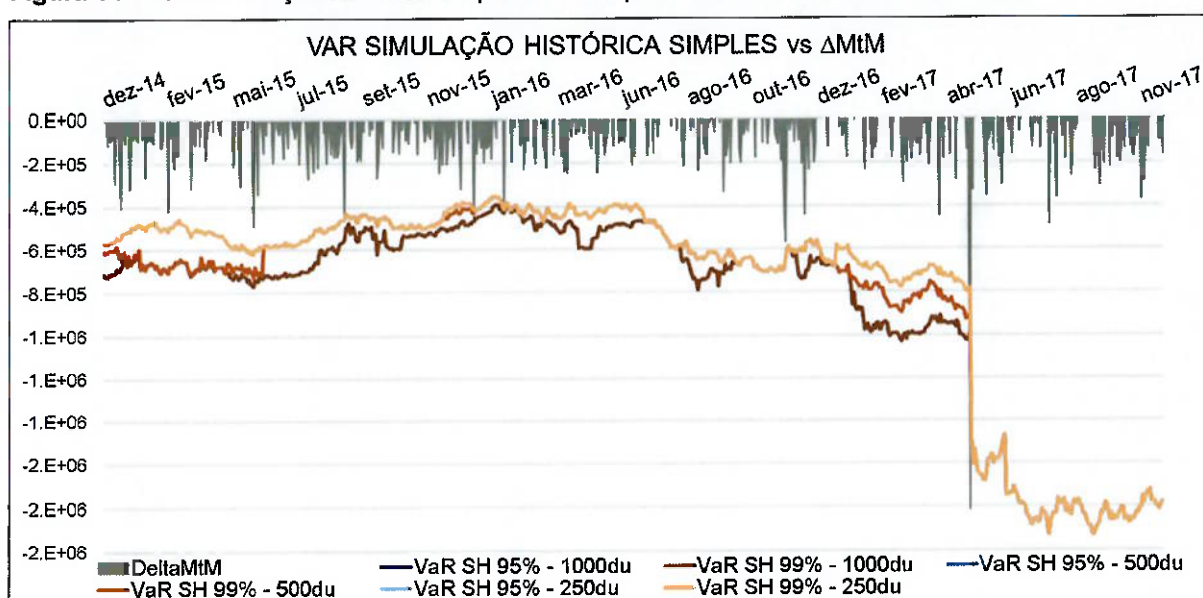
Diferente da situação apresentada no VaR paramétrico, no método de estimação do risco utilizando simulação histórica as curvas estão bem ajustadas ao comportamento dos resultados apresentados no início do período avaliado – figura 14.

Conceitualmente, o método paramétrico calcula a volatilidade de um período para estimar o VaR, enquanto a simulação histórica extrai o risco diretamente de uma série de retornos, desconsiderando sua volatilidade. Esta característica é confirmada se observado o final do período apresentado na figura 14, que possui um retorno

negativo elevado e causa um “descolamento” da curva de risco em relação ao resultado. Visto que o método de simulação histórica está sendo apresentado sem ponderação, o efeito deste retorno negativo elevado somente deixará de afetar o risco estimado após um período igual ao tamanho da janela utilizada para o cálculo do VaR.

Ainda sobre o cálculo apresentado, vale salientar que a curva calculada para o VaR a 95% de confiança está sobreposta pela curva com a confiança maior (99%) e, conforme situação já estudada neste trabalho, isto tem um efeito direto no Teste de Kupiec, que reprovou o risco estimado no último intervalo de confiança por ser demasiadamente conservador.

Figura 14 - VaR Simulação Histórica simples x Δ MtM para a carteira do fundo VENTURE FI

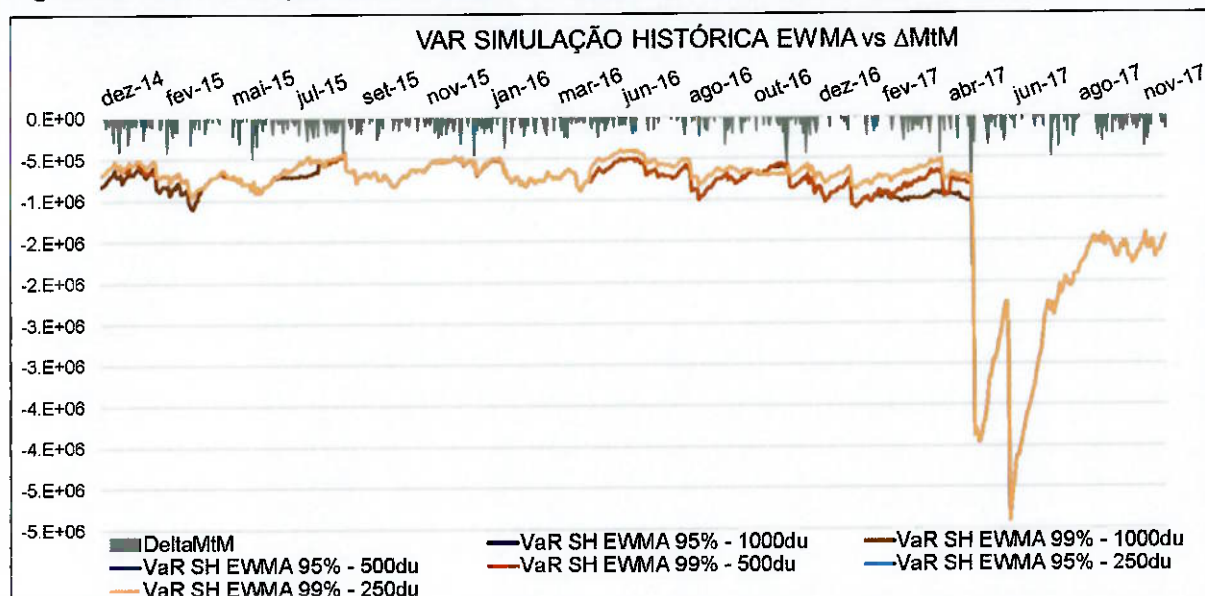


Fonte: Elaborado pelo autor.

O Δ MtM apresentado para o VaR calculado por simulação histórica acompanha a variação do resultado apresentado pela carteira. Destaca-se a contribuição da ponderação EWMA, que foi capaz de ajustar rapidamente o risco estimado às grandes movimentações do mercado, que impactam o resultado da carteira de investimentos.

Após o movimento abrupto localizado no final do período analisado, em comparação à simulação histórica simples (figura 14), verifica-se um rápido ajuste da curva de risco ao comportamento do resultado da carteira. Além disso, assim como no resultado anterior, o excesso de conservadorismo do cálculo realizado para o intervalo de confiança de 95% causou sua recusa no Teste de Kupiec.

Figura 15 - VaR Simulação Histórica EWMA x Δ MtM para a carteira do fundo VENTURE FI

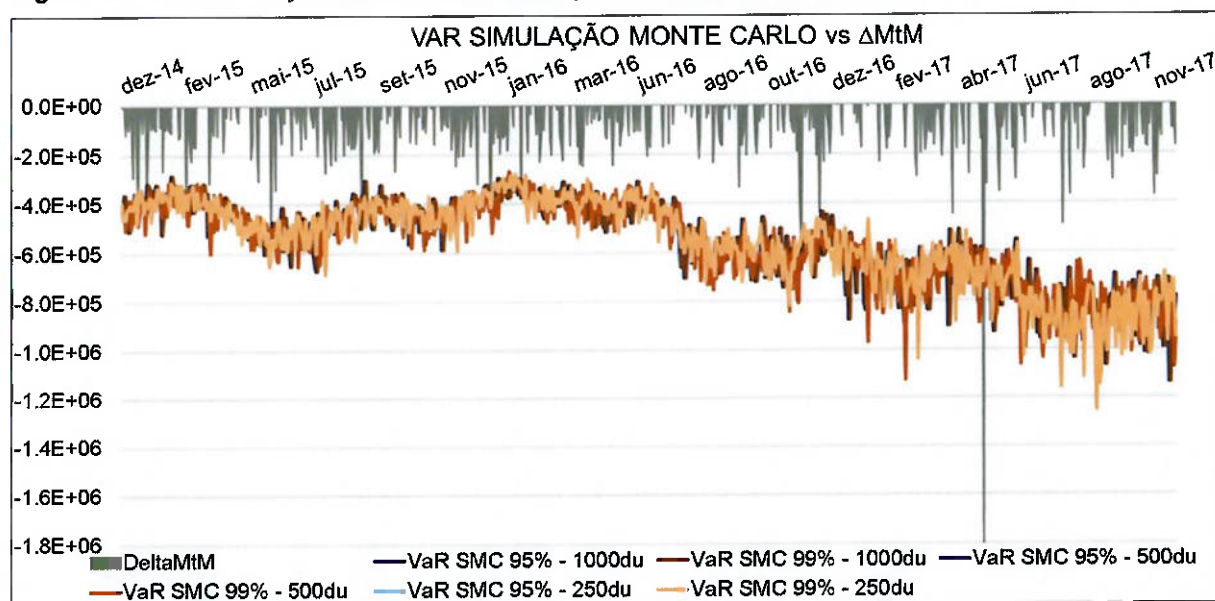


Fonte: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na figura 16 a curva calculada pelo método de Monte Carlo guarda pouca relação com os eventos de mercado que ocasionam mudanças abruptas no resultado da carteira de investimentos.

Os valores calculados foram capazes de seguir o comportamento dos resultados dia a dia da carteira, mas mantiveram um distanciamento, influenciados pela volatilidade dos ativos.

Figura 16 - VaR Simulação Monte Carlo x Δ MtM para a carteira do fundo VENTURE FI



Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme a tabela 7, assim como nos casos anteriores, os valores de VaR com 95% de confiança foram considerados excessivamente conservadores, sendo reprovados pelo teste de Kupiec.

Tabela 7 – Resultado de aprovação ou reprovação dos métodos de cálculo do VaR pelo Teste de Kupiec para o fundo VENTURE FI

Teste de Kupiec - Horizonte 255 dias						
	Paramétrico	Paramétrico EWMA	Histórico	SH Alisamento Exp	SH EWMA	Sim Monte Carlo
Intervalo avaliado	VaR 250du com 99% de confiança					
29/11/17 - 24/11/16	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
23/11/16 - 18/11/15	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
17/11/15 - 11/11/14	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
10/11/14 - 06/11/13	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
05/11/13 - 01/11/12	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
	VaR 500du com 99% de confiança					
30/11/16 - 25/11/15	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
24/11/15 - 18/11/14	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
17/11/14 - 13/11/13	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
12/11/13 - 09/11/12	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
	VaR 1000du com 99% de confiança					
01/12/14 - 28/11/13	REPROVADO	REPROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO
27/11/13 - 26/11/12	APROVADO	APROVADO	APROVADO	REPROVADO	APROVADO	APROVADO

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

O modelo de estimação de risco chamado *Value at Risk* (VaR) representa hoje uma ferramenta consolidada para a gestão de portfólios de investimento ao redor do mundo, sendo aplicado a diversas composições de carteiras. Ao longo do tempo, conforme este modelo de estimação de risco passou a ser adotado pelos gestores de investimento, especialistas em cálculo de risco de mercado se dedicaram a criação de metodologias de aperfeiçoamento do valor calculado pelo VaR, deixando-o mais robusto e capaz de mensurar o risco de produtos cada vez mais complexos.

Neste trabalho implementaram-se scripts no software MatLab® para o cálculo do VaR de carteira de ações e os métodos avaliados foram: VaR paramétrico simples e com ponderação EWMA, VaR por simulação histórica simples, com alisamento exponencial e com volatilidade EWMA e, por fim, o VaR por simulação de Monte Carlo. A análise ocorreu para carteiras de investimentos compostas unicamente por ações e os resultados foram apresentados graficamente e avaliados por meio do teste por taxas de exceção, o Teste de Kupiec.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstraram que, de maneira geral, a utilização de critério de confiança de 99% para apuração do *Value at Risk* concedeu melhores resultados ao longo dos testes, permitindo uma incorporação do perfil de movimentação dos retornos da carteira ao risco estimado e conservador o suficiente para garantir uma gestão eficiente dos recursos disponíveis.

Os testes realizados indicaram ainda que o VaR calculado pelo método paramétrico padrão e ponderado EWMA, bem como o de simulação histórica EWMA, são os que melhor refletem o risco gerado por uma carteira composta por apenas uma ação, como no caso do fundo “BB ACOES VALE”. Estes métodos de cálculo do VaR foram aprovados pelo Teste de Kupiec, considerando uma quantidade mínima e máxima de estouros de VaR.

Para os demais fundos, em que a carteira utilizada era composta por mais de um ativo, outros métodos de cálculo do VaR ganharam notoriedade. Como um método aprovado pelo Teste de Kupiec para todas as carteiras, temos o VaR por simulação histórica com ponderação de volatilidade EWMA. Este método de cálculo capturou a correlação estabelecida entre os papéis e, graças à ponderação adotada, se adequou rapidamente a variações abruptas nos retornos, ajustando o risco estimado e retornando-o a patamares comuns pouco tempo depois.

Por último, o método que teve maior aprovação pelo Teste de Kupiec foi o VaR por simulação de Monte Carlo. Ele não leva em conta premissas fortes ou formatos de distribuição dos retornos históricos dos ativos, sendo capaz de estimar o VaR para todas as carteiras.

Desse modo, este trabalho permitiu compreender que a escolha de um modelo de mensuração do risco para gestão de uma carteira de investimentos pode ser beneficiada por testes de aderência de modelos, visto sua capacidade de identificar os que melhor representam a carteira avaliada. Outro fator importante a ser considerado é o custo computacional para o cálculo dos valores de VaR, que deve ser analisado frente ao apetite de risco do gestor da carteira de investimento.

Pesquisas futuras em relação ao tema, de modo a aprofundá-lo, estão na análise de derivativos lineares e não lineares na composição das carteiras, a fim de comparar os métodos de cálculo do VaR para portfólios de investimentos mais complexos

REFERÊNCIAS

- ALEXANDER, Carol. **Value-at-risk models**. England, UK: John Wiley & Sons, 2008.
- BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Circular 3.646**. Brasília, 2013.
- BESSIS, Joel. **Risk management in banking**. Chichester: John Wiley & Sons, 2ed. 1998.
- BOUDOUKH, J.; RICHARDSON, M.; WHITELAW, F.R. **The best of both worlds: a hybrid approach to calculating Value at Risk**. Risk, vol.11, n.5, 1998, p. 64-67.
- COMISSÃO DE VALORES IMOBILIÁRIOS. **Instrução CVM555**. Brasil, Diário Oficial da União, dez.2014. Disponível em: <http://www.cvm.gov.br/legislacao/instrucoes/inst555.html>. Acesso em 20 jan.2018.
- DAMORAN, Aswath. **Strategic Risk Taking: a framework for risk management**. Wharton School Publishing, 2007.
- HULL, John C. **Options, futures and other derivatives**. New Jersey: Pearson Education, 2002
- JORION, Philippe. **Value at Risk: a Nova Fonte de Referência Para a Gestão do Risco Financeiro**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias e Futuros, ed. 2, São Paulo, 2012.
- _____. **Value at Risk: the new benchmark for controlling market risk**. USA, McGraw-Hill, 1997.
- J.P MORGAN; REUTERS. **RiskMetrics: technical document**. New York. 4 ed., 1996.
- YAHOO FINANCE. Dados históricos. Yahoo Finance, [2018]. Disponível em: <https://finance.yahoo.com>. Acesos em 18 jan. 2018.

[illegible]