

# **RESUMO DA METODOLOGIA DE GERAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO DA CÂMARA BM&FBOVESPA V7**

Diretoria de Administração de Riscos

Superintendência de Modelagem de Risco

# RESUMO DA METODOLOGIA DE GERAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO DA CÂMARA BM&FBOVESPA V7



Diretoria de Administração de Riscos

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	3
1 INTRODUÇÃO .....	5
2 CENÁRIOS HISTÓRICOS .....	8
3 CENÁRIOS QUANTITATIVOS .....	9
4 CENÁRIOS PROSPECTIVOS.....	13
REFERÊNCIAS.....	18

# RESUMO DA METODOLOGIA DE GERAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO DA CÂMARA BM&FBOVESPA V7



Diretoria de Administração de Riscos

## APRESENTAÇÃO

O saldo de garantias da Câmara BM&FBOVESPA é computado pelo CORE (*Close-Out Risk Evaluation*). O CORE é uma medida de risco que contempla três tipos de risco:

- Mercado;
- Liquidez;
- Fluxo de caixa.

O risco de mercado (perdas decorrentes de variações de preços) é introduzido no CORE através do conjunto de **10 mil cenários** para preços futuros de instrumentos negociados e colaterais ao longo do horizonte de risco (de 1 a 10 dias). Cabe aos cenários o papel de controlar os **benefícios de diversificação aceitos pela Câmara**.

O presente texto apresenta os principais aspectos da metodologia de geração dos cenários. Ele é dividido em quatro seções. A primeira apresenta os conceitos iniciais envolvidos na geração dos cenários. As três seções seguintes detalham, ainda que não de forma exaustiva, as três estratégias de geração de cenários empregadas.

# RESUMO DA METODOLOGIA DE GERAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO DA CÂMARA BM&FBOVESPA V7



Diretoria de Administração de Riscos

## Registro de versões e alterações

Versão	Item Modificado	Modificação	Motivo	Data
2	NA	NA	NA	28/08/2017
3	1; 2	Quantidade de cenários; Período contemplado pelos cenários históricos	Alterações nos cenários históricos	28/12/2018
4	1; 2	Quantidade de cenários; Período contemplado pelos cenários históricos	Alterações nos cenários históricos	12/04/2019
5	1; 2	Quantidade de cenários; Período contemplado pelos cenários históricos	Alterações nos cenários históricos	08/01/2020
6	1; 2	Quantidade de cenários; Período contemplado pelos cenários históricos	Alterações nos cenários históricos	03/08/2020
7	1; 2	Quantidade de cenários; Período contemplado pelos cenários históricos	Alterações nos cenários históricos	26/03/2021

### 1. INTRODUÇÃO

Os cenários de preços dos instrumentos e colaterais utilizados para o cálculo de **saldo de garantias** em certo dia resultam do **apreçamento completo** destes ativos a partir de valores simulados de seus respectivos fatores de risco. Estes, por sua vez, resultam da aplicação de **choques** (variações) sobre os valores de fechamento do dia útil imediatamente anterior.

Considere o primeiro vencimento do dólar futuro como exemplo. Ele possui três fatores de risco: dólar à vista, taxa de juros pré-fixada em reais de mesmo vencimento e a taxa do cupom cambial de mesmo vencimento. Os preços deste instrumento nos cenários no dia T resultam do apreçamento completo do instrumento a partir de cenários para as variações destes fatores aplicados sobre seus respectivos preços de fechamento de T-1.

O mapeamento, em fatores de risco, de todos instrumentos negociados e ativos aceitos em garantias pode ser consultado no sítio da BM&FBOVEPA.

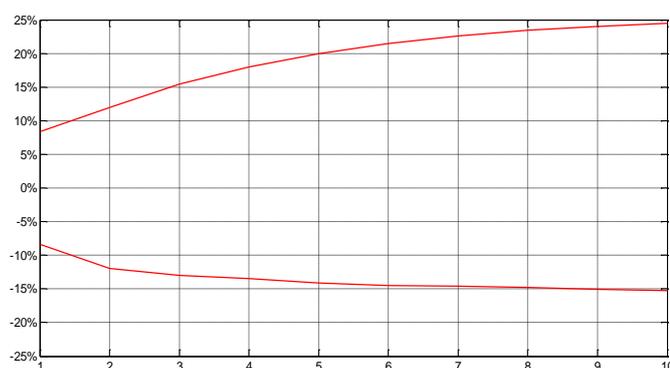
O **Comitê Técnico de Risco de Mercado** é o colegiado da BM&FBOVESPA responsável pela determinação dos **cenários para variações dos fatores de risco**. Os cenários são determinados de forma **prospectiva** por **especialistas** nos diversos temas envolvidos, fixado um nível de confiança de 99,96% considerando distribuições com caudas pesadas. Os cenários são construídos tendo em vista a decomposição do risco da carteira em riscos individuais dos fatores de risco e risco de movimento conjunto destes fatores.

O risco individual de um fator de risco é determinado por variações prospectivas mínima e máxima dado o nível de confiança de 99,96% para **cada horizonte de risco**. Tais variações são limites inferiores e superiores para as variações deste fator em qualquer cenário. Por esta razão, tais variações constituem-se em um **envelope** para os choques do fator de risco. A cada fator de risco, são associados dois envelopes.

A Figura 1 exibe os dois envelopes de um fator de risco cujo choque é uma variação percentual do preço. Por exemplo, em 10 dias, o maior choque é de 25%; o menor, -15%.

Considere uma posição comprada em um contrato futuro mapeado em um único fator de risco. Suponha ainda que a posição fosse pequena frente a liquidez disponível para liquidá-la. Se o envelope deste fator de risco fosse o da Figura 1, a margem requerida seria determinada pela sua variação de queda em dois dias: -12%.

Figura 1: Envelopes de um fator de risco – horizonte de risco (dia) x choque percentual acumulado



Caso o fator de risco disponha de histórico suficiente, são estimados quantis referentes a este nível de confiança utilizando diferentes distribuições univariadas com caudas pesadas e assimétricas. Tais quantis históricos são insumos para a decisão do Comitê Técnico de Risco de Mercado acerca de envelope deste fator de risco.

Define-se **cenário de risco** como o conjunto de **choques de todos os fatores de risco** ao longo de uma trajetória de 10 dias. Assim, um cenário para um fator de risco é representado por um vetor-coluna de 10 linhas; um cenário para todos os N fatores de risco, por uma matriz de 10 linhas e N colunas. Cada cenário possui o seu próprio risco de movimento conjunto.

O CORE utiliza 10 mil cenários. Este conjunto, portanto, pode ser entendido como um “fichário” de 10 mil “pastas”, sendo cada “pasta” uma matriz de 10 linhas e N colunas.

Retomemos o exemplo do dólar futuro. A margem para uma posição comprada é definida pelo pior movimento conjunto entre seus três fatores de risco. Ou seja, as maiores variações conjuntas (simultâneas) avaliadas entre os 10 mil cenários: queda do dólar frente ao real, queda da taxa do cupom cambial de mesmo vencimento e alta da taxa de juros pré-fixada em reais de mesmo vencimento.

Os cenários são construídos por três estratégias **diferentes e complementares**:

A. **Cenários históricos** (4.204):

- Correspondem aos cenários de números entre o 529 e o 4.732 (inclusive);
- Visam incorporar um processo de *backtesting* de risco dentro do modelo de margem;
- Supõe-se que as variações históricas da amostra selecionada podem se repetir no futuro;
- São todas as janelas móveis de 1 a 10 dias de variações entre janeiro de 2004 e dezembro de 2020.

B. **Cenários quantitativos** (5.265):

- Correspondem aos cenários de números entre o 4.733 e o 9.997 (inclusive);
- Visam aumentar a cobertura de choques plausíveis pelo uso de simulação de Monte Carlo;
- Choques que poderiam ter ocorrido, mas que não necessariamente ocorreram na amostra;
- Choques são simulados a partir de modelos quantitativos estimados sobre dados históricos e que buscam capturar fatos estilizados sobre carteiras de ativos financeiros documentados na literatura especializada.

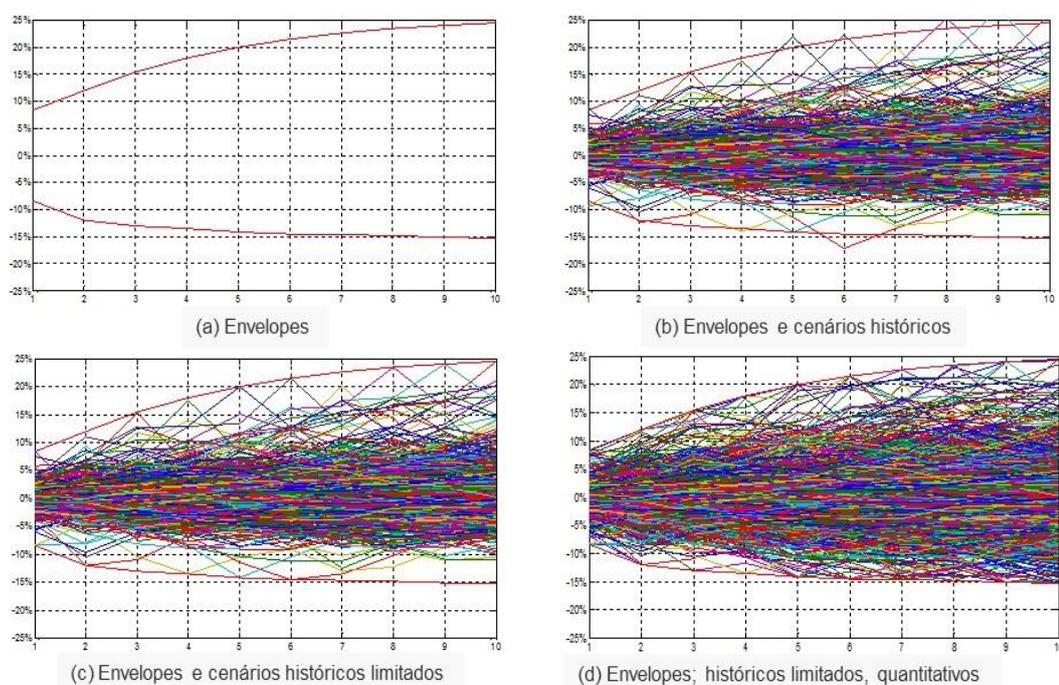
C. **Cenários Prospectivos** (528)

- Correspondem aos cenários de números entre o 1 e o 528 (inclusive);
- Visam elevar o grau de proteção da Câmara contra aumento do saldo de garantias gerado por benefícios de diversificação espúrios para posições e fatores de riscos relevantes;
- Quebram as correlações históricas;
- Introduzem eventos plausíveis que não ocorreram na amostra;
- Seis subtipos de cenários prospectivos.

A complementariedade das três estratégias de geração de cenários pode ser visualizada através da elevação da cobertura de eventos plausíveis de um fator de risco. A Figura 2 apresenta a sequência de introdução dos tipos de cenários dentro dos envelopes da Figura 1.

A Figura 2.b exibe os envelopes e os cenários históricos. Cada linha representa uma trajetória de preços de 10 dias através dos retornos acumulados de 1 a 10 dias. Todas as janelas móveis de 1 a 10 dias presentes na amostra estão na figura. A Figura 2.c apresenta os cenários da 2.b agora limitados pelos envelopes. A Figura 2.d adiciona os cenários quantitativos aos históricos. Como esperado, os cenários simulados por modelos quantitativos elevam a cobertura, principalmente em áreas dentro dos envelopes que possuem poucos cenários – dada a limitação do tamanho da amostra disponível.

**Figura 2: Tipos de cenários para um fator de risco**



Os três tipos de cenários serão detalhados, ainda que não exaustivamente, nas próximas seções do texto.

### 2. CENÁRIOS HISTÓRICOS

O conjunto de cenários históricos utilizados compreende todas as trajetórias de 10 dias de retorno acumulado observadas na **amostra** que começa em 2<sup>o</sup> de janeiro de 2004 e termina em 30 de dezembro de 2020, perfazendo um total de 4.204 cenários para cada fator de risco.

Para que o **movimento conjunto histórico** entre os fatores de risco possa ser capturado, não pode haver lacunas nas séries históricas de preços. Isto é, é preciso que todos os fatores de risco possuam preços em todas as datas da amostra. Na prática, entretanto, tal exigência não é atendida. Ativos novos lançados durante a amostra e falta de liquidez são algumas das razões geradas de ausência de preços.

Para contornar este problema, a literatura especializada oferece métodos quantitativos para tratamento de dados faltantes (*missing values*). Em geral, tais métodos empregam retornos de ativos considerados similares ao fator de risco que apresentou retornos faltantes para determiná-los. Este problema é particularmente importante para ações: novas ações são rotineiramente emitidas através de ofertas públicas iniciais (*IPO*) e a liquidez entre elas varia muito.

A ausência de dados históricos pode ser enquadrada em uma de duas classes: randômica (por exemplo, iliquidez) e determinística (por exemplo, anterior a oferta inicial da ação).

No caso de ausência randômica, os retornos faltantes são determinados pelo algoritmo de **Análise de Componentes Principais com Variação Bayesiana** (VBPCA, acrônimo em inglês). Este método pertence a uma classe de algoritmos de estimação conhecida como modelos probabilísticos de PCA (Tipping e Bishop, 1999).

No caso de ausência determinística, as lacunas de retornos faltantes são preenchidas por dois métodos.

O primeiro é o **modelo de fatores para ações** descrito na Seção 3. Este modelo explica os retornos das ações em retornos de fatores comuns a todas as ações e retorno idiossincrático da ação. As séries históricas dos retornos dos fatores comuns do modelo são empregadas para construir os retornos faltantes das ações. Os retornos construídos são ajustados pela volatilidade observada para o retorno da ação no período em que, de fato, existe. Como o modelo é estimado a partir de janeiro de 2007, seus fatores comuns podem ser utilizados somente após esta data.

Para o período da amostra entre janeiro de 2004 e dezembro de 2006, emprega-se a **reamostragem condicional** ao Ibovespa. Este procedimento pode ser descrito em duas etapas:

- Afere-se o retorno observado do Ibovespa na data em que há retornos faltantes para uma ou mais ações;
- Busca-se, então, a data em que foram observados o retorno do Ibovespa de valor mais próximo e retornos para todas as ações faltantes.
- Os retornos observados para as ações são, então, repetidos na data dos retornos faltantes.

Após o tratamento das séries temporais das ações a preços não observados, constroem-se os retornos históricos sintéticos para os índices de ações a partir de sua composição mais recente disponível.

### 3. CENÁRIOS QUANTITATIVOS

Os cenários quantitativos constituem-se de choques para os fatores de risco gerados por **simulações de Monte Carlo** a partir de modelos quantitativos estimados sobre os dados históricos.<sup>1</sup> Tais modelos são selecionados de modo a capturar as principais características dos retornos dos ativos financeiros e suas carteiras (caudas pesadas, assimétrica e persistência de volatilidade, por exemplo).

Como são 10 os horizontes de risco, é preciso incorporar a estrutura de dependência intertemporal de cada fator de risco nos modelos quantitativos. Para tanto, processos do tipo AR-GARCH são usados na modelagem quantitativa e seus erros são simulados de forma independente nos horizontes de risco.

Caso o movimento conjunto entre um determinado grupo de fatores de risco seja fortemente **justificável**, ele será modelado e seus choques serão gerados **conjuntamente** por simulação de Monte Carlo do modelo. Caso contrário, os choques dos fatores de risco serão simulados **independentemente**.

Os movimentos conjuntos entre taxas de juros de uma mesma Estrutura a Termo de Taxas de Juros (ETTJ), entre ações de boa liquidez e taxas de câmbio são justificados teórica e empiricamente. Para estes casos, cabe, portanto, modelagem dos movimentos conjuntos através de uma **cópula T Agrupada** – como será discutido a frente.

A Câmara está exposta a cinco ETTJs:

- Taxas de juros pré-fixadas denominadas em reais negociadas no Brasil (taxa pré);
- Taxas de juros pré-fixadas denominadas em dólares dos EUA negociadas no Brasil (cupom cambial);
- Taxas de juros reais denominadas em reais negociadas no Brasil (cupom de inflação);
- Taxas de juros pré-fixadas denominadas em dólares dos EUA negociadas nos EUA;
- Taxas de juros pré-fixadas denominadas em euros negociadas na Alemanha;

Cada ETTJ é modelada por uma variação do **modelo dinâmico de Nelson e Siegel** proposto por Christensen, Diebold e Rudebusch (2011). O modelo decompõe a taxa de juros em função da maturidade  $\tau$  de acordo com a equação (1):

$$y_t(\tau) = l_t + s_{1t} \left( \frac{1 - e^{-\lambda_{1t}\tau}}{\lambda_{1t}\tau} \right) + s_{2t} \left( \frac{1 - e^{-\lambda_{2t}\tau}}{\lambda_{2t}\tau} \right) + c_{1t} \left( \frac{1 - e^{-\lambda_{1t}\tau}}{\lambda_{1t}\tau} - e^{-\lambda_{1t}\tau} \right) + c_{2t} \left( \frac{1 - e^{-\lambda_{2t}\tau}}{\lambda_{2t}\tau} - e^{-\lambda_{2t}\tau} \right) \quad (1)$$

Assim, as taxas de juros de diferentes maturidades pertencentes a uma mesma ETTJ são determinadas por cinco fatores comuns:

- Nível ( $l_t$ );
- Duas inclinações: curto e longo prazos ( $s_{1t}$ ,  $s_{2t}$ );
- Duas curvaturas: curto e longo prazos ( $c_{1t}$ ,  $c_{2t}$ ).

<sup>1</sup> Os parâmetros dos modelos podem ser alterados em relação aos estimados pelo Comitê Técnico de Risco de CCP para lidar com mudanças de regime dos retornos dos fatores de risco. Isto é, situações em que o regime presente nos retornos históricos não seja mais válido para os retornos no presente ou no futuro próximo.

A estrutura de dependência intertemporal dos fatores comuns é modelada através de uma equação de estado para os fatores que segue um modelo VAR (*Vector Autoregression*). O erro deste VAR é simulado para cada um dos 10 horizontes de risco de forma independente.

Para garantir a **consistência dos movimentos da inflação esperada** (*break-even inflation*), as ETTJ de juros reais e nominais no Brasil compartilham as mesmas inclinações e curvaturas, embora tenham diferentes níveis.

O modelo original de Christensen, Diebold e Rudebusch (2011) é implementado supondo que as variações dos fatores comuns seguem uma distribuição Normal multivariada. Para a geração dos cenários, optou-se implementá-lo com uma alteração: os fatores comuns seguem distribuições univariadas assimétricas com caudas pesadas interligadas por uma cópula T.<sup>2</sup>

As ações são divididas em dois grupos mutuamente excludentes. O primeiro grupo é composto por ações de baixa liquidez e, portanto, com qualidade de formação de preço de baixa qualidade, que não pode ser utilizada para avaliar movimento conjunto com outras ações. Os retornos das ações deste grupo são modelados por distribuições univariadas assimétricas com caudas pesadas. Os choques destas ações são simulados de forma independente para compor os cenários.

O segundo grupo é composto por ações com boa liquidez (aproximadamente 140 ações), de modo que seus retornos históricos trazem informação sobre formação de preço de boa qualidade. Os retornos destas ações são modelados por modelo de fatores. Ele decompõe o retorno de cada ação em fatores comuns a todas as ações e em um fator idiossincrático da ação. A equação (2) decompõe o retorno da ação  $n$  denominada em reais em  $k$  fatores comuns  $r_{f_k}$  e no seu fator idiossincrático  $\varepsilon_n$ .

$$r_{n,t}^{BRL} = r_{f_{m,t}} + \sum_{k=1}^K \beta_{n,k,t} r_{f_{k,t}} + \varepsilon_{n,t} \quad (2)$$

onde  $\beta_{n,k}$  é a exposição (ou beta) da ação  $n$  ao fator comum  $k$ . São quatro os fatores comuns:

- Mercado;
- Setores;
- Liquidez;
- Influência governamental (controle, regulação, concessão e sem influência).

A estimação do modelo é feita para cada dia da amostra, em *cross-section*. A partir dos valores das exposições, que são conhecidos *ex-ante*, e dos retornos das ações observados no dia, o modelo estima os retornos dos fatores do modelo. As séries históricas destes fatores são construídas a partir do empilhamento dos retornos estimados em cada dia da amostra.

<sup>2</sup> O modelo de Christensen, Diebold e Rudebusch (2011) garante que não existem oportunidades de arbitragem na ETTJ. A implementação deste modelo com distribuições T não mais oferece esta garantia. A perda desta garantia não gera efeitos indesejáveis, já que os cenários são empregados em uma medida de risco.

Os fatores comuns e idiossincráticos são modelados por distribuições univariadas assimétricas com caudas pesadas interligadas por uma cópula T. A geração dos choques ocorre a partir da simulação do erro de um modelo AR-GARCH para cada um dos fatores comuns e idiossincráticos. Cada fator tem seu erro simulado de forma independente para cada horizonte de risco.

Os choques das volatilidades implícitas dos instrumentos de renda variável decorrem dos choques das volatilidades dos fatores do modelo de fatores de ações supondo independência entre os fatores idiossincráticos e entre estes e os fatores comuns, conforme equação (3).

$$\text{var}(r_{n,t}^{BRL}) = \sum_{k=1}^K \beta_{n,k,t}^2 \text{var}(r_{f_{k,t}}) + 2 \sum_{k=1}^{K-1} \sum_{j=k+1}^K \beta_{n,j,t} \beta_{n,k,t} \rho_{f_j, f_k} \sqrt{\text{var}(r_{f_{j,t}})} \sqrt{\text{var}(r_{f_{k,t}})} + \text{var}(\varepsilon_{n,t}) \quad (3)$$

onde  $\rho_{f_j, f_k}$  é a correlação entre os retornos dos fatores comuns  $j$  e  $k$ .

As ações de boa liquidez emitidas no Brasil são tratadas por um modelo de fatores. Um segundo modelo de fatores é dedicado a ações de boa liquidez emitidos em outros países.

O movimento conjunto entre as **taxas de câmbio e suas volatilidades implícitas** é modelado por cópula T.

Como foi discutido nesta seção, cada grupo de fatores de risco enumerado a seguir tem sua estrutura de interdependência modelada por uma cópula T (eles podem ser e são diferentes):

- Fatores comuns do modelo de fatores de ações para o Brasil;
- Fatores comuns do modelo de fatores de ações para demais países;
- Fatores comuns da ETTJ de juros pré-fixados;
- Fatores comuns da ETTJ de cupom cambial;
- Fatores comuns da ETTJ de juros reais;
- Fatores comuns da ETTJ de juros dos EUA;
- Fatores comuns da ETTJ de juros da Alemanha;
- Taxas de câmbio e suas volatilidades implícitas.

Para modelar o movimento conjunto **entre** os oito grupos acima e preservar os movimentos conjuntos **dentre** cada um dos grupos, utiliza-se uma **cópula T Agrupada**. A cópula T Agrupada pode ser entendida como um conjunto de diferentes cópulas T interligadas por uma mesma matriz de correlação.

**Para cada horizonte de risco**, os choques são gerados por simulação de Monte Carlo seguindo os passos abaixo:

- P1. A cópula T Agrupada simula os choques dos fatores comuns dos modelos de fatores de ações e das ETTJs, das taxas de câmbio e de suas volatilidades implícitas;
- P2. Para cada ETTJ, os choques das taxas de juros resultam dos choques dos fatores comuns do modelo de fatores da ETTJ simulados em P1 transformados, em sequência, pela equação (1) e pelo VAR;
- P3. Os choques dos fatores idiossincráticos do modelo de fatores de ações resultam de sorteios independentes das respectivas distribuições univariadas transformados pelos respectivos AR-GARCH;

## Diretoria de Administração de Riscos

- P4. Os retornos simulados das ações que fazem parte do modelo de fatores são calculados pela equação (2), utilizando os choques calculados em P1 e P3;
- P5. Os retornos das ações que não são explicados pelo modelo de fatores resultam de sorteios independentes das respectivas distribuições univariadas transformados pelos respectivos AR-GARCH;
- P6. A partir de P4 e P5, calculam-se os retornos simulados dos índices de ações e ETFs;
- P7. Os choques simulados das volatilidades implícitas das ações derivam da variação das volatilidades dos fatores comuns e idiossincráticos conforme equação (3). As volatilidades dos fatores, por sua vez, são simuladas a partir dos modelos AR-GARCH previamente estimados.

A modelagem do movimento conjunto e sua simulação garantem, por construção, a consistência entre os retornos dos fatores de risco e os diversos instrumentos negociados e garantias depositadas. Em particular, vale ressaltar a consistência garantida entre os retornos das ações, de seus índices e os choques de suas volatilidades implícitas.

### 4. CENÁRIOS PROSPECTIVOS

O objetivo dos cenários prospectivos é gerar perdas severas as posições mais frequentes, sejam direcionais ou relativas, envolvendo os fatores de risco mais relevantes sem limitar-se ao movimento conjunto histórico. Nem todos os fatores de risco são sensibilizados nestes cenários.

São seis diferentes subtipos de cenários prospectivos. Os dois primeiros contemplam os fatores de risco relevantes de todas as classes de ativos. O terceiro dedica-se ao movimento conjunto entre volatilidades implícitas de opções e seus ativos-subjacentes. Os três seguintes são dedicados apenas a fatores de risco de renda variável.

O movimento conjunto em cada cenário é determinado pelos consumos percentuais dos envelopes dos fatores de risco. O consumo percentual indica em qual direção e magnitude o choque do fator de risco varia no cenário.

#### 4.1 POSIÇÕES DIRECIONAIS EM FATORES RELEVANTES

Este conjunto de cenários visa gerar perdas severas em posições direcionais nos fatores de risco mais relevantes para a Câmara. Os cenários resultam das combinações entre os choques de baixa e de alta dos seguintes blocos de fatores de risco:

- a) Taxa de câmbio entre dólar dos EUA e real;
- b) Taxas de juros pré-fixadas e cupom de inflação;
- c) Cupom cambial;
- d) Renda variável direcionada pelo modelo de fatores de ações;
- e) Agronegócio.

Todas as combinações entre choques de alta e baixa dos blocos de fatores acima são geradas adotando-se cada um dos blocos de fatores de risco (a), (b), (c) ou (d) como pivô, de modo que:

- Os choques do pivô são sempre seus respectivos **envelopes** de baixa ou de alta;
- Choque do fator de risco com sinal esperado em relação ao sinal do choque aplicado ao pivô (mais frequentemente observado e consonante com variação no prêmio de risco): os choques são seus respectivos **envelopes** de baixa ou alta;
- Choque do fator de risco com sinal não esperado em relação ao sinal do choque aplicado ao pivô (direção contrária a variação do prêmio de risco implícita na variação do pivô): os choques são **frações de seus respectivos envelopes** (atualmente 50%).

Os choques aplicados às ações do modelo de fatores são determinados a partir dos choques aplicados aos fatores comuns do modelo:

- Choques aplicados aos fatores de risco de Renda Variável são **frações dos envelopes**
  - Fator mercado: choques de baixa e alta definidos pela **fração de seu envelope**
  - Fatores setoriais: choques são **frações de seus respectivos envelopes** (atualmente, 11%)

# RESUMO DA METODOLOGIA DE GERAÇÃO DE CENÁRIOS DE RISCO DA CÂMARA BM&FBOVESPA V7



## Diretoria de Administração de Riscos

- Choques aplicados aos fatores de risco de Renda Variável são seus **respectivos envelopes**
  - Fator mercado: choque de baixa e alta definidos pelo **envelope**
  - Fatores setoriais: choques são **frações de seus respectivos envelopes** (atualmente, 22%)

Os choques aplicados aos produtos do agronegócio e às ações fora do modelo de fatores são sempre os seus respectivos **envelopes** de baixa ou de alta. Dado que os envelopes (em pontos-base) de diferentes vencimentos de uma mesma ETTJ tem valores diferentes, os cenários estressam movimentos de nível, inclinação e curvatura das ETTJ.

Todas as combinações possíveis de baixa e de alta dos cinco blocos resultam em 60 cenários. A Tabela 1 a seguir representa o movimento conjunto de alguns destes cenários. Os sinais dos choques dos fatores de risco de renda variável são sempre iguais nos cenários.

**Tabela 1: Movimento conjunto entre os fatores de risco nos cenários do primeiro subtipo**

Cenários	Percentual dos Envelopes de Fatores de Risco						
	BRL/USD	Cupom cambial	Pré e cupom inflação	Agro	Ações modelo: Fator mercado	Ações modelo: Fator setor	Ações fora do modelo
1	+ 100%	+ 100%	+ 100%	+ 100%	- 100%	-22%	- 100%
2	+ 100%	+ 100%	+ 100%	+ 100%	+ 50%	+ 11%	+ 100%
3	+ 100%	- 50%	+ 100%	+ 100%	- 100%	-22%	- 100%
4	+ 100%	- 50%	+ 100%	+ 100%	+ 50%	+ 11%	+ 100%
...	...	...	...	...	...	...	...
60	- 50%	- 50%	- 50%	- 100%	- 100%	-22%	- 100%

Os choques das volatilidades implícitas dos fatores de risco sensibilizados nestes cenários são determinados pelos retornos dos respectivos ativos-subjacentes de acordo com o movimento conjunto usualmente observado. Ou seja, o sinal do **envelope** da volatilidade implícita **é igual** ao sinal da variação do **prêmio de risco** no retorno do ativo-subjacente. Exemplos: se choque do dólar frente ao real for o seu envelope de alta (prêmio de risco sobe), o choque de sua volatilidade implícita será o seu envelope de alta; se choque do Ibovespa for o seu envelope de alta (prêmio de risco cai), o choque de sua volatilidade implícita será o seu envelope de baixa.

### 4.2 POSIÇÕES EM FATORES RELEVANTES

Estes cenários resultam de duas variações dos cenários do primeiro subtipo:

- As ações e suas volatilidades implícitas que não pertencem aos dois setores mais relevantes não são sensibilizadas;
- As ações dos dois setores mais relevantes podem ter choques de sinais contrários.

Todas as combinações plausíveis de choques de baixa e de alta dos seis blocos de fatores de risco abaixo resultam em 192 cenários:

- a) Taxa de câmbio entre dólar dos EUA e real;
- b) Taxas de juros pré-fixadas e cupom de inflação;
- c) Cupom cambial;
- d) Agronegócio;
- e) Ações do setor mais relevante para a Câmara;
- f) Ações do segundo setor mais relevante para a Câmara.

Para manter a plausibilidade nos cenários em que haja movimentos relativos de preço entre ações dos dois setores, se os choques das ações de um setor forem seus **envelopes** de alta (baixa), os choques das ações do outro setor serão uma **fração de seus envelopes** de baixa (alta).

### 4.3 ATIVOS-SUBJACENTES E VOLATILIDADES IMPLÍCITAS

Estes cenários visam estressar o movimento conjunto entre o retorno do ativo-subjacente e o choque em suas respectivas volatilidades implícitas.

O sinal do **envelope** da volatilidade implícita é **contrário** ao sinal da variação do **prêmio de risco** no retorno do ativo-subjacente. Por exemplo, no cenário em que o choque do dólar for seu **envelope** de alta, sua volatilidade implícita cairá de acordo com seu **envelope** de baixa.

Os cenários resultam das combinações entre os choques de baixa e de alta dos seguintes blocos de fatores de risco:

- a) Taxa de câmbio entre dólar dos EUA e real;
- b) Taxas de juros pré-fixadas e cupom de inflação;
- c) Cupom cambial;
- d) Renda variável direcionada pelo modelo de fatores de ações.
- e) Agronegócio;

São dois os cenários deste subtipo. No primeiro, os fatores de ativos-subjacentes de opções dos blocos (a), (b), (c) e (e) sofrem choques iguais aos seus envelopes de alta e os fatores de ativos-subjacentes de opções do bloco

(d) sofrem choques iguais aos seus envelopes de baixa. Os choques de suas respectivas volatilidades implícitas experimentam variações iguais aos seus envelopes de sinais contrários ao esperado. No segundo, os fatores de ativos-subjacentes de opções dos blocos (a), (b), (c) e (e) sofrem choques iguais aos seus envelopes de baixa e os fatores de ativos-subjacentes de opções do bloco (d) sofrem choques iguais aos seus envelopes de alta. Os choques de suas respectivas volatilidades implícitas experimentam variações iguais aos seus envelopes de sinais contrários ao esperado.

#### 4.4 POSIÇÕES DIRECIONAIS E RELATIVAS EM CINCO SETORES RELEVANTES

Este conjunto de cenários busca gerar perdas severas para **posições direcionais e relativas** entre ações dos cinco **setores** mais relevantes para a Câmara.

Todas as combinações de choques de alta e de baixa dos cinco setores resultam em 62 cenários.

Para manter a plausibilidade nos cenários em que haja movimentos relativos de preço entre setores, a determinação da magnitude dos choques das ações segue o seguinte procedimento:

- i. Cada um dos cinco setores assume uma posição de pivô;
- ii. Para os cenários de **alta** de preços, os choques das ações do setor-pivô são seus **envelopes de alta**:
  - a. As ações dos setores cujos preços **sobem** variam seus **envelopes**;
  - b. As ações dos setores cujos preços caem variam **frações dos envelopes**;
- iii. Para os cenários de **queda** de preços, os choques das ações do setor-pivô são seus **envelopes de baixa**:
  - a. As ações dos setores cujos preços **sobem** variam **frações dos envelopes**;
  - b. As ações dos setores cujos preços **caem** variam seus **envelopes**;

Os choques das demais ações são nulos e os dos índices de ações e ETFs são definidos pelos choques das ações que os compõem. A relação entre os choques das volatilidades implícitas e as variações de seus ativos-subjacentes é a mesma dos cenários em 4.1.

#### 4.5 POSIÇÕES RELATIVAS ENTRE EMPRESAS RELEVANTES

Este conjunto de 180 cenários busca gerar perdas severas para **posições relativas** entre ações de 10 diferentes **empresas** relevantes para a Câmara.

As posições relativas são compostas por dois blocos de posições com sinais inversos: comprado (vendido) em ações emitidas por uma empresa *versus* vendido (comprado) em ações emitidas por outra empresa.

Para manter a plausibilidade dos movimentos relativos de preços, enquanto as ações de uma empresa experimentam choques iguais aos seus **envelopes** (de alta ou de baixa), as ações da outra empresa do par experimentam uma **fração de seus envelopes** (de baixa ou de alta).

Os choques das demais ações são nulos e os dos índices de ações e ETFs são definidos pelos choques das ações que os compõem. A relação entre os choques das volatilidades implícitas e as variações de seus ativos-subjacentes é a mesma dos cenários em 4.1.

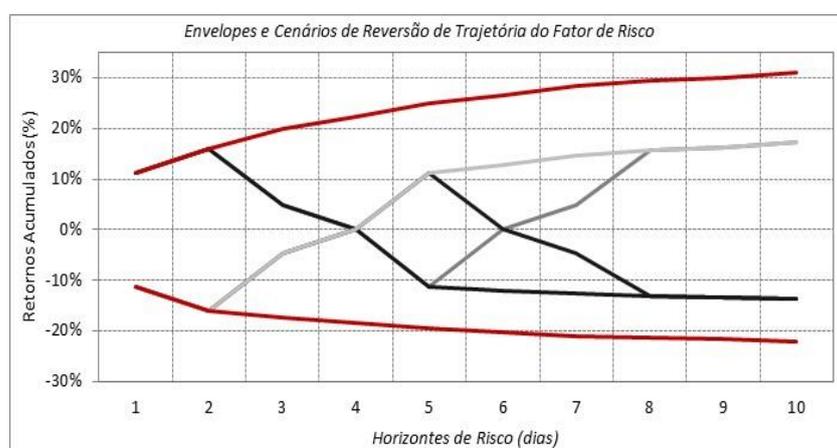
### 4.6 PROTEÇÃO EM FATOR DE RISCO EM DIFERENTES HORIZONTES DE RISCO

Este conjunto de cenários busca estressar de modo plausível a eficiência de estratégias de proteção (*hedge*) envolvendo um mesmo fator de risco negociado em instrumentos diferentes com períodos de encerramento diferentes.

Por exemplo, um investidor pode proteger sua posição comprada em futuro de dólar por uma posição vendida em dólar através de opções de dólar futuro. Como opções são mais ilíquidas que os futuros, seu período de encerramento é posterior ao do futuro. Se não houver uma trajetória onde haja reversão do preço do dólar, a proteção vai funcionar sempre com sua maior eficiência.

Cada fator de risco sensibilizado possui **quatro** cenários. Cada cenário é uma trajetória que parte do envelope (de alta ou baixa) do horizonte de risco de dois dias e reverte rapidamente sua direção até o horizonte de risco de cinco dias. A partir daí, ou a trajetória continua afastando-se do envelope inicial a um passo mais lento ou reverte em direção ao envelope de partida. Estes cenários estão representados na Figura 4.

Figura 4: Cenários para um fator de risco



Todos os fatores de risco dos blocos abaixo são sensibilizados:

- Taxa de câmbio entre dólar dos EUA e real;
- Taxas de juros pré-fixadas e cupom de inflação;
- Cupom cambial;
- Renda variável.

Os 32 cenários deste subtipo resultam da combinação das quatro trajetórias de reversão dos fatores de risco entre os blocos, respeitando os movimentos conjuntos esperados entre eles. A relação entre os choques das volatilidades implícitas e as variações de seus ativos-subjacentes é a mesma dos cenários em 4.1.

### REFERÊNCIAS

- Christensen, Jens H., Francis X. Diebold, and Glenn D. Rudebusch (2011), "The Affine Arbitrage free Class of Nelson-Siegel Term Structure Models", *Journal of Econometrics* 164, 4-20
- Daul, S., De Giorgi, E., Lindskog, F. & McNeil, A. (2003). "The grouped t-copula with an application to credit risk." *RISK* 16, 73-76.
- Diebold, Francis X. and Canlin Li (2006), "Forecasting the Term Structure of Government Bond Yields," *Journal of Econometrics*, Vol. 130, 337-364.
- Hansen, B. E. (1994). "Autoregressive conditional density estimation". *International Economic Review* 35, 705-730.
- Ilin, A., Raiko, T. (2010), "Practical Approaches to Principal Component Analysis in the Presence of Missing Values". *Journal of Machine Learning Research* 11, 1957-2000.
- Jones, M. C., Faddy, M.J. (2003). "A skew extension of the t-distributions with applications". *Journal of the Royal Statistical Society* 65, 159-174.
- Rebonato, R., (2010), "Coherent stress testing: a Bayesian approach", Wiley, UK.
- Tipping, M., Bishop, C.M. (1999). "Probabilistic principal component analysis". *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, 61(3):611-622.
- Zhu, D. & Galbraith, J. W. (2010). "A generalized asymmetric Student-t distribution with application to financial econometrics," *Journal of Econometrics* 157(2), 297-305.